УДК 699.866

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

*А.Н. БЕЛОУС, Е.А. ДМИТРЕНКО, Я.Ю. ГОНЧАРОВА, О.Е. БЕЛОУС,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОСОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

В статье произведен анализ различных конструктивных вариантов утепления несущих конструкций железобетонного силоса. На основании анализа выбран оптимальный вариант расположения утеплителя по минимальному температурному перепаду в толще стены. Рассмотрен вопрос, и установлены факторы, влияющие на тепловлажностные характеристики стен железобетонного силоса. Произведена оценка влияния теплопроводных включений на тепловлажностные характеристики ограждающих конструкций сооружения. Произведена оценка температурных перепадов в толще стены силоса. Рассчитаны температурно-влажностные моменты для различных вариантов конструирования, и подсчитан процент влагонакопления конструкцией за рассматриваемый период времени.

Ключевые слова: железобетон; силос; температурные напряжения; эпюры; влажность; напряженно-деформированное состояние.

Для цитирования: Белоус А.Н., Дмитренко Е.А., Гончарова Я.Ю., Белоус О.Е. Снижение температурно-влажностного воздействия на железобетонные конструкции силосов для хранения цементного клинкера // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 162–173.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

*A.N. BELOUS, E.A. DMITRENKO, YA.YU. GONCHAROVA, O.E. BELOUS,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*

REDUCTION OF HEAT-MOISTURE IMPACT ON REINFORCED CONCRETE SILO FOR STORING CEMENT CLINKER

The paper analyzes various constructional options for insulation of load-bearing structures of reinforced concrete silo. Based on the analysis, the optimum insulation was selected according to the minimum temperature difference in the wall thickness. Factors affecting the heat-moisture characteristics of the walls of reinforced concrete silo are identified. The influence of heat-conducting inclusions on the heat-moisture characteristics of the building envelope is estimated. The temperature differences in the silo wall thickness are detected. The temperature and humidity are calculated for various design options and the moisture accumulation percentage of the construction is calculated for the specified time period.

Keywords: reinforced concrete; silage; temperature stresses; diagrams; humidity; stress-strain state.

For citation: Belous A.N., Dmitrenko E.A., Goncharova Ya.Yu., Belous O.E. Snizhenie temperaturno-vlazhnostnogo vozdeistviya na zhelezobetonnye konstruktssii silosov dlya khraneniya tsementnogo klinkera [Reduction of temperature-humid impact on reinforced concrete structures for storing cement clinker]. Vestnik Tomskogo

gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 162–173.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

Введение

Стены железобетонных силосов для хранения цементного клинкера подвергаются интенсивным тепловым и влажностным воздействиям окружающей среды [4, 11, 13], которые вызывают перепады температуры и влажности в толще стены. Вследствие колебаний температуры и влажности в стенах силосов возникают переменные деформации и напряжения, которые приводят к быстрому накоплению и появлению трещин [9, 10]. Появление таких деформаций [15] уменьшает способность бетона выполнять требуемые функции, в том числе способность защищать материал, который хранится внутри силоса, от переувлажнения [7]. Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, вызванное температурными и влажностными факторами, вызывают общий рост напряжения [3, 8, 16]. Арматурная сталь, которая используется в таких конструкциях, подвергается регулярным воздействиям перепада температур и влажности, следовательно, срок службы арматурных изделий уменьшается и снижается срок эксплуатации и долговечность конструкций [3]. Поэтому вопрос усовершенствования и разработки новых конструктивных решений несущих конструкций с учетом условия работы очень актуален на сегодняшний день.

Методы и материалы

Силосы по форме в плане бывают круглыми, квадратными, прямоугольными и многоугольными. Наиболее рациональной формой является круглая, у которой стенки работают преимущественно на растяжение.

Для данного исследования был выбран силос круглой формы в плане с размерами $h \times b = 18 \times 12$ м в соответствии с [17]. Класс бетона, из которого изготовлены несущие конструкции силоса, принят В30.

В качестве объекта исследования температурно-влажностного состояния был выбран конструктивный узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой для загрузки и разгрузки цементного клинкера (рис. 1).

