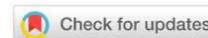


СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 69.003.13

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Технико-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве



Л.И. Касторных¹  , М.А. Гикало¹ , А.В. Каклюгин¹ , А.П. Коробкин¹ ,
В.С. Бадеев² 

¹ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² ООО НИПП «ИНТРОФЭК», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ likas9@mail.ru

EDN: EKCBGB

Аннотация

Введение. Технический эффект при возведении монолитных железобетонных конструкций из самоуплотняющихся бетонных смесей, приводящий к повышению фактической прочности бетона, можно использовать для уменьшения поперечного сечения конструкций и снижения расхода арматуры. Целью настоящей работы явилась оценка технической и экономической эффективности монолитных железобетонных конструкций повышенной прочности, изготавливаемых из самоуплотняющегося бетона с использованием строительных отходов, для решения задач в области экологического строительства.

Материалы и методы. Для оценки эффективности вариантов бетонирования монолитных конструкций готовили виброуплотняемую смесь БСТ В25 П4 и самоуплотняющуюся смесь БСТ В40 РК1 на портландцементе ЦЕМ0 42,5Н. В качестве крупного заполнителя применяли щебень фракции 5–10 мм, а в составе мелкого заполнителя использовали песок природный и песок дроблёный из строительных отходов (бетонного лома). Для обеспечения высокой текучести смесей применяли добавку Полипласт ПК — универсальный суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов. Расчет параметров железобетонных конструкций в зависимости от прочности бетона при сжатии выполняли в программном комплексе «ЛИРА». Сметную стоимость строительных работ по устройству железобетонных конструкций определяли для двух альтернативных вариантов, различающихся видом используемой бетонной смеси и способом её подачи к месту укладки и уплотнения.

Результаты исследования. Выполнен расчет параметров железобетонных конструкций, который показал, что для конструкций из бетона повышенной прочности класса В40 толщина сечения по всей высоте может быть одинаковой — 200 мм, а объём бетона на 20 % меньше, чем из бетона класса В25. Расчет параметров армирования по высоте конструкций в зависимости от прочности бетона показал, что при использовании самоуплотняющегося бетона класса В40 возможно уменьшение расчетного диаметра и сокращение расхода арматуры. Ожидаемый экономический эффект при использовании самоуплотняющегося бетона повышенной прочности, рассчитанный для бетонирования конструкций объемом 433 м³, может составить 1 639,5 тыс. руб.

Обсуждение и заключение. Обоснована техническая и экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонов повышенной прочности для бетонирования монолитных железобетонных конструкций. В результате использования самоуплотняющейся смеси и бетононасосной технологии снижается сметная стоимость возведения конструкций, сокращаются затраты труда рабочих, уменьшаются затраты на оплату труда, а также достигается экологический эффект за счет использования строительных отходов и отказа от электрического оборудования для виброуплотнения.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, бетононасосная технология, песок дроблёный из строительных отходов, расчет параметров железобетонных конструкций, сметная стоимость устройства монолитных конструкций, техническая и экономическая эффективность

Для цитирования. Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Коробкин А.П., Бадеев В.С. Технико-экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей в монолитном строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):22–32. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Original Empirical Research

Technical and Economic Efficiency of Using the Self-Compacting Concrete Mixtures in Monolithic Construction

Lyubov I. Kastornykh¹  , Maxim A. Gikalo¹ , Alexander V. Kaklyugin¹ , Alexander P. Korobkin¹ , Vladimir S. Badeev² 

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Scientific Production Enterprise “INTROFEK”, LLC, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ likas9@mail.ru

Abstract

Introduction. The technical effect attained during construction of the monolithic reinforced concrete structures made of self-compacting concrete mixtures, which results in the increase of the actual strength of concrete, can be put to use to reduce the cross section of the structures and to cut down the consumption of the reinforcement. The paper aims to assess the technical and economic efficiency of the monolithic reinforced concrete structures made of high-strength self-compacting concrete, with the use of the construction waste, in meeting the goals of green construction.

Materials and Methods. To assess the efficiency of the monolithic structure concreting options, the vibratory-compacting concrete mixture БСТ В25 П4 and the self-compacting mixture БСТ В40 ПК1 were prepared using the Portland cement CEM0 42.5N. The crushed stone of fraction 5–10 mm was used as a coarse aggregate and natural sand and crushed sand from construction waste (concrete scrap) were used as a fine aggregate. To ensure the high fluidity of the mixtures, the additive Polyplast ПК — a universal ester-based polycarboxylate superplasticizer was used. The calculation of the parameters of the reinforced concrete structures depending on the compressive strength of concrete was performed in the LIRA software package. The estimated cost of the works on construction of the reinforced concrete structures was determined for two alternative options that differed in the type of concrete mixture used, the method of its delivery to the place of concreting and in the method of compaction.

Results. The calculation of the parameters of the reinforced concrete structures has been carried out, which showed that for the structures made of high-strength B40 class concrete, the cross-section thickness can be uniform along the entire height — 200 mm, whereas the amount of concrete can be 20% less than for B25 class concrete. The calculation of reinforcing parameters along the structures' height in correlation to the strength of concrete showed that when using the self-compacting B40 class concrete, it is possible to reduce the design diameter and to cut down the consumption of the reinforcement. The expected economic effect of using the self-compacting high-strength concrete, calculated for concreting the structures of the volume of 433 m³, can be 1639.5 rubbles.

