

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Канд. техн. наук, доц. ЗЕМЛЯКОВ Г. В.¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: zemliakov@bntu.by

В настоящее время при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций основные показатели качества зависят от структурообразования и твердения бетона, особенно в зимних условиях. Поэтому режим тепловой обработки влияет на свойства бетона, характеризующие его прочность, пористость, долговечность, морозостойкость и др. В этой связи выбор режимов и их корректировки целесообразно отрабатывать на моделях. Удобство математического моделирования заключается в воспроизведении процесса функционирования во времени. Однако явные математические соотношения получаются только для сравнительно простых систем или ценой определенных предположений и допущений. В связи с этим целесообразно использовать наряду с математическим и физическое моделирование путем изготовления, тепловой обработки и испытания опытных образцов.

Создание эффективной, научно обоснованной технологии тепловой обработки монолитного бетона невозможно без информационного обеспечения и производственных условий. В разработанной математической модели тепловой обработки монолитных конструкций определена последовательность выполнения некоторых операций. Определяли формы, геометрические размеры, площадь. Для проведения расчетов режимов тепловой обработки вводили необходимые теплотехнические характеристики опалубочных систем бетонизируемых конструкций. Модель учитывала три основных стадии тепловой обработки: подъем температуры, изотермический прогрев и остывание. Приведены формулы их определения, в том числе общий расход теплоты: на подъем температуры бетонной смеси, для прогрева 1 м^3 бетонной смеси, в результате экзотермической реакции цемента на 1 м^3 , для нагрева арматуры на 1 м^3 , на испарение влаги, для нагрева опалубочной системы. Определены потери теплоты: в окружающую среду, в процессе прохождения через наружную поверхность опалубки, при подъеме температуры одного конструктивного элемента и 1 м^3 его бетонной смеси. Показано определение часового расхода теплоты на подъем температуры бетонной конструкции в целом.

Предложенная методика позволяет определить требуемые параметры процесса тепловой обработки бетонных смесей, оптимизировать режимы тепловой обработки, быстро корректировать создавшуюся ситуацию, автоматизировать процесс и при необходимости сопоставлять отдельные решения в виде графиков и диаграмм.

Ключевые слова: показатель качества, тепловая обработка, бетон, моделирование, количество теплоты, теплотехнические расчеты.

Библиогр.: 10 назв.

MODELING OF CONCRETE THERMAL TREATMENT IN CAST-IN-SITU STRUCTURES

ZEMLYAKOV G. V.¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Nowadays main qualitative indices depend on concrete structure formation and curing while constructing cast-in-situ concrete and reinforced concrete structures and especially it concerns winter conditions. Therefore the regime of thermal treatment influences on concrete properties characterizing its strength, porosity, durability, frost resistance etc. In this connection selection of regimes and their corrections are reasonable to be tested while using models. Convenience in mathematical modeling is in reproduction of the operational process in time. However explicit mathematics is obtained only for relatively simple systems or at the cost of specific assumptions and suppositions. In this connection it is expedient to use physical simulation along with mathematical one. The physical simulation presupposes manufacturing, thermal treatment and testing of prototype models.

Development of efficient, scientifically-substantiated technology for thermal treatment of cast-in-situ concrete is impossible without information support and working environment. The proposed mathematical model of thermal treatment for cast-in-situ structures determines sequence of the operations to be executed. Shapes, geometric dimensions, surface area have been determined in the paper. The required thermotechnical characteristics of formwork systems for structures under concreting have been used for making calculations of thermal treatment regimes. The model has taken into account three main stages of thermal treatment: temperature rising, isothermal warming and cooling. The paper provides formulae for their determination including total heat expenditure: for temperature rising of the concrete mix, for thermal treatment of 1 м^3 concrete mix, for cement exothermic reaction per 1 м^3 , for reinforcement heating per 1 м^3 , for moisture evaporation, for heating of form-

work system. The following heat losses have been determined: in the environment, in the process of passing through the exterior surface of the formwork, in case of temperature rising in one of the constructive element and per 1 m³ of its concrete mix. The paper reveals determination of hourly heat consumption for a concrete structure as a whole.

