



## Цементы низкой водопотребности как альтернативный вид применяемой в товарном бетоне вяжущей смеси

С.В. Макаренко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** В статье приводится сравнение портландцемента с цементом низкой водопотребности. Цель исследования – оценка возможного снижения стоимости вяжущей смеси и, как следствие, товарного бетона на ее основе с возможным совмещением улучшения физико-механических характеристик и их обеспечения за наиболее короткий временной интервал. Это, несомненно, является актуальным показателем, особенно при строительстве в зимний период, поскольку кинетика набора прочности бетона является одним из ключевых показателей, лимитирующих темпы строительного производства. В основе исследования лежит оценка возможности введения в его состав техногенных отходов и местного минерального сырья, и эффективно подобранной строительной химии на основе поликарбоксилатов. Разномарочные цементы низкой водопотребности получали совместным помолом портландцемента и кремнеземистого или карбонатного наполнителя в присутствии требуемой дозировки суперпластификатора и в зависимости от вида исследуемого цемента низкой водопотребности. По результатам исследования оценена эффективность получения цементов низкой водопотребности карбонатного и кремнеземистого типа. Рассмотрены следующие показатели: кинетика набора прочности, нормальная плотность цементного теста различных составов, установлено оптимальное значение удельной поверхности составляющих цементом низкой водопотребности. Проведено исследование зависимости прочности бетона на основе цемента низкой водопотребности разных марок. Сделаны выводы, позволяющие оценить эффективность применения разрабатываемых вяжущих смесей.

**Ключевые слова:** цемент, суперпластификатор, цементы низкой водопотребности, золошлаковая смесь, карбонаты, композиционные цементы

**Для цитирования:** Макаренко С.В. Цементы низкой водопотребности как альтернативный вид применяемой в товарном бетоне вяжущей смеси // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 58–63. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-58-63>.

### Original article

## Cements with low water demand as an alternative type of binding mixture used in ready-mixed concrete

Sergey V. Makarenko

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The paper compares Portland cement and cement with low water demand. The aim of the study was to estimate the possibility of reducing the cost of a binder and the cost of the resulting ready-mixed concrete, along with achieving its improved physical and mechanical properties over a short time frame. This is undoubtedly a relevant indicator, especially in winter construction, since the kinetics of concrete strength gain is one of the key factors limiting the pace of construction. The study assesses the feasibility of introducing technogenic waste and local minerals into concrete composition, as well as effectively selected structural chemistry based on polycarboxylates. Cements with low water demand of various grades were produced by grinding Portland cement and silica or carbonate filler, in the presence of the required dosage of superplasticizer and depending on the type of cement with low water demand under investigation. Based on the results of the study, the efficiency of obtaining cements with low water demand of carbonate and silica type was estimated. Kinetics of strength gain and normal

density of cement-water paste of various compositions were considered. Optimal value of the specific surface area of the cement with low water demand was established. The strength dependencies of the concrete produced on the basis of low water demand cement of different grades were analyzed. The conclusions enable the effectiveness of using the binders under development to be assessed.

**Keywords:** cement, superplasticizer, cements of low water demand, ash-slag mixture, carbonates, composite cements

**For citation:** Makarenko S.V. Cements with low water demand as an alternative type of binding mixture used in ready-mixed concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):58-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-58-63>.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальностью исследования является смена производства в сторону малозатратных, малоотходных «зеленых» технологий [1], базирующихся на циркулярной экономике и обеспечении строительной отрасли эффективными минеральными вяжущими смесями [2–4]. Цементная промышленность в мире является достаточно значимым сектором производства в части выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу – на ее долю приходится около 8% [5]. В развитых странах ограничивают возможность увеличения мощности заводов по производству цемента, а его дефицит при растущих темпах строительства исключают путем разбавления клинкерной составляющей техногенными отходами и минеральным сырьем [6]. На территории РФ, в частности в Иркутской области накоплено колоссальное количество техногенных отходов, объемы которых продолжают расти и сейчас, поскольку предприятия их образующие в своем большинстве действуют, не снижая темпов производства. В частности, к таким отходам относятся золошлаковые смеси ТЭС. В случае эффективного подхода к их переработке, они могут с успехом применяться при производстве строительных материалов, что повлечет за собой их крупнотоннажную утилизацию [7]. При этом открывается возможность минимизировать клинкероёмкость в цементных бетонах за счет вхождения их в состав композиционной вяжущей смеси [1, 8, 9].

