

КЛАССИФИКАЦИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СТЕПЕНИ МАССИВНОСТИ

Г.А. Пикус¹, pikusga@susu.ru
А.Е. Русанов¹, rusanovae@susu.ru
К.М. Мозгалёв^{1,2}, mozgalevkm@susu.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Главное управление государственного строительного надзора Челябинской области, Челябинск, Россия

Аннотация. В статье проведен анализ нормативной, технической и научной литературы на предмет имеющихся классификаций монолитных конструкций по степени массивности. Выявлено, что в основу большинства имеющихся классификаций положена такая характеристика массивности, как модуль поверхности. При этом все рассмотренные классификации не совпадают между собой по диапазонам значений модуля поверхности, а некоторые источники говорят о том, что при классификации помимо модуля поверхности необходимо учитывать и ряд других параметров. Более того, ни в одном источнике литературы не дано определение термина «массивность». Представлены доказательства того, что параметр массивности имеет природное происхождение и в естественных условиях гармонично меняется с изменением климатических условий. Показано, что гармония природы тесно связана с гармонией золотого сечения, вследствие чего в данной работе применена концепция золотого сечения при классификации конструкций по степени массивности. Результаты исследований показывают, что конструкции типа куб имеют три степени массивности (массивная, среднемассивная и немассивная), а конструкции типа колонны (балки) или плиты (стены) – только две (среднемассивная, немассивная). Каждой степени массивности того или иного типа конструкции определены свои диапазоны изменения модуля поверхности.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, массивность, модуль поверхности, золотое сечение

Для цитирования. Пикус Г.А., Русанов А.Е., Мозгалёв К.М. Классификация монолитных конструкций по степени массивности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 4. С. 50–57. DOI: 10.14529/build240407

Original article
DOI: 10.14529/build240407

CLASSIFICATION OF MONOLITHIC STRUCTURES BY THE DEGREE OF MASSIVENESS

G.A. Pikus¹, pikusga@susu.ru
A.E. Rusanov¹, rusanovae@susu.ru
K.M. Mozgalev^{1,2}, mozgalevkm@susu.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Main Department of State Construction Supervision of the Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The paper analyzes statutory, technical, and scientific literature on the applicable classifications of monolithic structures by the degree of massiveness. It reveals that the most applicable classifications are based on such massiveness characteristic as the surface modulus. At the same time, all the considered classifications do not coincide with each other in the ranges of surface modulus values. Some sources argue that classification should take into account several other parameters in addition to the surface modulus. Moreover, no literature sources define the term “massiveness”. The paper proves that the massiveness parameter is of natural origin and changes harmoniously in natural conditions with changing climatic conditions. It shows that the harmony of nature is closely related to the harmony of the golden section using the golden section concept in classifying structures by the degree of massiveness. The research findings show that cube-type structures have three degrees of massiveness (massive, medium-massive, and non-massive), while column (beams) or slab

(walls) type structures have only two degrees of massiveness (medium-massive, non-massive). Each degree of massiveness of a particular structure type has its own range of changes in the surface modulus.

Keywords: cold-weather concreting, massiveness, surface modulus, golden section

For citation. Pikus G.A., Rusanov A.E., Mozgalev K.M. Classification of monolithic structures by the degree of massiveness. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(4):50–57. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240407

Введение

В теории зимнего бетонирования важнейшую роль играет такой параметр, как массивность конструкции. Общеизвестно, что он характеризуется модулем поверхности¹, в общем случае численно равным отношению суммы площадей охлаждаемых поверхностей конструкции к ее объему:

$$M_n = \frac{\sum F_{\text{охл}}}{V}.$$

Однако так было не всегда: на определенном этапе развития теории зимнего бетонирования использовалось обратная зависимость – отношение объема конструкции к площади поверхности [1].