The proposed methodology makes it possible to determine the required characteristics of heat treatment process for concrete mixes, to optimize regimes of heat treatment, promptly to make corrections in the created situation, to automatize the process and when it is necessary to make comparison of some solutions in the form of graphics and diagrams.

Keywords: quality parameter, heat treatment, concrete, modeling, heat amount, thermo-technical calculations.

Ref.: 10 titles.

Основные показатели качества монолитных бетонных и железобетонных конструкций в значительной степени зависят от свойств, приобретаемых в процессе структурообразования и твердения бетона. Эта зависимость в полной мере проявляется в процессе тепловой обработки монолитного бетона в зимних условиях. От режима тепловой обработки во многом зависят показатели, характеризующие прочность, пористость, долговечность, морозостойкость и другие свойства бетона. От выбранных параметров тепловой обработки зависят также виды и величины затрат энергоресурсов [1–4]. Определение оптимального режима при наличии большого количества факторов, влияющих на процесс прогрева, – сложная задача. Кроме того, рассматриваемая система является вероятностной, что часто требует изменения намеченного режима в ходе тепловой обработки. В этой связи все операции по выбору мероприятий [5] режимов и возможной их корректировки целесообразно обрабатывать на моделях.

Обычно модель представляет собой физический или абстрактный объект, который в большей или меньшей степени отражает процессы, происходящие в реальной системе. Моделирование можно рассматривать как замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели [6]. Степень соответствия свойств и характеристик модели свойствам и характеристикам системы определяется ее адекватностью. Адекватность модели, отражающей технологические особенности монолитного бетонирования в зимних условиях, зависит от многих условий и факторов, основными из которых являются:

- степень полноты и достоверности сведений об исследуемой системе;
- учет воздействия элементов и связей модели на конечные результаты, определяемые целью системы;

- степень детализации модели.

Модели, отображающие процесс твердения бетона, в зависимости от представления системы и способа их реализации могут быть физическими и информационными, в том числе математическими.

Физические модели – это «материальные» модели, эквивалентные или подобные в той или иной степени системе. В общем случае физические модели – модели, процесс функционирования которых такой же, как у оригинала, имеет ту же или подобную физическую природу [7]. Математические модели – это «абстрактные» модели, представляющие собой формализованное описание изучаемой системы с помощью абстрактного языка, в частности с помощью математических символов и соотношений (алгебраических, дифференциальных, логических и т. д.), отображающих процесс функционирования системы.

Для изучения системы, имитирующей процесс твердения монолитного бетона в зимних условиях, используются как математические, так и физические модели. Удобство математического моделирования заключается в том, что модель в сжатом виде воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем модель имитирует все элементарные составляющие процесса с обязательным сохранением их взаимосвязанности и взаимообусловленности, логической структуры и последовательности протекания [8]. Большим достоинством аналитического моделирования является возможность детального анализа характеристик системы в широком диапазоне изменения исходных и промежуточных данных. Однако характерные для аналитического моделирования явные математические соотношения удается, как правило, получать только для сравнительно простых систем или ценой определенных предположений и допущений. Такие факторы, как постоянные изменения температуры окружающей

среды, скорости движения воздуха, нестационарный тепловой режим и явления массопереноса в твердеющем бетоне, могут способствовать уменьшению адекватности модели реальной системы приобретения свойств, характеризующих качество монолитного бетона при выполнении работ в зимних условиях. В связи с этим для проведения более детального исследования и проверки адекватности модели наряду с математическим целесообразно использовать физическое моделирование путем изготовления, тепловой обработки и испытания опытных образцов бетона по принятым методикам. Для этой цели используются методы, основанные на разрушении специально взятых образцов: бетонных кубиков, высверленных из конструкции цилиндров, и т. д. Таким образом определяются главные свойства бетона, характеризующие изменение его качественных показателей в зависимости от начального состояния и условий тепловой обработки.