На сегодняшний день наиболее эффективными композиционными вяжущими, отвечающими требованию зеленой технологии, являются цементы низкой водопотребности (ЦНВ) [10–12]. ЦНВ получают по безобжиговой технологии путем совместного или последовательно-раздельного измельчения портландцемента, минерального наполнителя (известняк, кварцевый песок, шлак, зола-уноса и др.) и суперпластификатора [13–15].

Цементы низкой водопотребности (ЦНВ) – новое эффективное вяжущее на основе порт-

ландцементного клинкера, обладающее минимальной водопотребностью среди существующих в настоящее время минеральных вяжущих. Ко всему прочему, отличительной особенностью ЦНВ является ее удельная поверхность (4000–7000 см<sup>2</sup>/г) при сравнении с портландцементом [10, 16, 17]. Основной целью исследований являлась оценка возможности применения ЦНВ разных марок и составов при производстве товарного бетона.

## МЕТОДЫ

Характеристика типа ЦНВ и компонентов, используемых при проведении исследований.

1. ЦНВ карбонатного типа. Марка ЦНВ 50 (50% портландцемент/50% карбонатная порода).

2. Портландцемент – Цем I 42,5 (Ангарский цементный завод).

3. Карбонатная порода – доломит Холмшенского месторождения. Данный минерал из класса карбонатов химического состава CaCO<sub>3</sub>•MgCO<sub>3</sub>. К доломитам, как правило, относят осадочную карбонатную горную породу, состоящую из минерала доломита на 95% и более: CaO – 30,4%, MgO – 21,7%, CO<sub>2</sub> – 47,9%. Содержание CaO и MgO часто колеблется в небольших пределах. При измельчении доломита используют щековую дробилку, шаровую мельницу и, в конечном итоге, для достижения высокой удельной поверхности – вибрационную мельницу.

4. Пластифицирующая добавка – суперпластификатор «Sika VC 225» (0,4%). Осуществляется раздельный помол цемента с пластификатором и карбонатной добавки с пластификатором.

5. ЦНВ кремнеземистого типа марки ЦНВ-50 (50% портландцемент / 50% кремнеземистая активная минеральная добавка).

6. Портландцемент Цем I 42,5 (Ангарский цементный завод).

7. ЗШС ТЭЦ-10.

8. Пластифицирующая добавка – суперпластификатор «Tolstoplast» (0,4%).

Осуществляется раздельный помол цемента с пластификатором и кремнеземистой добавки с пластификатором. В работе выполнена оценка эффективности ЦНВ в сравнении с рядовым портландцементом на ранних стадиях твердения.

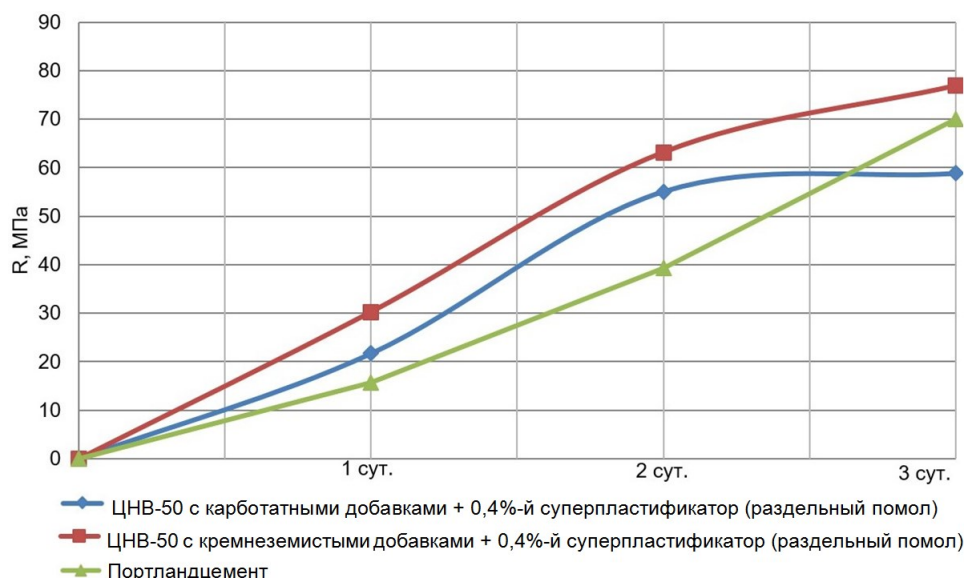
Проведена оценка прочности образцов кубов 20×20×20мм на сжатие при нормальных условиях твердения на 1, 3 и 7 сут. портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ31108-2020)<sup>1</sup>, ЦНВ с золой и пластификатором «Tolstoplast»