Discussion and Conclusion. The technical and economic efficiency of using the high-strength self-compacting concrete for concreting the monolithic reinforced concrete structures has been substantiated. As a result of using the self-compacting mixture and concrete pumping technology, the estimated cost of constructing the structures is reduced, the manpower inputs and labour costs are decreased, and, due to the use of the construction waste and refusal from utilising the electrical equipment for the vibratory compaction, the ecological effect is achieved.

Keywords: self-compacting concrete, concrete pumping technology, crushed sand from construction waste, calculation of the parameters of the reinforced concrete structures, estimated cost of the construction of the monolithic structures, technical and economic efficiency

For Citation. Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Korobkin AP, Badeev VS. Technical and Economic Efficiency of Using the Self-Compacting Concrete Mixtures in Monolithic Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):22–32. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-22-32>

Введение. При использовании самоуплотняющихся бетонных смесей (далее — СУБ) для бетонирования монолитных конструкций фактическая прочность бетона практически всегда превышает проектное значение. Например, вместо бетона расчетного класса В25 получается бетон класса В40 и выше. Это связано с тем, что в бетонной смеси для обеспечения связности и текучести должно быть высокое содержание цементного теста. Для придания свойств самоуплотняемости смеси минимальный расход цемента должен превышать 380–400 кг/м³, что гарантирует получение бетона прочностью более 50 МПа [1, 2]. Самоуплотняющиеся бетонные смеси, являясь

инновационным материалом, требуют использования нетрадиционных новаторских строительных технологий при возведении объектов [3–5]. Особенно актуально применение СУБ при строительстве уникальных сооружений и высотных зданий, для которых транспортирование и укладка смесей осуществляется по бетононасосной технологии. Преимущество повышения прочности бетона в случае бетонирования монолитных конструкций из СУБ можно использовать для уменьшения поперечного сечения вертикальных железобетонных конструкций и снижения удельного расхода арматуры.

На современном уровне развития строительного производства для создания безопасной и комфортной среды необходимо учитывать задачи зеленого (экологичного) строительства. Для решения этих задач в области строительного материаловедения разработаны способы использования строительных отходов в качестве минерального сырья для бетонных смесей. Установлено, что после дополнительной переработки и фракционирования бетонный лом может применяться в виде крупного, мелкого заполнителя и тонкодисперсного наполнителя как в традиционных бетонных смесях, так и в самоуплотняющихся [6–8]. Поэтому целью настоящей работы явилась оценка технической и экономической эффективности монолитных железобетонных конструкций повышенной прочности, изготавливаемых из СУБ с использованием строительных отходов.

Материалы и методы. В исследованиях для оценки вариантов бетонирования монолитных конструкций готовили виброуплотняемую смесь марки БСТ В25 П4 (осадка конуса (ОК) = 18 см) ГОСТ 7473 и самоуплотняющуюся смесь БСТ В40 РК1 ($D_p = 60$ см) ГОСТ Р 59714. Для приготовления бетонных смесей использовали бездобавочный портландцемент ЦЕМ0 42,5Н по ГОСТ 31108. В качестве заполнителей применяли материалы Донского региона: щебень из песчаника фракции 5–10 мм (марка по дробимости — 1000) по ГОСТ 8267 и песок природный по ГОСТ 8736. В составе мелкого заполнителя использовали песок из дроблёного бетона по ГОСТ 32495 в смеси трех фракций: 0,63–1,25 мм, 1,25–2,5 мм, 2,5–5,0 мм — в соотношении по массе 20:30:50 соответственно.

В качестве эффективного пластификатора применяли добавку Полипласт ПК — универсальный суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов для товарного бетона и сборных железобетонных конструкций.

Составы бетонных смесей для бетононасосной технологии проектировали с учетом требований перекачиваемости. Критерии перекачиваемости исследуемых бетонных смесей $X_{ц}$, $X_{п}$, $X_{щ}$, характеризующие на микро-, мезо- и макроуровне способность структурированной системы перемещаться под внешним воздействием без расслоения, удовлетворяли предъявляемым требованиям [2, 9, 10].

Технический эффект применения самоуплотняющихся смесей оценивали величиной повышения прочности. Рассмотрена целесообразность реализации достигнутого технического эффекта для уменьшения сечения железобетонных конструкций и снижения расхода арматуры. Расчет параметров железобетонных конструкций по сравнимым вариантам выполняли в программном комплексе «ЛИРА», который наиболее широко используется в строительной практике [11–13]. В качестве базовых железобетонных конструкций выбраны прямоугольные пилоны.

Оценка экономической эффективности использования СУБ выполнена на основе сравнения сметной стоимости строительных работ по устройству железобетонных пилонов (стен), рассчитанной для двух альтернативных вариантов, различающихся видом используемой бетонной смеси, способом её подачи к месту укладки и уплотнения. Первый способ — традиционный, предусматривающий подачу подвижной бетонной смеси к месту укладки в бадьях и ее последующее виброуплотнение. Второй способ — применение самоуплотняющейся бетонной смеси (с её подачей с помощью стационарного бетононасоса и укладкой в опалубку бетоно-распределительной стрелой).