Определение показателей качества бетона с применением разрушающих методов имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются:

- использование крупногабаритных элементов и оборудования, часто требующих применения транспортных средств, грузоподъемных механизмов и специальной оснастки;
- высокая стоимость работ по проведению испытаний;
- большая трудоемкость работ;
- значительная продолжительность проведения работ, например при определении морозостойкости бетона требуется более трех месяцев;
- существенные затраты энергоресурсов на проведение испытаний;
- наличие потерь материалов в виде отходов разрушенных в процессе испытаний образцов, бетонных и железобетонных конструкций;
- сложность, а часто вообще отсутствие возможности получения требуемых объективных и точных показателей качества бетона непосредственно в конструкциях.

Исследования показали, что сложившаяся традиционная система контроля прочностных показателей качества бетона монолитных конструкций, основанная на испытаниях образцов из используемого бетона, не обеспечивает не-

обходимой достоверности. Главной причиной этого является отсутствие практической возможности обеспечить такие же условия твердения для бетона контрольных образцов, какие имеют место для бетона в конструкциях. Использование различных методов тепловой обработки бетона в условиях низких температур воздуха в еще большей степени усиливает эти различия. Очевидно, что данные, получаемые испытанием образцов, твердевших в нормальных условиях лаборатории, могут рассматриваться лишь для оценки качества используемой бетонной смеси, но не бетона готовой конструкции.

Наряду с качественными характеристиками исходных материалов, подбором состава и принятой технологией приготовления, транспортировки, укладки и уплотнения бетонной смеси большое влияние на структуру и эксплуатационные свойства монолитного бетона оказывают методы его тепловой обработки. Данная технологическая стадия характерна тем, что в ходе этого процесса наряду с химическими проходят сложные тепло- и массообменные процессы, оказывающие большое влияние на структурообразование бетона. Интенсивность таких процессов зависит от принятого режима тепловой обработки: она во многом предопределяет конечные физико-технические свойства бетона. Применение определенных режимов теплового воздействия на твердеющую систему оказывает влияние на процесс структурообразования.

Создание эффективной, научно обоснованной технологии тепловой обработки монолитного бетона невозможно без соответствующего информационного обеспечения процесса ее адаптации к конкретным производственным условиям, которые часто носят ярко выраженный вероятностный характер по сравнению с условиями, присущими процессу заводского изготовления сборных железобетонных элементов. Учет факторов, приводящих к снижению показателей качества монолитного бетона, в ряде случаев затруднен по причинам технического, технологического и организационного характеров.

Влияние указанных недостатков в значительной степени может быть ликвидировано или ослаблено за счет использования неразрушающих методов контроля качества на разных

стадиях созревания бетона. В настоящее время ведется большая работа по созданию и внедрению методов и средств неразрушающего контроля качества бетона, отличительные черты которых – экономичность и быстрота. Для определения различных физико-механических характеристик используются методы, основанные на явлениях поглощения ультразвука, использовании инфракрасных, рентгеновских и ионизирующих излучений, а также на принципах магнитной дефектоскопии, лазерной техники и других достижениях науки и техники.

Применение различных методов интенсификации твердения бетона при возведении монолитных конструкций зданий и сооружений требует проведения большого количества расчетов, обеспечивающих оптимальный режим тепловой обработки, для:

- получения бетона, соответствующего заданным характеристикам, в том числе имеющего требуемые механическую прочность и структуру;
- обеспечения набора бетоном прочности в обусловленные сроки;
- использования минимального количества энергоресурсов для тепловой обработки бетона и др.

Проведение комплекса расчетов является сложной трудоемкой работой, поэтому для практических целей часто прибегают к упрощенным методам расчетов или к использованию различного рода таблиц и графиков. Такой подход в некоторой мере себя оправдывает. В то же время часто не полностью учитываются все факторы, влияющие на сложный процесс набора бетоном прочности и приобретение других данных, характеризующих его качественные показатели. Допускаемые при этом погрешности влекут ряд негативных явлений, в том числе снижение качественных характеристик монолитных бетонных конструкций и неоправданный дополнительный расход энергоресурсов.