Для вычисления распределения температур в толще стены железобетонного силоса приняты стационарные условия теплопередачи температур. В общем случае движение теплоты может происходить во всех направлениях (по всем трем осям координат), дифференциальное уравнение теплопроводности будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt}{dz} = a \left[\frac{dt^2}{dx^2} + \frac{dt^2}{dy^2} + \frac{dt^2}{du^2} \right]. \quad (1)$$

В стационарных условиях теплопередачи температура в любых точках среды остается постоянной во времени, следовательно, в уравнении (1) при

этом будем иметь $\frac{dt}{dz} = 0$, а так как в общем случае a не равно нулю, то нулю

должно быть равно выражение, стоящее в скобках в правой части уравнения, с учетом этого уравнение (1) будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt^2}{dx^2} + \frac{dt^2}{dy^2} + \frac{dt^2}{du^2} = 0. \quad (2)$$

Рис. 1. Конструктивный узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой

Решение данного уравнения для трех- и двухмерной задачи сводится к ограниченной области, в которой однозначно выделяются краевые условия, накладываемые на поведение решения или его производных на границе области, решение вручную довольно трудоемкое. Поэтому в данных исследованиях для вычисления температурных полей была использована программа THERM 7.6, которая базируется на данной теории расчета.

Для расчета были заданы краевые условия – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, подверженных воздействию окружающей среды, которые установлены в соответствии с климатическими данными месторасположения исследуемого объекта и технологией производственного цикла предприятия. Для остальных поверхностей (верхнее сечение по стене и нижнее по колонне – на расстоянии 2,5 калибров) приняты адиабатические граничные условия.

В соответствии с серией [17] узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой для загрузки и разгрузки цементного клинкера подвергается регулярным перепадам температур и влажности, что является наиболее проблематичным с точки зрения несущей способности. Соответственно, необходимо разработать наиболее рациональные конструктивные варианты, которые минимизируют данные влияния.

Варианты конструктивных решений по утеплению представлены на рис. 2–4. В первом варианте утепления, представленном на рис. 2, предлагается расположить вертикальный и горизонтальный слой утеплителя из экструдированного пенополистирола.

Рис. 2. Расчетная схема с применением горизонтального и вертикального утеплителя

Рис. 3. Расчетная схема с применением пенополистирольных кубиков в плите

Во 2-м и 3-м конструктивном решении узла воронки железобетонного монолитного силоса предполагается расположение пенополистирольных кубиков с высотой ребра 150 мм в толще плиты для второго и в колонне для третьего варианта соответственно.

На тепловые характеристики несущих конструкций существенно влияет влажностный режим, который нормируется согласно [1]. Для выбранных вариантов конструирования произведем расчет влажностного режима.

Для получения данных о распределении влажности в толще стены конструкция была условно разбита на 10 зон, в каждой из которых был определен процент влагонакопления. Расчетный период – 5 сут (120 ч), температура наружного воздуха ($-22\text{ }^{\circ}\text{C}$), плотность материала $\rho = 2400\text{ кг/м}^3$, толщина стены $\delta = 400\text{ мм}$.

Рис. 4. Расчетная схема с применением пенополистирольных кубиков в колонне

Количество водяного пара i_b , мг/(м²ч), поступающего в зону конденсации с внутренней стороны силоса, согласно [5], равно

$$i_b = \frac{e_b - p_b}{R_{ев}}. \quad (3)$$

Количество водяного пара i_n , мг/(м²ч), который выводится наружу из зоны конденсации, равно

$$i_n = \frac{p_n - e_n}{R_{ен}}. \quad (4)$$

Количество влаги W , кг/м², которая конденсируется в конструкции за расчетный период 5 сут, определяется по формуле

$$W = \tau(i_b - i_n)10^{-6}, \quad (5)$$

где τ – расчетный период, ч.

Расчет прироста влаги Δw , %, в слое материала, в котором происходит конденсация влаги, выполняют по формуле

$$\Delta w = \frac{W}{\delta_k \cdot \rho_k} 100 \%, \quad (6)$$

где δ_k – толщина слоя материала, в котором происходит накопление конденсирующейся влаги, равна 0,35 м; ρ_k – плотность слоя материала, в котором происходит накопление влаги, равна 2400 кг/м³.

Расчетное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций железобетонного силоса значительно ниже нормативного значения $R_{норм}$, которое определяется в зависимости от региона строительства по ГСОП согласно [19] и $R_{q \min}$ (м²·К)/Вт согласно [19] и определяется по формуле

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (7)$$

где $\alpha_b = 10000$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности; $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности; δ – толщина стены, м; λ – теплопроводность, Вт/(м²·К).