Использована действующая федеральная сметно-нормативная база: ФЕР 81-02-06-2001 (Сборник 6. «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные»); ФССЦм 81-01-2001 (Сборник сметных цен на материалы: Книга 04. «Смеси бетонные, растворы, смеси строительные и асфальтобетонные»; Книга 08. «Изделия металлические, металлопрокат, канаты»); нормативы накладных расходов и сметной прибыли, утвержденные приказами Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 21.12.2020 № 812/пр. и от 11.12.2020 г. № 774/пр. соответственно; индексы изменения сметной стоимости по элементам прямых затрат по объектам строительства (многоквартирным монолитным домам) на I квартал 2024 г. (для Ростовской области), утвержденные Минстроем России 07.03.2024 г.

Использование единичных расценок, применяемых для определения сметной стоимости работ по устройству стен, при определении сметной стоимости работ по возведению пилонов обосновано тем, что согласно СП 52-103-2007 прямоугольные колонны (пилоны) с вытянутым поперечным сечением в плане (1200×400 мм) относятся к стенам.

Результаты исследования. Показатели конструктивности перекачиваемых смесей, а также прочность бетона для сравниваемых вариантов устройства железобетонных пилонов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели конструктивности перекачиваемых смесей и прочность бетонов

Вариант	Расход материалов на 1 м ³ , кг						ОК, см Др, см	Показатели перекачиваемости			Прочность при сжатии, МПа
	Цемент	Вода	Песок природный	Песок дробленый	Щебень фракц. 5–10 мм	Полипласт ПК		X _Ц	X _П	X _Щ	
1	342	183	810	–	977	3,4	$\frac{18,0}{-}$	2,0	1,2	1,3	38,8
2	410	210	632	160	922	4,1	$\frac{-}{60,0}$	2,2	1,2	1,3	59,2

По результатам испытания контрольных образцов бетона установлено, что бетон, приготовленный из самоуплотняющейся смеси, на 34 % превышает прочность бетона первого (базового) варианта.

В качестве объекта, используемого для сравнения проектных решений, приняли 25-этажную секцию жилого дома со встроенными помещениями на первом этаже прямоугольной формы в плане и максимальными размерами в строительных осях 31,3×14,0 м.

Конструктивная схема здания — каркасно-монолитная (рис. 1). План типового этажа представлен на рис. 2.