Для упрощения расчетов для некоторых типовых конструкций определены формулы с учетом геометрии конструкций [2, 3], например:

– для плит и стен толщиной a , м:

$$M_n = \frac{2}{a},$$

– для колонн и балок квадратного сечения со стороной a , м:

$$M_n = \frac{4}{a},$$

– для кубов со стороной a , м:

$$M_n = \frac{6}{a}.$$

Продемонстрировать влияние данного параметра на технологические процессы зимнего бетонирования можно следующим образом:

– из первой теоремы Кондратьева [4] темп охлаждения конструкции пропорционален площади ее боковой поверхности и обратно пропорционален объему:

$$m = \psi \frac{\alpha F}{c\gamma V};$$

– градиент температуры для объемной фигуры как величину, демонстрирующую равномерность распределения температуры по объему конструкции, можно записать в виде объемной производной:

$$\text{grad}(t) = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\int t dF}{V}.$$

¹ Интересно, что кроме того, что массивность характеризуется модулем поверхности, никакого определения термина массивности нет.

Таким образом, видно, что параметр массивности однозначно определяет температурные режимы выдерживания бетона. Однако для того чтобы выполнить в конкретных климатических условиях максимально достоверную предварительную оценку поведения выдерживаемых конструкций и назначить необходимые технологические параметры зимнего бетонирования, нужно иметь правильную классификацию конструкций по степени массивности.

Среди нормативной документации спорная классификация приведена в [5], согласно ей массивными конструкциями считают те, у которых минимальный геометрический размер составляет 0,8 м и более. То есть здесь для любых конструкций массивность определяется только одним геометрическим размером, что верно лишь для пластин и квадратных колонн. Более того, даже для пластин считать немассивной конструкцию толщиной 0,7 м, у которой $Mn = 2,9 \text{ м}^{-1}$, представляется нелогичным.

Не менее спорное определение массивной конструкции приведено в [6]: массивной является та конструкция, для которой отношение площади поверхности, открытой для ее высыхания, к ее объему равно или меньше 2. То есть здесь рассматриваются не охлаждаемые поверхности (к которым относятся как открытые, так и утепленные поверхности, и поверхности, соприкасающиеся с негреющей опалубкой или с холодным грунтом), а только открытые поверхности. Такой подход к оценке массивности противоречит самой сути данного параметра в теории зимнего бетонирования, связанного с изменением температуры тела.

В научной и технической литературе представлено большое разнообразие мнений о классификации конструкции по степени массивности. Так, в [7] показано, что массивными являются конструкции с модулем поверхности до 4, а маломассивными – более 8. В [8] автор пишет: «... конструкция считается массивной при $Mn < 6 \text{ м}^{-1}$, средней массивности – при $Mn = 6...9 \text{ м}^{-1}$ и ажурной – при $Mn > 9 \text{ м}^{-1}$ », видимо, под термином «ажурная» понимая «маломассивная» или «немассивная».

В монографии [9] предлагается считать: массивными – конструкции с Mn до 3 м^{-1} , средней массивности – с Mn $3...8 \text{ м}^{-1}$, немассивными – с Mn $8...12 \text{ м}^{-1}$. Таким образом, из классификации исчезает целый ряд конструкций с модулем поверхности более 12 м^{-1} .

В монографии [10] конструкции делятся на массивные с Mn до 6 м^{-1} и маломассивные, к которым относят конструкции с $Mn = 12 \dots 20 \text{ м}^{-1}$, а также стыки с $Mn = 20 \dots 100 \text{ м}^{-1}$.

В работе [11] сказано, что среднемассивными являются конструкции с модулем поверхности $2-12 \text{ м}^{-1}$. Тогда очевидно, что массивными будут конструкции с модулем поверхности до 2 м^{-1} , а немассивными – более 12 м^{-1} .

Из продемонстрированного выше видно, что однозначной классификации конструкций, возводимых в зимних условиях, по степени массивности нет.

В качестве причины отсутствия однозначной классификации можно принять мнение о том, что «при одном и том же Mn , но разной конфигурации конструкции остывание происходит неодинаково» [12]. Об этом же указано в [13], где приведены аналитические зависимости для оценки модуля поверхности четырех групп конструкций.

Одной из последних работ, в которых рассмотрен вопрос классификации монолитных конструкций по степени массивности, является [14]. Авторы не предлагают своей классификации, а задаются вопросом о несовершенстве текущих классификаций и считают, что при оценке массивности необходимо учитывать не только геометрию конструкции, но и особенности как климатических условий, так и условий производства работ.