Согласно [6] для территории Украины и [19] для России обязательно выполнение для внешних ограждающих конструкций условия

$$W_{зп} < W_{лп}, \quad (8)$$

где $W_{зп}$ – количество накопленной в толще ограждающей конструкции влаги, сконденсировавшейся за период влагонакопления года, кг/м²; $W_{лп}$ – количество влаги, испаряющейся из ограждающей конструкции за период влагоотдачи года, кг/м².

Расчет тепловлажностного состояния выполняется графоаналитическим методом, который заключается в построении кривых действительного и максимального парциального давления водяного пара. Для этого в произвольном масштабе вычерчиваем условный разрез ограждающей конструкции, в котором толщина каждого слоя равна значению паропроницаемости. На оси, парал-

лельной линии между слоями, задается шкала парциального давления P , Па, и строится распределение парциального давления, точки соединяются с помощью кривой линии.

Определение парциального давления водяного пара e , Па, на внутренней (e_v) и наружной (e_n) поверхностях ограждения соответственно по формулам:

$$e_v = 0,01 \varphi_v \cdot E_v, \quad (9)$$

$$e_n = 0,01 \varphi_n \cdot E_n, \quad (10)$$

где φ_v , φ_n – относительная влажность, %, наружного воздуха и внутреннего в соответствии с [5]; E_v , E_n – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па.

При построении кривой распределения E взято 1892 точки по толщине конструкции исходя из условия 10 точек на 1 °С. Таким образом, при температурном перепаде необходимо рассчитать температуру в толщине стены. Значение функции E является функцией от температуры, для ее нахождения возможно использовать формулу Всемирной метеорологической организации [5]:

$$E = 6,112 e^{\frac{17,62t}{243,12+t}}. \quad (11)$$

Влияние температурного и влажностного режимов по толщине конструкции стены приводит к появлению изгибающих моментов. В данном расчете принимается линейное распределение температуры по толщине стенки оболочки. Расчетные значения разности температур Δt на внутренней и наружной поверхностях оболочки меньше расчетной разности температур воздуха ΔT снаружи и внутри силоса.

Значение Δt определяется теплотехническим расчетом по формуле

$$\Delta t = \frac{\delta_{ст}}{\lambda} \frac{1}{R_0} \Delta T, \quad (12)$$

где $\delta_{ст}$ – толщина стенки оболочки в месте определения температурного перепада, 0,35 м; λ , R_0 – соответственно коэффициент теплопроводности бетона и сопротивление теплопередачи стенки оболочки, $\lambda = 2,04$ Вт/(м·К), $R_0 = 0,21$ м²·К/Вт.

Значение свободной кривизны стенки оболочки от действия Δt и Δu определяется по формуле

$$\frac{1}{\rho_{t+u}} = \frac{\alpha_{\delta t} \cdot \Delta t + \eta \cdot \Delta u}{\delta_{ст}}, \quad (13)$$

где $\alpha_{\delta t}$ – коэффициент температурного линейного расширения бетона, принимаемый равным $1 \cdot 10^{-5}$; η – коэффициент линейного набухания бетона, принимаемый равным $3 \cdot 10^{-2}$ мм/мм·г/г.

Δu для варианта конструирования № 2 равно $7,5 \cdot 10^{-4}$ и $3,7 \cdot 10^{-4}$ для варианта № 3.

Расчет изгибающих моментов, возникающих в стенке оболочки от действия Δt и Δu , выполняют по формуле

$$M_{t+u} = 1,3 \frac{1}{\rho_{t+u}} B, \quad (14)$$

$$B = 0,07 E_6 \cdot \delta_{\text{ст}}^3, \quad (15)$$

где E_6 – среднее значение модуля упругости, равное $26,78 \cdot 10^3$ МПа; $\delta_{\text{ст}}^3$ – толщина днища, равная 0,4 м,

$$B = 0,07 \cdot 26,78 \cdot 10^3 \cdot 0,4^3 = 120 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2.$$

Результаты

По предложенным конструктивным вариантам утепления произведено построение двухмерных температурных полей с помощью программы THERM 7.6, результаты представлены на рис. 5–7.