СВ

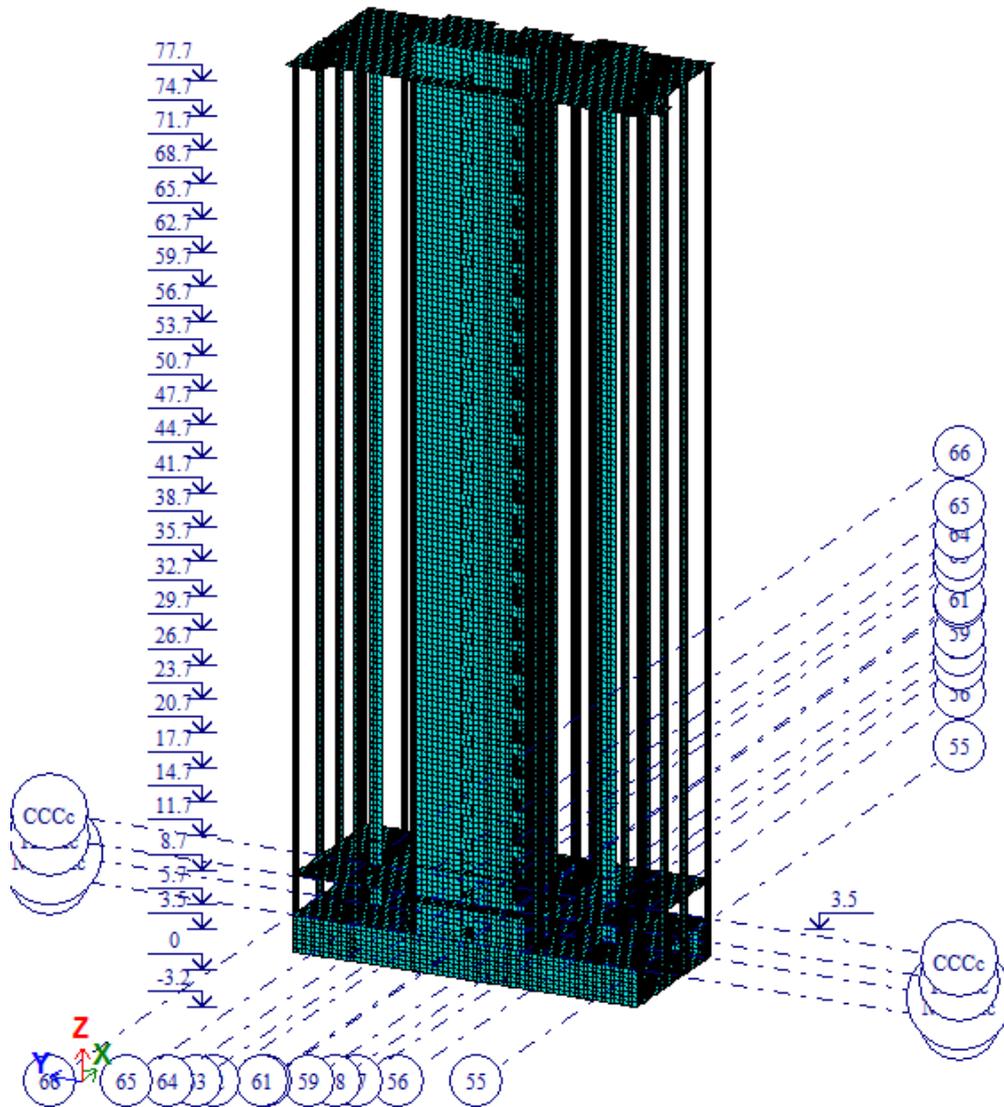


Рис. 1. Расчетная схема каркаса

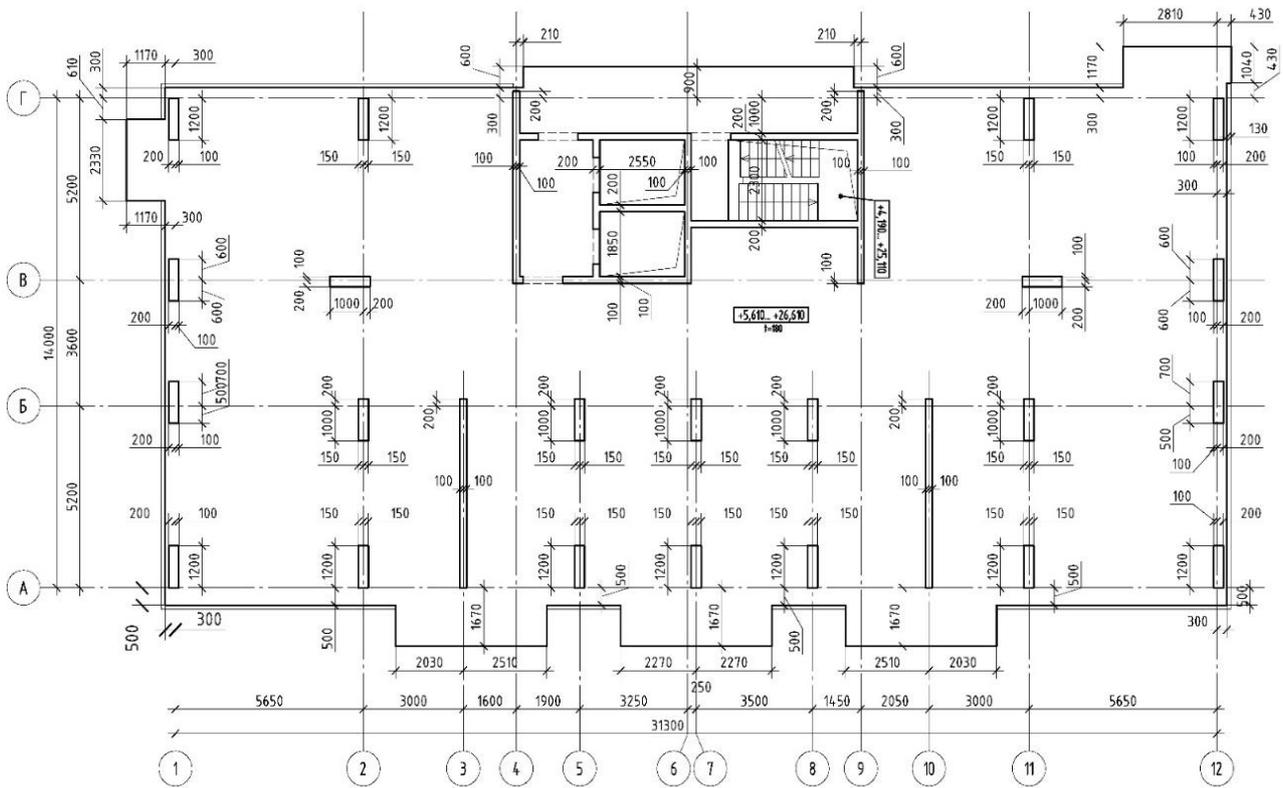


Рис. 2. План типового этажа жилого дома

Исходные данные для расчета толщины пилонов и параметров армирования в зависимости от прочности бетона представлены на рис. 3.