Более того, в [2] указано, что «любая конструкция может рассматриваться или как немассивная, или как массивная», и приводятся условия отнесения плит и колонн к немассивным конструкциям:

– для колонн:

$$\frac{A}{\lambda} < 2,$$

– для плит толщиной b :

$$\frac{A \cdot b}{\lambda} < 2,$$

где A – общий коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$; λ – коэффициент теплопроводности материала, $\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$.

Таким образом, перед нами стоит цель – разработать достоверную классификацию монолитных конструкций, выдерживаемых в зимних условиях, по критерию массивности.

Методика проведения исследования

Необходимо учесть, что параметр массивности имеет природное происхождение. Так, в 1847 году сформулировано правило Бергмана [15]: среди сходных форм теплокровных животных наиболее крупными являются те, которые живут в условиях более холодного климата. Это правило основано на предположении, что тепловыделение тела зависит от его объема, а скорость теплоотдачи – от площади его поверхности. При увеличении размеров животных объем тела растет быстрее, чем его поверхность.

В дополнение к этому правилу можно привести и правило Аллена (1887 год). Согласно этому правилу среди родственных форм теплокровных животных, ведущих сходный образ жизни, те, которые обитают в более холодном климате, имеют относительно меньшие выступающие части тела: уши, конечности, хвосты и т. д. Сокращение размеров выступающих частей тела приводит к уменьшению площади поверхности тела и способствует экономии тепла. Видно, что природа создала гармонию между тепловыделением тела и его теплоотдачей, найдя оптимальное сочетание объема и площади поверхности тела.

Примем за истину наличие трех степеней (уровней) массивности конструкции – массивная, среднемассивная и немассивная. В данной работе был использован нестандартный подход к делению линейки значений массивности на отрезки (уровни). В основу этого подхода легла концепция золотого сечения [16] как математической категории, широко представленной в природе. Гармония золотого сечения тесно связана с гармонией природы, описанием которой занимается физика (в нашем случае раздел термодинамики [17]) путем применения необходимого для этого математического аппарата. Поэтому такой подход следует признать обоснованным. Более того, пропорции золотого сечения используются не только в искусстве и архитектуре, но и в целом ряде областей, далеких от них, например, в металлургии, в экономике и других [18–20].

Согласно [16] значение величины золотой пропорции d равно $1,618$. На рис. 1 показано деление отрезка длиной в две единицы на три пропорциональных отрезка (в соответствии с тремя уровнями массивности). При этом образующийся ряд чисел при делении отрезка представляет собой геометрическую прогрессию и обладает аддитивными свойствами, присущими арифметическому ряду: $1, 1/d, (1/d)^2$.

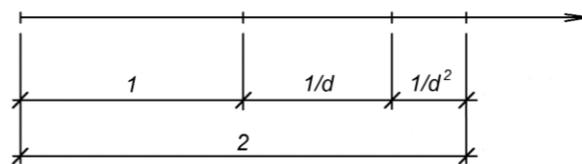


Рис. 1. Деление отрезка длиной 2 единицы согласно концепции золотого сечения

Учитывая, как было показано выше, что массивность влияет на равномерность распределения температуры по объему конструкции, из первой теоремы Кондратьева видно, что за такую равномерность отвечает и параметр ψ – коэффициент неравномерности распределения температуры в теле конструкции. Этот коэффициент принимает значения от стремящегося к 0 (температуры по объему тела распределены абсолютно неравномерно – т. е. конструкция массивна), до 1 (температуры по объему одинаковы – т. е. конструкция

немассивна). Следовательно, между Mn и ψ можно установить прямую взаимосвязь, а деление массивности на уровни определить через коэффициент ψ по пропорции золотого сечения.

Результаты исследования

Преобразуем рис. 1 с учетом того, что шкалой значений будет являться коэффициент неравномерности ψ , значения которого лежат в диапазоне (0;1] (рис. 2). Тогда получим, что массивным конструкциям будет соответствовать диапазон коэффициента ψ от 0 до 0,5, среднемассивным – от 0,5 до 0,809, немассивным – от 0,809 до 1. Причем эти диапазоны будут постоянны для любых конструкций, независимо от их формы и размеров.