Рис. 5. Моделирование температурных полей в конструкции с применением горизонтального и вертикального утеплителя

Рис. 6. Моделирование температурных полей в конструкции с применением утеплителя в плите

Рис. 7. Моделирование температурных полей в конструкции с применением кубиков из экструдированного пенополистирола в колонне

Анализируя конструктивные варианты по температурному распределению, можно увидеть, что наименьший перепад температуры по толщине дна, составляющий 103 °С (минимальная температура по днищу воронки 45 °С, максимальная 148 °С), соответствует рис. 5. Наибольший температурный перепад составляет 140 °С (минимальная температура по днищу воронки 8 °С, максимальная 148 °С) (рис. 6). На рис. 7 температурный перепад составляет 138 °С (минимальная температура 10 °С, максимальная 148 °С).

Следовательно, можно сделать вывод о том, что применение утеплителей (рис. 5,7) не является экономически целесообразным решением. В дальнейших расчетах будет рассматриваться конструктивный вариант с применением утеплителя в плите.

Данные расчета тепловлажностного режима сведены в таблицу.

Расчетные данные влажности в плите силоса толщиной 400 мм

Расчетная зона стены	Количество водяного пара $i_{в}$, мг/(м ² ·ч), поступающего в зону конденсации со стороны помещения	Количество водяного пара $i_{н}$, мг/(м ² ·ч), который выводится наружу из зоны конденсации	Количество влаги W , кг/м ² , которая конденсируется в конструкции за расчетный период	Расчет прироста влаги Δw , %, в слое материала, в котором происходит конденсация влаги
1	108,18	-602,6	0,09	0,094
2	602,6	-508,5	0,13	0,14
3	508,5	-423,1	0,11	0,11
4	423,1	-301,1	0,086	0,09
5	301,1	-227,1	0,006	0,006
6	227,1	-161,6	0,05	0,05
7	161,6	-94,7	0,03	0,03
8	94,7	-53,1	0,02	0,02
9	53,1	-28,98	0,009	0,009
10	28,98	-5,85	0,004	0,004
				$\Sigma 0,6$

Допустимое по теплоизоляционным характеристикам приращение влажности материала в конструкции за весь период года должно составлять не более 2 %. Из данного расчета видно, что процент влагонакопления за расчетный период пять суток составил 0,6 %.

Парциальное давление водяного пара e , Па, на внутренней ($e_{в}$) и наружной ($e_{н}$) поверхностях ограждения соответственно составит

$$e_{в} = 4754 \text{ Па}, \quad e_{н} = 0,9 \text{ Па}.$$

Для подсчета влажностного режима в толще стены силоса толщиной 400 мм были построены на рис. 8 графики зависимости парциального давления E , Па, и расчетного сопротивления паропрооницанию R_e , Вт/(м²·К).

Расчетные значения разности температур Δt на внутренней и наружной поверхностях оболочки составили

$$\Delta t = 130,61 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При выполнении расчета свободной кривизны стенки оболочки от действия Δt и Δi получили следующие результаты:

$$\frac{1}{P_{t+u}} = 0,004.$$

Рис. 8. График зависимости парциального давления E , Па, и расчетного сопротивления паропроницаемости R_e , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$

Значение изгибающего момента, возникающего в стенке оболочки от действия Δt и Δu , составило

$$M_{t+u} = 680 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Выводы

В результате определения влажностного градиента по толщине железобетонной конструкции установлено, что прирост влаги в толщине стены за расчетный период 5 сут составил 0,6 %.

При устройстве слоя утеплителя в конструкции воронки по варианту 1 (рис. 2) получается наиболее равномерное распределение температурного поля в нижней части силоса и соответственно наименьший перепад температуры по толщине дна, составляющий 103 °С. Наибольший температурный перепад составляет 140 °С и соответствует варианту 2, однако при этом зафиксирована наименьшая приведенная температура по нижней грани плиты силоса.

Существенное изменение температурного и влажностного режимов по толщине конструкции стены в зависимости от рассматриваемого конструктивного варианта приводит к значительным изменениям изгибающих моментов в дне воронки. Наибольшее и наименьшее значения температурно-влажностных моментов составили 680 и 468 кН·м для вариантов 3 и 1 соответственно.