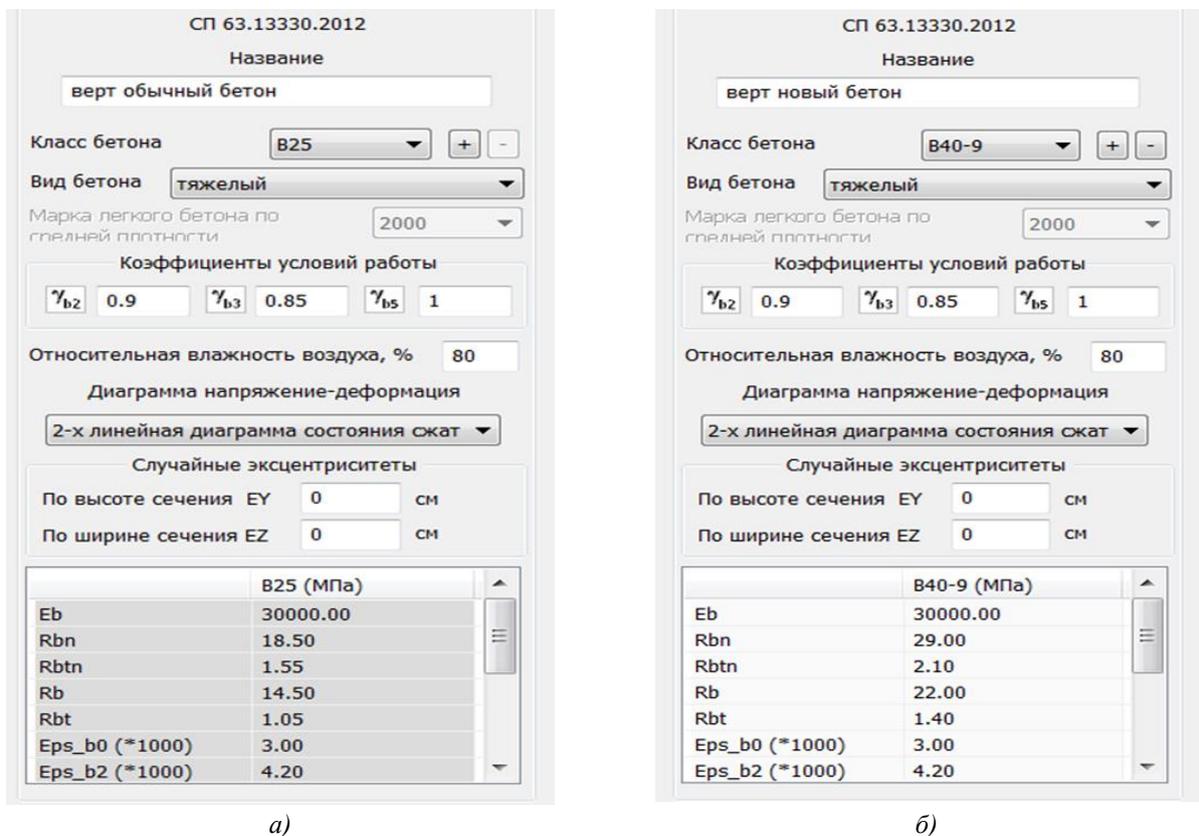


Рис. 3. Параметры для расчета железобетонных пилонов в зависимости от прочности бетона: а — класс бетона B25; б — класс бетона B40

Результаты расчета толщины пилонов по высоте в зависимости от прочности бетона в графической форме представлены на рис. 4, а в зависимости от параметров армирования — на рис. 5.

Выполненный расчет показал, что для пилонов из бетона класса В25 толщина сечения по высоте должна быть переменной от 400 до 200 мм. При этом объем бетона пилонов на секцию составит 532 м³. Для пилонов, изготавливаемых из СУБ класса В40, толщина сечения по всей высоте может быть одинаковой — 200 мм, а объем бетона на секцию — 427 м³.