Исследуем взаимосвязь модуля поверхности с коэффициентом неравномерности распределения температур для ряда конструкций, чей модуль поверхности определен во введении к данной статье. Из [4]:

$$\psi = (B^2 + 1,44B + 1)^{-0,5},$$

где B – модифицированная форма числа Vi .

$$B = \frac{\alpha FK}{\lambda V} = \frac{\alpha K}{\lambda} M_n,$$

здесь α – коэффициент теплоотдачи (принят в дальнейшем 6,3 Вт/(м²·°С)); λ – коэффициент теплопередачи бетона (принят 2,6 Вт/(м·°С)); K – коэффициент формы тела (м²):

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{x}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{y}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{z}\right)^2}.$$

Запишем результаты расчетов для кубов в табл. 1, а зависимость коэффициента неравномерности распределения температур в теле конструкции от модуля ее поверхности представим в виде графика (рис. 3).

Видно, что для монолитных конструкций, имеющих форму куба, массивными следует считать конструкции с модулем поверхности до 2,57 м⁻¹, среднемассивными – с модулем поверхности от 2,57 до 9,78 м⁻¹, а немассивными – с модулем поверхности более 9,78 м⁻¹.

Построим аналогичные графики для колонн и балок квадратного сечения (рис. 4) и для плит и стен (рис. 5).

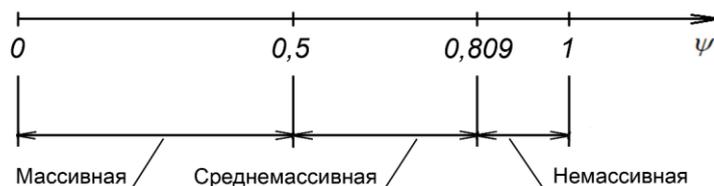


Рис. 2. Деление коэффициента неравномерности распределения температур по степени массивности конструкций

Таблица 1

Расчетные параметры для кубов

Размер ребра, a , м	Модуль поверхности, Mn , м ⁻¹	Коэффициент формы, K	Модифицированная форма числа Vi	Коэффициент неравномерности распределения температур, ψ
0,15	40,00	0,00076	0,0738	0,948
0,2	30,00	0,00135	0,0985	0,932
0,3	20,00	0,00304	0,1477	0,900
0,4	15,00	0,00541	0,1969	0,870
0,5	12,00	0,00845	0,2462	0,841
0,6	10,00	0,01217	0,2954	0,813
0,7	8,57	0,01657	0,3446	0,787
0,8	7,50	0,02164	0,3939	0,762
0,9	6,67	0,02738	0,4431	0,738
1,0	6,00	0,03381	0,4923	0,716
1,5	4,00	0,07607	0,7385	0,619
2,0	3,00	0,13523	0,9847	0,543
2,5	2,40	0,21130	1,2309	0,483
3,0	2,00	0,30427	1,4770	0,434
3,5	1,71	0,41415	1,7232	0,394
4,0	1,50	0,54093	1,9694	0,360
6,0	1,00	1,21709	2,9541	0,267

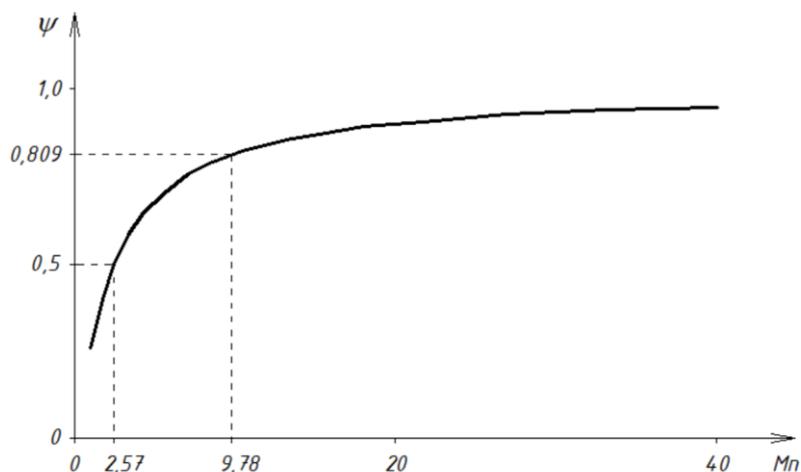


Рис. 3. Взаимосвязь коэффициента неравномерности температур и модуля поверхности для конструкций типа куб