В настоящее время все строительные организации имеют средства вычислительной техники, которые в основном используются для решения задач учета и отчетности, составления соответствующих отчетных документов. Процесс компьютеризации в сфере управления продолжает развиваться. Возникает необходи-

мость наряду с решением задач учета и отчетности осуществлять более широкий переход к решению вопросов по оптимизации строительного производства. Одной из таких задач является оптимизация режима тепловой обработки монолитных бетонных конструкций, которая может быть решена путем реализации математической модели, разработанной на основе электронных таблиц Excel.

В математической модели для решения задач тепловой обработки монолитных конструкций предусмотрена некоторая последовательность выполнения отдельных операций. Вначале определяются форма и геометрические размеры бетонной или железобетонной конструкции. В простейшем случае для большинства таких конструкций, как колонны, балки, плиты покрытий и перекрытий, ростоверки и другие, наиболее распространенной формой является параллелепипед с размерами сторон a , b , l . На основе данных геометрических размеров определяется ряд производных величин, в том числе объем конструктивного элемента V_k , м³:

$$V_k = abl. \quad (1)$$

Кроме того, для проведения теплотехнических расчетов необходимо знать площадь поверхности обогреваемого конструктивного элемента (F_k), а также площади каждой из его сторон, так как для каждой из них условия теплотехнического перехода и теплотехнические параметры опалубочных систем могут существенно различаться. В тех случаях, когда элемент имеет сложную форму, предусматривается расчет его объема или площади производить последовательно: рассчитываются отдельные части простой формы с последующим их суммированием.

Для получения информации о массивности конструкции определяется модуль ее поверхности M_n , м⁻¹:

$$M_n = \frac{F_k}{V_k}. \quad (2)$$

В процессе проведения расчетов режимов тепловой обработки необходимо знание основных теплотехнических характеристик опалубочных систем бетонизируемых конструкций.

Для их расчета вводятся нужные исходные данные, в том числе:

- толщина каждого слоя опалубочной системы (опалубка, тепло- и гидроизоляция, защитный слой) для каждой из сторон бетонируемой конструкции δ_n , м;
- коэффициент теплопроводности материала каждого слоя опалубочной системы каждой из сторон бетонируемой конструкции λ_n , Вт/(м·°C);
- коэффициент теплоотдачи каждой поверхности бетонируемой конструкции α , Вт/(м²·°C).

Термическое сопротивление R (м²·°C/Вт) каждой из сторон опалубки определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_n}{\lambda_n}. \quad (3)$$

Ряд проведенных расчетов коэффициента теплообмена у наружной поверхности различных видов опалубок и данные наблюдений показали, что для условий Республики Беларусь эта величина для практических расчетов при выполнении бетонных работ на открытых площадках может быть принята 25–45 Вт/(м²·°C). В то же время моделью предусматривается возможность находить более точное ее значение расчетным путем.

Модель учитывает три основные стадии тепловой обработки: подъем температуры, изотермический прогрев и остывание.

Общий расход теплоты на подъем температуры бетонной смеси до изотермического прогрева Q_{Π} , Дж:

$$Q_{\Pi} = Q_{\delta} - Q_x + Q_a + Q_{\text{и}} + Q_o + Q_{\text{пот}}, \quad (4)$$

где Q_{δ} – расход теплоты на нагрев бетонной смеси, Дж; Q_x – теплота, выделенная в результате гидратации цемента при экзотермических реакциях, Дж; Q_a – расход теплоты на нагрев арматуры, Дж; $Q_{\text{и}}$ – то же на испарение влаги в процессе подъема температуры, Дж; Q_o – то же на нагрев опалубки, Дж; $Q_{\text{пот}}$ – потери теплоты в окружающую среду, Дж.