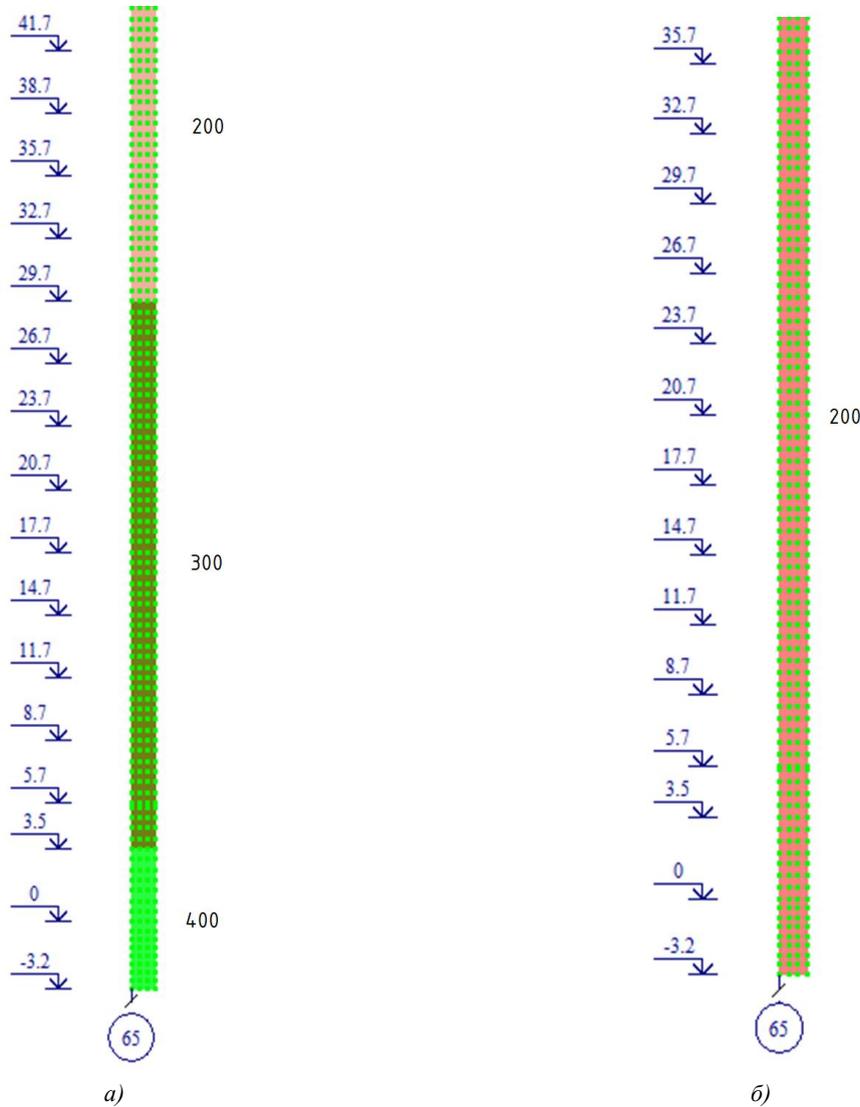


Рис. 4. Результаты расчета толщины пилонов по высоте в зависимости от прочности бетона:
 а — класс бетона В25; б — класс бетона В40

Расчет параметров армирования по высоте пилона в зависимости от прочности бетона показал, что для бетона класса В25 при шаге 200 мм максимальный расчетный диаметр арматуры должен быть 24 мм, а общий расход арматуры на секцию — 43,06 т. Для пилонов из бетона класса В40 максимальный расчетный диаметр арматуры уменьшается до 20 мм, а общий расход арматуры на секцию составит 20,75 т.

Настоящими исследованиями на примере устройства пилонов 184-квартирного дома общей площадью жилой части 10 419,15 м² установлено, что достигнутый технический эффект может обеспечить:

- сокращение объема бетона на 105 м³ (19,7 %);
- уменьшение расхода арматурной стали на 22,3 т (51,8 %);
- увеличение полезной площади на одной и той же площади застройки за счет уменьшения конструктивных размеров (вследствие повышения прочности бетона) на 34,32 м².

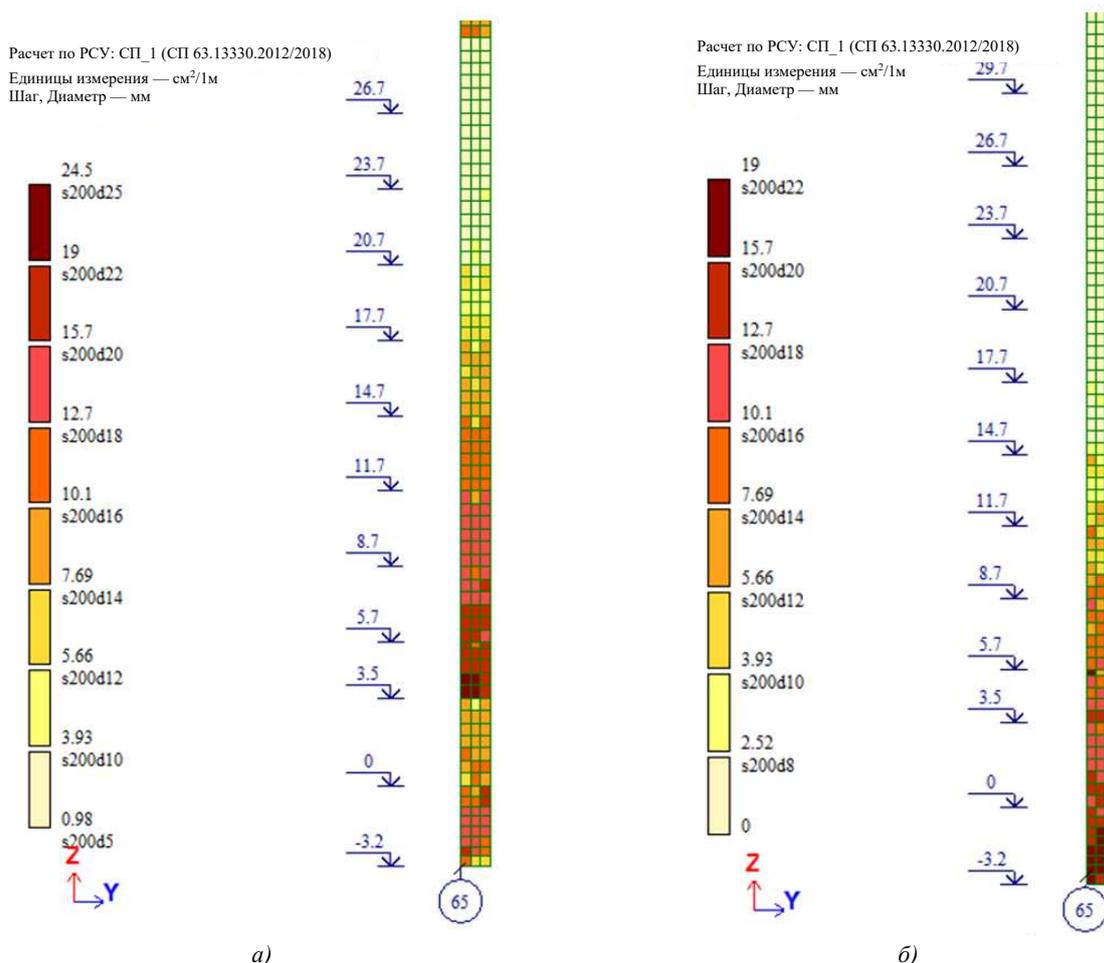


Рис. 5. Результаты расчета параметров армирования по высоте пилона в зависимости от прочности бетона:
 а — класс бетона В25; б — класс бетона В40