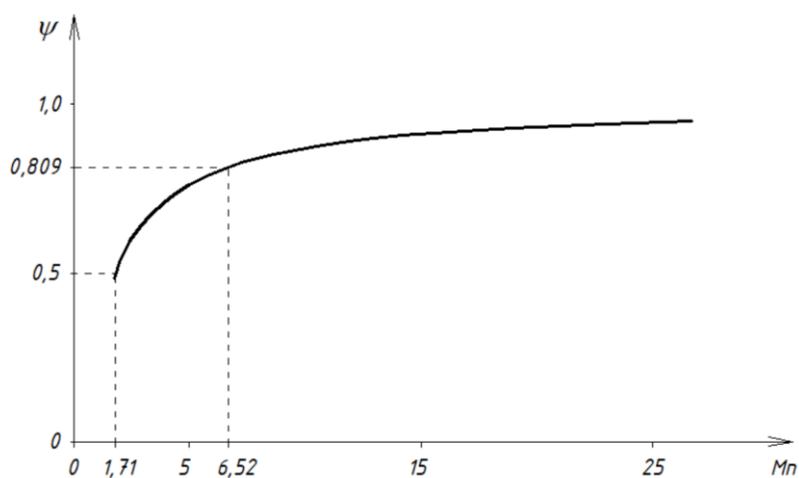


Рис. 4. Взаимосвязь коэффициента неравномерности температур и модуля поверхности для колонн и балок квадратного сечения

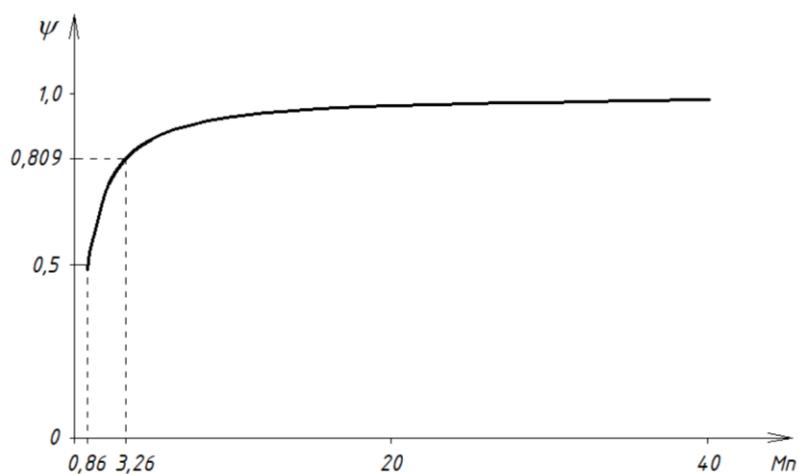


Рис. 5. Взаимосвязь коэффициента неравномерности температур и модуля поверхности для плит и стен

Таблица 2

Классификация монолитных конструкций по степени массивности

Конструкция	Модуль поверхности конструкции, м ⁻¹ , для степени массивности		
	Массивная	Среднемассивная	Немассивная
Куб	менее 2,57	2,57...9,78	более 9,78
Колонна, балка	–	менее 6,52	более 6,52
Плита, стена	–	менее 3,26	более 3,26

Результаты расчетов для колонн (балок) и плит (стен) показывают, что фактически такие конструкции делятся по степени массивности только на среднемассивные и немассивные. Чтобы такие конструкции признать массивными, необходимо, чтобы их определяющий размер (сторона квадрата или толщина пластины) был не менее 2,36 см, что на реальных конструкциях практически не осуществимо.

Таким образом, окончательная классификация монолитных конструкций по степени массивности приведена в табл. 2.

В завершение статьи ввиду отсутствия в нормативной и технической литературе термина «массивность» хотелось бы предложить свое определение этого параметра на основе вышеприве-

денного исследования: массивность – это характеристика формы и размеров тела, отражающая его способность накапливать тепло и формировать температурное поле в объеме тела.