Из всего изложенного материала можно сделать вывод, что вариант конструирования 2 является наиболее рациональным, в нем зафиксирована максимальная температура в краевой зоне, но при расчете по разнице приведенных по поверхности температур в данном варианте возникают наименьшие температурные моменты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байков В.Н., Дроздов П.Ф., Трифонов И.А. и др. Железобетонные конструкции: Спец. курс / под ред. В.Н. Байкова. — 3-е изд. перераб. Москва : Стройиздат, 1981. 767 с.
2. Білоус О.М. Розрахунок тепловологісного стану зовнішньої огорожувальної конструкції з ніздрюватого бетону // Сучасне промислове та цивільне будівництво. 2013. Т. 9. № 3. С. 163–168.

3. Гаусс К.С. Комплексные экспериментальные исследования влияния градиента тепло- и массопереноса на физико-механические свойства бетона (с применением пластифицирующих добавок) // Избранные доклады 61-й научно-технической конференции. 2015. С. 134–138.
4. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 8. С. 38–48.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. Київ : Мінрегіон України, 2014. 62 с.
7. Катыгроб В.В., Веретенников В.И. Влияние повышенных температур и уровня предварительного нагружения на свойства тяжелого бетона // Рук. деп. во ВНИИС Госстроя СССР, № 5737. 1985. 9 с.
8. Корниенко С.В. О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 29–37.
9. Корниенко С.В. Оценка влажностного режима многослойной ограждающей конструкции с мультizonальной конденсацией влаги // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41 (60). С. 24–33.
10. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим и теплозащитные свойства ограждающих конструкций с краевыми зонами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35 (54). С. 62–69.
11. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6. С. 19–33.
12. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. Макеевка : ДонГАСА, 2004. 153 с.
13. Кофанов В.А., Никитин В.И. Оценка температурно-влажностных напряжений в двухслойной ограждающей конструкции, эксплуатируемой в климатических условиях // Вестник БрГТУ. 2005. № 2: Стр-во и архитектура. С. 25–29.
14. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. Москва : Стройиздат, 1984. 148 с.
15. Никитин В.И., Прусел И.А., Кофанов В.А. Оценка изотермического влагопереноса в среде, заполняющей силосы и склады // Вестник БрГТУ. 2006. № 1: Строительство и архитектура. С. 100–104.
16. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен). Москва : Изд-во АСВ, 2004. 424 с.
17. Серия 3.012-3. Конструкции железобетонных силосов диаметром 6 и 12 м для хранения сыпучих материалов. Вып. 2.
18. СНиП 2.03.04–84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 54 с.
19. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Москва : Министерство регионального развития РФ, 2012. 82 с.

REFERENCES

1. Baikov V.N., Drozdov P.F., Trifonov I.A., et al. Zhelezobetonnye konstruksii [Steel concrete structures], 3rd ed., V.N. Baikov, Ed. Moscow: Stroizdat, 1981. 767. p. (rus)
2. Bilous O.M. Rozrakhunok teplovologisnogo stanu zovnishn'oi ogorodzhuval'noi konstruksii z nizdryuvatogo betonu [Calculation of thermal state of outer enclosure of cellular concrete]. Suchasne promislove ta tsivil'ne budivnistvo. 2013. V. 9. No. 3. Pp. 163–168. (rus)