(0,4%) при раздельном помоле, ЦНВ с доломитом и пластификатором «Sika VC 225» (0,4%) при раздельном помоле. Проведено сравнение прочности бетона с использованием портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, а также трех марок кремнеземистого – ЦНВ-50, ЦНВ-70, ЦНВ-90. В качестве компонентов ЦНВ использовали золу отвала ТЭС, поликарбоксилатный суперпластификатор «Tolstoplast» 0,4% и портландцемент ангарского завода ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ31108-2020)<sup>1</sup>.

**Таблица 1.** Некоторые сравнительные физико-механические характеристики цементов низкой водопотребности и портландцемента

**Table 1.** Some comparative physical and mechanical characteristics of cements of low water demand and Portland cement

| Вяжущее                                                     | S уд., см <sup>2</sup> /г | НГ, %  | Возраст цементного камня, сут. | Прочность, R, на сжатие МПа |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|--------------------------------|-----------------------------|
| ЦЕМ I 42,5                                                  | 3200                      | 29,0%  | 1                              | 15,6                        |
|                                                             |                           |        | 3                              | 44,1                        |
|                                                             |                           |        | 7                              | 70                          |
| Кремнеземистое ЦНВ-50 (+0,4% Tolstoplast), раздельный помол | 6000                      | 25,0%  | 1                              | 38                          |
|                                                             |                           |        | 3                              | 57                          |
|                                                             |                           |        | 7                              | 71                          |
| Карбонатное ЦНВ-50 (+0,4% Sika), раздельный помол           | 6000                      | 21,25% | 1                              | 22,9                        |
|                                                             |                           |        | 3                              | 54,4                        |
|                                                             |                           |        | 7                              | 58,8                        |



**Рис. 1.** Кривая изменения прочности на сжатие образцов кубов теста нормальной густоты 20×20×20 мм от времени твердения

**Fig. 1.** Curve of change in compressive strength of test cubes of normal density 20×20×20 mm from the hardening time

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полученных данных, представленных в табл. 1 и на рис. 1, установлено,

что ЦНВ с кремнеземистыми, а также с карбонатными составами наиболее активно набирают прочность в 1 и 3 сут. твердения в срав-

<sup>1</sup>ГОСТ31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 01.03.2021 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174658> (27.10.2022).

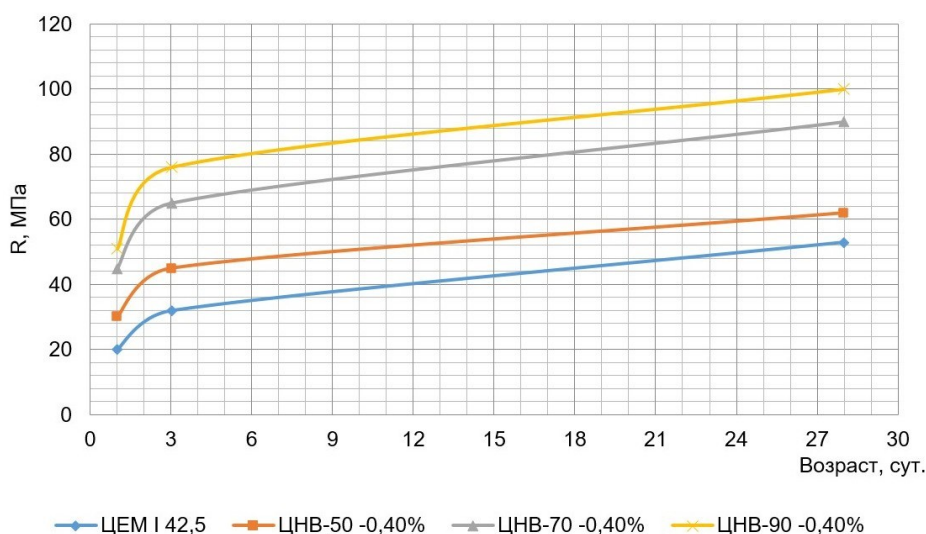
нении с рядовым портландцементом, что очень важно в условиях зимнего бетонирования. Это позволяет снизить затраты на противоморозные добавки, длительный и достаточно затратный электропрогрев бетонной смеси за счет быстрого набора критической прочности. Из этого следует возможность получения дешевого и экологичного вяжущего, которое может использоваться при производстве всех видов товарного бетона и изделий из сборного железобетона, а также как основной компо-

нент сухих строительных смесей. Состав бетона на ЦНВ-50 (табл. 2) показывает более высокую прочность в сравнении с бетоном аналогичного состава на портландцементе. Составы бетонов на ЦНВ-70 и ЦНВ-90 в значительной степени превосходят бетоны на традиционном портландцементе (рис. 2), что дает полное основание для беспрепятственного применения ЦНВ-50 и возможно ЦНВ-40 в товарном бетоне без снижения требуемых физико-механических характеристик.