Расход теплоты для прогрева 1 м³ бетонной смеси Q_{δ} , Дж:

$$Q_{\delta} = G_{\delta} c_{\delta} (t_k - t_n), \quad (5)$$

где G_{δ} – масса бетонной смеси, кг; c_{δ} – удельная теплоемкость бетонной смеси, Дж/(кг·°C); t_n , t_k – средние начальная и конечная температуры бетонной смеси, °C.

Количество теплоты, поступающей в результате экзотермической реакции цемента, на 1 м³ Q_x , Дж:

$$Q_x = G_{\text{ц}} q_{\text{хр}}, \quad (6)$$

где $G_{\text{ц}}$ – масса цемента в составе бетонной смеси, кг; $q_{\text{хр}}$ – удельное количество теплоты, выделяемого при химических реакциях (в расчетах принимается 92 Дж/(кг·°C)).

Количество теплоты для нагрева арматуры бетонируемой конструкции в расчете на 1 м³ Q_a , Дж:

$$Q_a = G_a c_a (t_k - t_n), \quad (7)$$

где G_a – масса арматуры на 1 м³ бетонной смеси, кг; c_a – удельная теплоемкость материала арматуры, Дж/(кг·°C); t_n , t_k – соответственно средние начальная и конечная температуры арматуры, °C.

Количество теплоты на испарение влаги из 1 м³ уложенной бетонной смеси в процессе подъема температуры $Q_{\text{и}}$, Дж:

$$Q_{\text{и}} = w_{\text{п}} q_{\text{и}} (100 - t_n), \quad (8)$$

где $w_{\text{п}}$ – масса влаги, испаряемой в процессе подъема температуры, кг; $q_{\text{и}}$ – удельный расход теплоты на испарение влаги из твердеющего бетона, Дж/кг.

Количество теплоты, необходимой для нагрева опалубочной системы Q_o , Дж:

$$Q_o = (G_o c_o + G_{\text{т}} c_{\text{т}}) (t_k - t_n), \quad (9)$$

где G_o – масса опалубки, кг; c_o – удельная теплоемкость материала опалубки, Дж/(кг·°C); $G_{\text{т}}$ – масса теплоизоляции опалубки, кг; $c_{\text{т}}$ – удельная теплоемкость материала теплоизоляции, Дж/(кг·°C); t_k – средняя температура опалубки к моменту окончания подъема температуры, °C; t_n – средняя начальная температура опалубки, °C.

Расчет выполняется для отдельного конструктивного элемента в пересчете на 1 м³ бетонной смеси.

При определении потерь теплоты в окружающую среду в процессе подъема температуры расчетную схему можно рассматривать как систему с внутренним источником теплоты. От нагревательных проводов исходит тепловой поток, направленный к поверхности опалубки.

Средняя величина удельного теплового потока, проходящего через наружную поверхность опалубки q , Вт/м², при подъеме температуры, определяется по формуле

$$q = \frac{\Delta t}{2R_0}, \quad (10)$$

где Δt – перепад температур между зоной нагрева и наружным воздухом, °С; R_0 – общее термическое сопротивление каждой из сторон опалубки, м²·°С/Вт.

Потери теплоты для каждой из сторон $Q_{\text{пот}}$, Дж, можно рассчитать

$$Q_{\text{пот}} = \frac{F}{2R_0}(t_k - t_n)\tau, \quad (11)$$

где F – площадь каждой из рассчитываемых сторон, м²; τ – время подъема температуры, принимаемое в предварительном расчете значений 3–6 ч в зависимости от вида конструктивного элемента и его массивности.

Производится определение потерь теплоты в расчете подъема температуры одного конструктивного элемента и 1 м³ бетонной смеси данного конструктивного элемента. Далее находится общее количество теплоты на подъем температуры конструктивного элемента и 1 м³ бетонной смеси этого элемента.