3. Gauss K.S. Kompleksnye eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya gradienta teplo- i massopereenos na fiziko-mekhanicheskie svoystva betona (s primeneniem plastifitsiruyushchikh dobavok) [Comprehensive experimental studies of the influence of gradient heat and mass transfer on physicomaterial properties of concrete (using plasticizing additives)]. Izbrannye doklady 61-i nauchno-tehnicheskoi konferentsii (*Selected Papers of the 61st Sci. Conf.*). 2015. Pp. 134–138. (rus)
4. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Modelirovanie protsessov nestatsionarnogo perenosu tepla v stenovykh konstrukttsiyakh iz gazobetonnykh blokov [Modeling of processes of unsteady heat transfer in wall structures made of aerated concrete blocks]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014. No. 8. Pp. 38–48. (rus)
5. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivel'na klimatologiya [Building climatology]. Kiev: Minregionbud Ukraïni, 2011. 123 p.
6. DSTU-N B V.2.6-192:2013. Nastanova z rozrakhunkovoï otsinki teplovologisnogo stanu ogorodzhual'nikh konstrukttsii [Guideline for calculating thermal state of enclosure structures]. Kiev: Minregion Ukraïni, 2014. 62 p.
7. Katygrob V.V., Veretennikov V.I. Vliyanie povyshennykh temperatur i urovnya predvaritel'nogo nagruzheniya na svoystva tyazhelogo betona [Effect of elevated temperatures and the level of preloading on heavy concrete properties]. VNIIS Gosstroya SSSR, N 5737. 1985. 9 p. (rus).
8. Kornienko S.V. O primenimosti metodiki SP 50.13330.2012 k raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstrukttsii s mul'tizonal'noi kondensatsiei vlagi [Applicability of SNiP 50.13330.2012 methodology to humidity analysis of building envelopes with multizone moisture condensation]. *Stroitel'stvo i rekonstrukttsiya*. 2014. No. 5 (55). Pp. 29–37. (rus)
9. Kornienko S.V. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogoslonoï ograzhdayushchei konstrukttsii s mul'tizonal'noi kondensatsiei vlagi [Evaluation of moisture of multilayer building envelope with multizone moisture condensation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No. 41 (60). Pp. 24–33. (rus)
10. Kornienko S.V. Temperaturno-vlazhnostnyi rezhim i teplozashchitnye svoystva ograzhdayushchikh konstrukttsii s kraevymi zonami [Temperature and humidity conditions and heat-shielding properties of building envelopes with edge zones]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 35 (54). Pp. 62–69. (rus)
11. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogoslonoï stenovoi konstrukttsii v godovom tsikle [Assessment of moisture of a multilayer wall structure in annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniï i sooruzhenii*. 2015. No. 6. Pp. 19–33. (rus)
12. Korsun V.I. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie zhelezobetonnykh konstrukttsii v usloviyakh temperaturnykh vozdustviï [Stress-strain state of reinforced concrete structures under temperature effects]. Makeevka: DonGASA, 2004. 153 p. (rus)
13. Kofanov V.A., Nikitin V.I. Otsenka temperaturno-vlazhnostnykh napryazhenii v dvukhsloinoï ograzhdayushchei konstrukttsii, ekspluatiruemoï v klimaticheskikh usloviyakh [Assessment of temperature and humidity in two-layer cladding in climatic conditions]. *Vestnik BrGTU*. 2005. No. 2: Pp. 25–29. (rus)
14. Krichevskii A.P. Raschet zhelezobetonnykh inzhenernykh sooruzhenii na temperaturnye vozdustviya [Temperature analysis of reinforced concrete structures]. Moscow: Stroizdat, 1984. 148 p. (rus)
15. Nikitin V.I., Prusel I.A., Kofanov V.A. Otsenka izotermicheskogo vlagopereenosu v srede, zapolnyayushchei silosy i sklady [Assessment of isothermal moisture transfer in medium filling silos and warehouses]. *Vestnik BrGTU*. 2006. No. 1. Pp. 100–104. (rus)
16. Pukhonto L.M. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstrukttsii inzhenernykh sooruzhenii: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten) [Durability of reinforced concrete structures (silos, bunkers, tanks, water towers, retaining walls)]. Moscow: ASV, 2004. 424 p. (rus)
17. Seriya Z.012-3. Konstrukttsii zhelezobetonnykh silosov diametrom 6 i 12 m dlya khraneniya sypuchikh materialov [Reinforced concrete silos with a diameter of 6 and 12 m for bulk material storage]. (rus)

18. SNiP 2.03.04–84. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii, prednaznachennye dlya raboty v usloviyakh vozdviizhiya povyshennykh i vysokikh temperatur [Concrete and reinforced concrete structures for operation at high temperatures]. Moscow: Gosstroy SSSR, 1985. 54 p. (rus)
19. SNiP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal protection of buildings]. Moscow, 2012. 82 p. (rus)

Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Дмитренко Евгений Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, d.e.a_2008@mail.ru

Гончарова Яна Юрьевна, магистрант, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, mohonko.yana22@yandex.ru

Белоус Ольга Евгениевна, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, olga.belaus@yandex.ua

Authors Details

Aleksei N Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

Evgenii A Dmitrenko, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, d.e.a_2008@mail.ru

Yana Yu Goncharova, Research Assistant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, mohonko.yana22@yandex.ru

Ol'ga E Belous, Research Assistant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, olga.belaus@yandex.ua