**Таблица 2.** Расход компонентов на один м<sup>3</sup> бетонной смеси и некоторые физико-механические характеристики

**Table 2.** Consumption of components one m<sup>3</sup> of concrete mix and some physical and mechanical characteristics

| № состава | Вид вяжущей смеси | Расход материалов, кг/м³ |                            |                 |      |                                           | Свойства тяжелых бетонов        |                      |                                                              |    | Класс бетона |     |
|-----------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|------|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------|----|--------------|-----|
|           |                   | Цемент                   | Песок M <sub>кр</sub> =2,6 | Щебень (Др1200) | Вода | Поликарбоксилатный СП от массы цемента, % | Плотность бетонной смеси, кг/м³ | Марка по подвижности | Прочность на сжатие при нормальном твердении в возрасте, МПа |    |              |     |
|           |                   |                          |                            |                 |      |                                           |                                 |                      | 1                                                            | 3  |              | 28  |
|           |                   |                          |                            |                 |      |                                           |                                 |                      |                                                              |    |              |     |
| 1         | ЦЕМ I 42,5        | 400                      | 720                        | 1110            | 160  | 0,4                                       | 2380                            | П5                   | 20                                                           | 32 | 53           | B40 |
| 2         | ЦНВ-50            |                          | 800                        | 1090            | 130  | —                                         | 2400                            |                      | 30                                                           | 45 | 62           | B45 |
| 3         | ЦНВ-70            |                          | 790                        | 1120            | 130  | —                                         | 2430                            |                      | 45                                                           | 65 | 90           | B65 |
| 4         | ЦНВ-90            |                          | 780                        | 1150            | 135  | —                                         | 2460                            |                      | 51                                                           | 76 | 100          | B75 |



**Рис. 2.** Зависимость прочности бетона на исследуемых видах, вяжущих от времени твердения  
**Fig. 2.** The dependence of the strength of concrete on the studied types of binders on the hardening time

## ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать обоснованный вывод о несомненной научно-практической перспективе проведения дальнейших исследований в данном направлении. В случае практической реализации применения ЦНВ в массовом производстве товарного бетона и железобетона решаются задачи, направленные как на

получения бетонов высокого качества и значительно меньшей себестоимости производства, так и внедрение зеленых производственных технологий замкнутого цикла, что на сегодняшний день является весьма актуальной задачей исходя из научно технологического развития и стратегии развития промышленности строительных материалов как для федерального, так и для регионального уровня РФ.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов Ю.М., Демьянов В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
2. Кунн К. CEMBUREAU – цементный и энергетический рынок в Европе и мире // Цемент и его применение. 2013. № 3. С. 22–33.
3. Рикерт Й., Мюллер К. Эффективные композитные цементы – вклад в сокращение выбросов CO<sub>2</sub> // Alitinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2011. № 2 (19). С. 28–49.
4. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсосбережения в строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1 // Строительные материалы. 1997. № 7. С. 12–21.
5. Чомаева М.Н. Экологические проблемы воздействия химической промышленности на окружающую среду (на примере цементного производства) // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-1 (14). С. 141–143.
6. Скороход М.А. Состояние и повышение конкурентоспособности цементного рынка Евразийского экономического союза (ЕАЭС) // Cemros.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://cemros.ru/engine/documents/document12920> (27.10.2022).
7. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Битуев А.В., Урханова Л.А. Эффективность применения золы-уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 76–78.
8. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. No. 1. P. 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>.
9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. No. 7. P. 920–929.
- <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.008>.
10. Юдович Б.Э., Дмитриев А.М., Зубехин С.А. Цементы низкой водопотребности – вяжущие нового поколения // Цемент и его применение. 1997. № 1. С. 15–18.
11. Крикунов О.К., Башлыков Н.Ф. Эффективность вяжущих низкой водопотребности и бетонов на их основе // Бетон и железобетон. 1998. № 6. С. 3–6.
12. Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Трошкина Е.А. Цементы низкой водопотребности центробежно-ударного помола и бетоны на их основе // Технологии бетонов. 2014. № 10 (99). С. 25–27.
13. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76–82.
14. Хаматова А.Р., Хохряков О.В. Электросталеплавильный шлак ОАО «Ижсталь» для цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 221–227.
15. Липилин А.Б., Коренюгина Н.В., Векселер М.В. Портландцемент. Ударная активация // Популярное бетоноведение. 2007. № 5. С. 75–81.
16. Бикбау М.Я. Наноцементы – будущее мировой цементной промышленности и технологии бетонов. Часть 2 // Технологии бетонов. 2016. № 1-2 (114–115). С. 37–41.
17. Батраков В.Г., Каприелов С.С., Иванов Ф.М., Шейнфельд А.В. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон // Бетон и железобетон. 1990. Вып. 12. С. 15–17.

## REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Demyanov V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2006. 368 p.
2. Kunn K. CEMBUREAU – cement and energy market in Europe and the world. *Tsement i ego primenenie* = *Journal cement and its applications*. 2013;3:22-33. (In Russ.).
3. Rickert J., Müller Ch. Efficient composite cements - a contribution for the reduction of CO<sub>2</sub> emissions. *Alitinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi* = *Alitinform: Cement. Concrete. Dry mixtures*. 2011;2:28-49. (In Russ.).
4. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. The main directions of resource saving in the construction and operation of buildings. Part 1. *Stroitel'nyi materialy = Construction materials*. 1997;7:12-21. (In Russ.).
5. Chomaeva M.N. Ecological problems of chemical industry on the environment (for example, cement production). *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2016;2-1:141-143. (In Russ.).
6. Skorokhod M.A. The state and increasing the competitiveness of the cement market of the Eurasian Economic Union (EAEU). *Cemros.ru*. Available from: <https://cemros.ru/engine/documents/document12920> [27<sup>th</sup> October 2022].
7. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Bituev A.V., Urkhanova L.A. Efficiency of application of fly ash of Gusinoozerskaya GRES as a part of cements

of low water demand. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2011;7:76-78. (In Russ.).

8. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003;1(1):5-15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>.

9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material. *Cement and Concrete Research*. 2008;38(7):920-929. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.008>.

10. Yudovich B.E., Dmitriev A.M., Zubekhin S.A. Cements of low water demand – binders of a new generation. *Tsement i ego primeneniye*. 1997;1:15-18. (In Russ.).

11. Krikunov O.K., Bashlykov N.F. Efficiency of binders of low water demand and concretes based on them. *Beton i zhelezobeton*. 1998;6:3-6. (In Russ.).

12. Garkavi M.S., Artamonov A.V., Kolodyazhnaya E.V., Troshkina E.A. Cements of low water demand of centrifugal impact grinding and concretes based on them. *Tekhnologii betonov*. 2014;10:25-27. (In Russ.).

13. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water-need is a green alternative for cement industry of Russia. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2014;5:76-82. (In Russ.).

14. Khamatova A.R., Khokhryakov O.V. The electro-steel-smelting slag JSC "Izhstal" for cements of low water demand and concrete on their basis. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2016;2:221-227. (In Russ.).

15. Lipilin A.B., Korenyugina N.V., Veksler M.V. Portland cement. Shock activation. *Populyarnoe betonovedenie*. 2007;5:75-81. (In Russ.).

16. Bikbau M.Ya. Nanocements are the global cement industry and concrete technology future. Part 2. *Tekhnologii betonov*. 2016;1-2:37-41. (In Russ.).

17. Batrakov V.G., Kaprielov S.S., Ivanov F.M., Sheinfeld A.V. Evaluation of ultrafine waste of metallurgical industries as additives in concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1990;12:15-17. (In Russ.).

#### Информация об авторе

##### Макаренко Сергей Викторович,

к.т.н., доцент,  
доцент кафедры строительного производства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: makarenko\_83\_07@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>

#### Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

#### Информация о статье

Статья поступила в редакцию 29.12.2022.  
Одобрена после рецензирования 16.01.2023.  
Принята к публикации 17.01.2023.

#### Information about the author

##### Sergey V. Makarenko,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Construction Production,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: makarenko\_83\_07@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>

#### Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The author declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

#### Information about the article

The article was submitted 29.12.2022.  
Approved after reviewing 16.01.2023.  
Accepted for publication 17.01.2023.