Часовой расход теплоты на подъем температуры бетонной конструкции в целом и 1 м³ конструкции q_0 , Дж/ч, выполняется по формуле

$$q_0 = \frac{Q_{\text{п}}}{\tau}. \quad (12)$$

Время подъема температуры твердеющего бетона τ назначается исходя из трех основных соображений:

- предотвращения деструктивных явлений в результате большого перепада температуры в теле твердеющего бетона, зависящего от его массивности, характеризующейся модулем поверхности;
- возможности строительной организации в отборе необходимой мощности электрического тока;
- сроков выполнения комплекса бетонных работ.

Изотермический прогрев осуществляется в соответствии с принятыми параметрами при стационарном тепловом режиме.

Часть общей теплоты при прогреве бетонной смеси расходуется на испарение избытков

влаги в бетоне и потери в окружающую среду. Расход теплоты на испарение влаги при изотермическом прогреве происходит в основном в первые 10 ч прогрева.

Количество теплоты, необходимой для испарения влаги в процессе изотермического прогрева $Q_{\text{ит}}$, Дж, составит:

$$Q_{\text{ит}} = w_{\text{т}}q_{\text{и}}(100 - t_{\text{к}}), \quad (13)$$

а в расчете прогрева в течение 1 ч:

$$q_{\text{ит}} = \frac{Q_{\text{ит}}}{10}. \quad (14)$$

Количество теплоты определяется в расчете на 1 м³ уложенной бетонной смеси и на один конструктивный элемент.

Разрабатывается программное обеспечение реализации моделей тепловой обработки для следующих монолитных конструкций:

- ленточных фундаментов;
- столбчатых фундаментов;
- фундаментов под оборудование;
- колонн;
- стен;
- балок и ригелей;
- плит покрытий и перекрытий и др.

ВЫВОДЫ

Анализ показал, что наиболее адекватным методом определения необходимых параметров процесса тепловой обработки монолитных конструкций является моделирование, т. е. изучение этого процесса на моделях. Реализация математической модели такого процесса обеспечивает:

- определение требуемых параметров процесса тепловой обработки различного вида монолитных конструкций с разными модулями поверхности, выполненных из разных по составу бетонных смесей и имеющих различный процент армирования;
- оптимизацию режима тепловой обработки с учетом имеющегося в строительной организации трансформаторного оборудования и греющих устройств;
- сопоставление большого количества возможных решений [9, 10];
- возможность быстрого реагирования и выбора лучших вариантов при изменении условий протекания процесса, в том числе метеорологических условий, обеспечения энергоресурсами и т. д.;

- быстрое внесение корректив;
- использование автоматизации тепловой обработки;
- возможность при необходимости наглядного сопоставления отдельных решений в виде графиков и диаграмм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земляков, Г. В. Энергосберегающая организация строительного производства / Г. В. Земляков, С. П. Баранов, Г. Н. Игнатенко // Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в Белорусской государственной политехнической академии: материалы 51-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 8 ч. – Минск: БГПА, 1995. – Ч. 5. – С. 99.
2. Земляков, Г. В. Исследование путей снижения затрат энергоресурсов в строительстве / Г. В. Земляков, С. П. Баранов, Е. И. Морозов // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономических и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения: материалы 54-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 10 ч. – Минск: БГПА, 2000. – Ч. 7. – С. 56.
3. Баранов, С. П. Анализ затрат энергоресурсов при производстве строительно-монтажных работ / С. П. Баранов, Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. – Минск: БНТУ, 2004 – Т. 1. – С. 465–469.
4. Земляков, Г. В. Исследование затрат энергоресурсов в строительстве / Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // Технология строительства и реконструкции: проблемы и решения: сб. науч. трудов Междунар. конф.: в 2 т. – Минск: БНТУ, 2006. – Т. 1. – С. 105–107.
5. Земляков, Г. В. Мероприятия по снижению затрат энергоресурсов в строительстве / Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // Архитектура и строительство. – 2005 – № 4. – С. 109–110.
6. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
7. Большой строительный терминологический словарь-справочник. Официальные и неофициальные термины и определения в строительстве, архитектуре, градостроительстве и строительной технике / В. Д. Наумов [и др.]; под ред. Ю. В. Феофилова. – Минск: Минсктиппроект, 2008. – 816 с.
8. Системотехника строительства: энциклопед. словарь / под ред. А. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 1999. – 432 с.
9. Лозовский, А. А. Формирование энергосберегающих технологических и организационных решений в строительстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4 (13). – С. 98–103.
10. Земляков, Г. В. Энергосберегающие организационно-технические решения в строительном производстве / Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // Строительная наука, техника и технологии: перспективы и пути развития: сб. науч. стат. конгресса. – М., 2010. – С. 236–241.