Выводы

Дана классификация монолитных конструкций по степени массивности, которая учитывает тип возводимых конструкций. Результаты показывают, что конструкции типа куб имеют три степени массивности (массивная, среднемассивная и немассивная), а конструкции типа колонны (балки) или плиты (стены) – только две (среднемассивная, немассивная). Каждой степени массивности того или иного типа конструкций соответствуют свои диапазоны значений модуля поверхности.

Список литературы

1. Рекомендации по зимнему бетонированию / под ред. С.А. Миронова, Б.А. Крылова. М.: Стройиздат, 1965. 64 с.
2. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М.: Стройиздат, 1975. 192 с.
3. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005. 275 с.
4. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М.: Гостехиздат, 1954. 408 с.
5. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ.
6. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
7. Патент № 2143047 С1 Российская Федерация, МПК E04G 11/00. Способ бетонирования монолитных конструкций с элементами разной массивности / А.Р. Соловьянич, С.А. Шифрин, А.Е. Руденко. № 98111921/03; заявл. 18.06.1998; опубл. 20.12.1999.
8. Миронов, А.Д. Выбор оптимального метода зимнего бетонирования в обществе с ограниченной ответственностью «Стройсервис» при строительстве серии жилых домов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2016. Т. 1. С. 433–437.
9. Копылов, В.Д. Устройство монолитных бетонных конструкций при отрицательных температурах среды: моногр. М.: Изд-во АСВ, 2014. 184 с.
10. Молодин В.В., Лунев Ю.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях: моногр. / науч. ред. Ю.А. Попов. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. 300 с.
11. Арбенев, А.С. Зимнее бетонирование с электроразогревом смеси. М.: Стройиздат, 1970. 103 с.
12. Гныря А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. 280 с.
13. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. 156 с.
14. О влиянии некоторых технологических факторов на качество бетона монолитных железобетонных конструкций / Г.В. Несветаев, Ю.И. Корянова, А.С. Чепурненко, Д.П. Сухин // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11(83). С. 367–383.
15. Винарский М.В. О применимости правила Бергмана к эктотермным организмам: современное состояние проблемы // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74, № 5. С. 327–339.
16. Коробко В.И. Золотая пропорция и проблемы гармонии систем. М.: Изд-во АСВ, 1998. 374 с.
17. Ондар С.О. Принципы термодинамики в биологических системах // Вестник Тувинского государственного университета. № 2 Естественные и сельскохозяйственные науки. 2011. № 2(9). С. 35–46.

18. Проявление золотого сечения в рецептуре формовочной смеси / А.З. Исагулов, В.Ю. Куликов, Т.В. Чудновец [и др.] // Труды университета. 2011. № 4(45). С. 15–17.
19. Густов Ю.И., Воронина И.В. Исследование взаимосвязи пределов текучести и прочности строительных сталей различных категорий прочности // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2021. № 33. С. 9–12.
20. Васильев В.Д., Васильев Е.В., Филимонова Л.А. Управленческие решения: нормы риска и доходности для модели ЕВІТ в формате золотого сечения // Бизнес. Образование. Право. 2018. № 1(42). С. 25–32.