Эти данные заложены в основу расчета экономической эффективности использования самоуплотняющихся бетонных смесей. Результаты сметных расчетов по сравниваемым вариантам устройства железобетонных пилонов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сметных расчетов устройства пилонов

Показатели, единица измерения	Значения показателей по вариантам	
	базовый	предлагаемый
Расход бетона, м ³	540,0	433,0
Стоимость бетонной смеси в текущем уровне цен, руб/м ³ без НДС	5965,2	7973,4
Расход арматурной стали, т	43,08	20,78
Затраты труда рабочих, чел. ч	915,3	891,4
Затраты труда машинистов, чел. ч	75,94	132,13
Сметная стоимость, тыс. руб., в т. ч.:	9800,1	8433,9
– оплата труда рабочих;	1346,1	1105,2
– эксплуатация машин, в т. ч.:	420,8	434,4
– оплата труда машинистов;	170,4	208,3
– материалы	5390,7	4545,0
Накладные расходы, тыс. руб.	1637,9	1418,6
Сметная прибыль, тыс. руб.	834,1	722,4
Фонд оплаты труда, тыс. руб.	1516,5	1313,5
Всего сметная стоимость, тыс. руб. с НДС	11760,1	10120,6
Экономический эффект, тыс. руб.	–	1639,5

Анализ представленных данных (таблица 2) свидетельствует об уменьшении затрат на материалы на 845,7 тыс. руб., сокращении затрат труда рабочих на 23,9 чел. ч при увеличении затрат труда машинистов в 1,7 раза, а также снижении сметной стоимости устройства пилонов на 1 639,5 тыс. руб.

Из анализа литературных источников следует, что самоуплотняющиеся бетонные смеси дороже традиционных вследствие того, что используемые для их приготовления суперпластификаторы и наполнители имеют высокую стоимость [14, 15]. Кроме того, в разработанном составе самоуплотняющейся смеси предусмотрено использование дробленого песка, полученного из бетона, образовавшегося в ходе демонтажа строительных объектов. Его получение связано с несколькими этапами переработки, требующими затраты на приобретение дополнительного оборудования и его обслуживание [16]. Поэтому стоимость дробленого песка может быть достаточно высокой. Так как в федеральных сметных ценах на материалы нет данных о стоимости самоуплотняющихся смесей, а также смесей с использованием материалов из строительных отходов, нами учтена возможность их удорожания [17]. С этой целью выполнены дополнительные расчеты сметной стоимости работ по устройству железобетонных пилонов при стоимости смеси тяжелого бетона класса В40, увеличенной на 10, 15, 20 и 30 % (таблица 3).

Таблица 3

Влияние стоимости самоуплотняющихся бетонных смесей на технико-экономические показатели

Показатели, единица измерения	Значения показателей при удорожании самоуплотняющейся бетонной смеси				
	0 %	10 %	15 %	20 %	30 %
Стоимость 1 м ³ бетонной смеси (без НДС):					
– в базисном уровне цен, руб.	970,0	1067,0	1115,5	1164,0	1261,0
– в текущем уровне цен, руб.	7973,4	8770,7	9169,4	9568,1	10365,4
Сметная стоимость работ, тыс. руб., в т. ч.:	8433,9	8779,4	8952,2	9125,0	9470,6
– материалы, тыс. руб.	4545,0	4890,6	5063,4	5236,1	5581,7
Всего сметная стоимость работ, тыс. руб. с НДС	10120,6	10535,3	10742,7	10950,0	11364,7
Снижение сметной стоимости работ в сравнении с базовым вариантом, тыс. руб.	–	1224,8	1017,4	810,1	395,4

Примечание: приведены результаты расчета только по изменяемым статьям затрат.

Анализ приведенных данных позволяет заключить, что использование самоуплотняющихся бетонных смесей эффективно даже при их удорожании в рассмотренном диапазоне значений (до 30 %).

Достигнутый экономический эффект в зависимости от стоимости бетонной смеси составляет от 395,4 до 1 639,5 тыс. руб. Его не очень высокую величину можно считать следствием того, что рассмотрено использование самоуплотняющейся бетонной смеси при возведении только одного вида железобетонных конструкций — пилонов (стен).

Сумма всех затрат в сметной стоимости работ по устройству железобетонных конструкций напрямую зависит от их объема. Вследствие этого с увеличением объема конструкций, возведенных из самоуплотняющихся бетонных смесей, пропорционально возрастет и величина экономического эффекта. Возможность использования самоуплотняющихся бетонных смесей при устройстве других конструкций должна быть установлена в результате дополнительных исследований. Для строительных организаций проведение таких исследований и практическое использование их результатов целесообразно, т. к. они ведут строительство большого числа объектов различного назначения.