Поступила 30.06.2015

REFERENCES

1. Zemlyakov, G. V., Baranov, S. P., & Ignatenko, G. N. (1995) Energy-Saving Policy in Construction Industry. *Proceedings of 51st International Scientific and Technical Conference of BSPA (Belarusian State Polytechnic Academy) Professors, Lecturers, Researchers, Post-Graduate Students and Undergraduate Students “State and Prospects of Science Development and Training of High Qualification Engineers at the Belarusian State Polytechnic Academy” Dedicated to its 75th Anniversary. Part. 5.* Minsk, Belarusian State Polytechnic Academy, 99 (in Russian).
2. Zemlyakov, G. V., Baranov, S. P., & Morozov, E. I. (2000) Investigations on Reduction of Energy Resource Consumption in Construction. *Proceedings of International Scientific and Technical Conference “Contribution of HEI Science to Development of Priority Directions in Production and Economic Activity, Cost-Efficient and Ecologically Clean Technologies and Advanced Training Methods” Dedicated to the 80th Anniversary of at the Belarusian State Polytechnic Academy (54th Scientific and Technical Conference of BSPA Professors, Lecturers, Researchers and Post-Graduate Students) Part. 7.* Minsk, Belarusian State Polytechnic Academy, 56 (in Russian).
3. Baranov, S. P., Zemlyakov, G. V., & Lozovsky, A. A. (2004) Analysis of Energy Resource Consumption while Executing Construction and Installation Works. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy Vtoroi Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. T. 1* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 2nd International Science and Technical Conference. Vol. 1]. Minsk: BNTU, 465–469 (in Russian).
4. Zemlyakov, G. V., & Lozovsky, A. A. (2006) Investigations on Energy Resource Consumption in Construction. *Technology of Construction and Reconstruction: Problems and Solutions. Collection of Research Papers of International Conference Dedicated to the 70th Anniversary of “Construction Technology” Department and 85th Anniversary of Belarusian National Technical University. Vol. 1.* Minsk, BNTU, 105–107 (in Russian).
5. Zemlyakov, G. V., & Lozovsky, A. A. (2005) Measures on Reduction of Energy Resource Consumption in Construction. *Arkhitektura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], 4, 109–110 (in Russian).
6. Buslenko, N. P. (1978) *Simulation of Complicated Systems.* Moscow, Nauka. 399 p. (in Russian).
7. Naumov, V. D., Aliavdina, T. I., Bedula, N. V., Zholud, A. S., Zholud, T. V., Naumova, L. V., Poslova, T. G., Feofilova, Iu. Iu., & Frolova, T. S. (2008) *Unabridged Reference Dictionary on Construction Terminology. Official and Unofficial Terminology and Definitions in Construction, Architecture, Urban Planning and Construction Equipment.* Minsk, Minsktiproekt. 816 p. (in Russian).
8. Gusakov, A. A. (1999) *System Technique in Construction. Encyclopedic Dictionary.* Moscow, Fund “New Millennium”. 432 p. (in Russian).
9. Lozovsky, A. A., & Zemlyakov, G. V. (2007) Formation of Energy-Saving Technological and Organizational Solutions in Construction. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Technique], 4 (13), 98–103 (in Russian).
10. Zemlyakov, G. V., & Lozovsky, A. A. (2010) Energy-saving Organizational and Technical Solutions in Construction Industry. *Collection of Research Papers. Congress “Construction Science, Technique and Technologies: Prospects and Development Options”.* Moscow, 236–241 (in Russian).

Received 30.06.2015