References

1. *Rekomendacii po zimnemu betonirovaniyu* [Recommendations for cold-weather concreting] ed. S.A. Mironov, B.A. Krylov. Moscow, Stroyizdat Publ., 1965. 64 p. (in Russ.)
2. *Rukovodstvo po zimnemu betonirovaniyu s primeneniem metoda termososa* [Guidance on thermos-based cold-weather concreting]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975. 192 p. (in Russ.)
3. *Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstrukciyah* [Guidance on concrete heating in monolithic structures]. Ed. By B.A. Krylov, S.A. Ambartsumyan, A.I. Zvezdov. Moscow, NIIZhB, 2005. 275 p. (in Russ.)
4. Kondratev G.M. *Regulyarnyj teplovoj rezhim* [Regular thermal mode]. Moscow, Gostekhizdat, 1954. 408 p. (in Russ.)
5. SP 435.1325800.2018. *Konstrukcii betonnye i zhelezobetonnye monolitnye. Pravila proizvodstva i priemki rabot* [Set of Rules 435.1325800.2018. Concrete and Reinforced Concrete Monolithic Structures. Works Execution and Acceptance Rules]. (in Russ.)
6. SP 63.13330.2018. *Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya* [Set of Rules 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions]. (in Russ.)
7. Solov'yanchik A.R., Shifrin S.A., Rudenko A.E. *Sposob betonirovaniya monolitnykh konstruksiy s elementami raznoy massivnosti* [A method for concreting monolithic structures with elements of different massiveness]. Patent RF no RU 2143047, 1999.
8. Mironov A.D. [Choosing the optimal cold-weather concreting method in “Stroyservis” limited liability company during the construction of a series of residential buildings]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke [Scientific, Technical and Economic Cooperation of Asia-Pacific Countries in the 21st Century]*, 2016, vol. 1, pp. 433–437. (in Russ.)
9. Kopylov V.D. *Ustrojstvo monolitnykh betonnykh konstrukcij pri otricatel'nyh temperaturah sredy: monografiya* [Installation of monolithic concrete structures at negative ambient temperatures: monograph]. Moscow, ASV Publishing House, 2014. 184 p. (in Russ.)
10. Molodin V.V., Lunev Yu.V. *Betonirovanie monolitnykh stroitel'nykh konstrukcij v zimnih usloviyah: monografiya* [Concreting of monolithic building structures in winter conditions: monograph]. Ed. Yu.A. Popov. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 2006. 300 p. (in Russ.)
11. Arbenev A.S. *Zimnee betonirovanie s elektrorazogrevom smesi* [Cold-weather concreting with electrical heating of the mixture]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1970. 103 p. (in Russ.)
12. Gnyrya A.I. *Tekhnologiya betonnykh rabot v zimnih usloviyah* [The technology of concrete works in winter conditions]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 1984. 280 p. (in Russ.)
13. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Technology of winter concreting. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk, South Ural State Univ. Publ., 1999. 156 p. (In Russ.)
14. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Chepurnenko A.S., Sukhin D.P. [On the influence of some technological factors on the quality of concrete of monolithic reinforced concrete structures]. *Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, 2021, no. 11(83), pp. 367–383. (in Russ.)
15. Vinarsky M.V. [On the applicability of Bergmann’s rule to ectotherms: the state of the art]. *Zhurnal obshchey biologii [Journal of General Biology]*, 2013, vol. 74, no. 5, pp. 327–339. (in Russ.)
16. Korobko V.I. *Zolotaya proporcija i problemy garmonii sistem* [The golden proportion and the problems of system harmony]. Moscow, ASV Publ., 1998. 374 p. (in Russ.)
17. Ondar S.O. [Principles of thermodynamics in biological systems]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. № 2 Estestvennye i sel'skokhozyaystvennye nauki* [Bulletin of Tuva State University. № 2 Natural and Agricultural Sciences], 2011, no. 2(9), pp. 35–46. (in Russ.)
18. Isagulov A.Z., Kulikov B.Yu., Chudnovets T.V. et al. [Manifestation of the golden section in the formulation of the molding mixture]. *Trudy universiteta* [Proceedings of the University], 2011, no. 4(45), pp. 15–17. (in Russ.)
19. Gustov Yu.I., Voronina I.V. [Study of the relationship between yield strength and strength of construction steels of various strength categories]. *Novyye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii* [New Materials and Technologies in Mechanical Engineering], 2021, no. 33, pp. 9–12. (in Russ.)

20. Vasiliev V.D., Vasiliev E.V., Filimonova L.A. [Management solutions: risk and return rates for the EBIT model in the format of golden ratio]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo [Business. Education. Law]*, 2018, no. 1(42), pp. 25–32. (in Russ.)

Информация об авторах:

Пикус Григорий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; pikusga@susu.ru

Русанов Алексей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; rusanovae@susu.ru

Мозгалёв Кирилл Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет; начальник, Главное управление государственного строительного надзора Челябинской области, Челябинск, Россия; mozgalevkm@susu.ru

Information about the authors:

Grigory A. Pikus, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; pikusga@susu.ru

Aleksey E. Rusanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; rusanovae@susu.ru

Kirill M. Mozgalev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University; Head of the Main Department of State Construction Supervision of the Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, Russia; mozgalevkm@susu.ru

Статья поступила в редакцию 16.07.2024, принята к публикации 10.09.2024.

The article was submitted 16.07.2024 and approved after reviewing 10.09.2024.