Дополнительный эффект может быть достигнут за счет увеличения жилой площади здания, возможного вследствие уменьшения геометрических размеров конструкций. Так, при общей площади жилой части дома 10 419,15 м² и утвержденном нормативе стоимости 1 м² общей площади жилого помещения по РФ на I полугодие 2024 г., равном 97 802 руб. (Приказ Минстроя РФ от 11.12.2023 г. № 888/пр), прирост жилой площади на 1 % позволит получить эффект в сумме 10 190,1 тыс. руб.

Обсуждение и заключение. Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы об эффективности использования самоуплотняющихся бетонов повышенной прочности, которые согласуются с выводами авторов ряда публикаций [1, 2, 5]. В их числе:

- снижение сметной стоимости возведения монолитных железобетонных конструкций;
- сокращение затрат труда рабочих при одновременном возрастании затрат труда машинистов;
- уменьшение затрат на оплату труда и др.

Такие эффекты, как сокращение продолжительности бетонирования, сокращение сроков строительства, возможность использования простой, менее массивной конструкции опалубки (из-за отсутствия воздействия на нее вибрации), снижение массы зданий и сооружений вследствие уменьшения конструктивных размеров и т. д., в данной работе не оценивались.

Исключение из производственного процесса виброуплотнения бетонной смеси при возведении монолитных железобетонных конструкций обеспечивает получение социального эффекта. Он выражается в улучшении условий труда рабочих, а также в исключении негативного воздействия шума и вибрации на население, проживающее рядом со строительной площадкой, и на объекты, расположенные в непосредственной близости к ней.

Предложенная безвибрационная технология укладки бетонной смеси относится к энергосберегающим. Эффект за счет её использования выражается в уменьшении потребления электроэнергии вследствие отказа от электрического оборудования для виброуплотнения.

Для реализации отмеченных преимуществ самоуплотняющихся бетонных смесей их использование в сочетании с бетононасосной технологией необходимо предусматривать при разработке проектной документации на строительство высотных объектов.

Список литературы / References

1. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые вопросы технологии бетонирования массивных фундаментных плит с применением самоуплотняющихся бетонных смесей. *Инженерный вестник Дона*. 2022; (8(92)):327–345. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (дата обращения 28.05.2024).

Nesvetaev GV, Koryanova YuI, Sukhin DP. Some Questions of the Technology of Concreting Massive Foundation Slabs Using Self-Compacting Concrete Mixtures. *Engineering Journal of Don*. 2022;(8(92)):327–345. (In Russ.) URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (accessed: 28.05.2024).

2. Kastornykh L, Kaklyugin A, Kholodnyak M, Osipchuk I. Modified Concrete Mixes for Monolithic Construction. *Materials Science Forum*. 2021;1043:81–91. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.81>

3. Васильева Е.Ю. Значение и перспективы применения инновационных материалов и технологий в жилищном строительстве. *Вестник МГСУ*. 2022;17(11):1586–1593. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1586-1593>

Vasilyeva EYu. Innovative Materials and Technologies in Housing Construction: Importance and Prospects. *Vestnik MGSU*. 2022;17(11):1586–1593. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.11.1586-1593>

4. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые технологические параметры перекрытия слоев при применении самоуплотняющихся бетонных смесей. *Инженерный вестник Дона*. 2023; 1(97):438–454. <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (дата обращения 28.05.2024).

Nesvetaev GV, Koryanova YuI, Sukhin DP. Some Technological Parameters of Overlapping Layers when Using Self-Compacting Concrete Mixtures. *Engineering Journal of Don*. 2023;1(97):438–454. (In Russ.) <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870> (accessed: 28.05.2024).

5. Мозгалев К.М., Головнев С.Г., Мозгалева Д.А. Эффективность применения самоуплотняющихся бетонов при возведении монолитных зданий в зимних условиях. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Архитектура и строительство»*. 2014;14(1):33–36. URL: http://www.zimbeton.ru/article/2014_05_1.pdf (дата обращения 28.08.2024).

Mozgalev KM, Golovnev SG., Mozgaleva DA. Efficiency of Self-Compacting Concrete Use during the Construction of Monolithic Buildings in Winter Conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2014;14(1):33–36. (In Russ.) URL: http://www.zimbeton.ru/article/2014_05_1.pdf (accessed: 28.05.2024).

6. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона. *Строительство и реконструкция*. 2020;2(88):61–66. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66>

Larsen OA, Naruts VV, Voronin VV. Concrete Recycling Technology for Self-Compacting Concrete. *Building and Reconstruction*. 2020;2(88):61–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-61-66>

7. Lopatin NA, Motornaja AI, Neguliaeva EYu. The Most Effective Crushing Equipment and Testing of Recycled Concrete Aggregates. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015;10(37):34–45. URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/10\(37\)/3_lopatin_37.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/10(37)/3_lopatin_37.pdf) (accessed: 28.05.2024).

8. Булдыжов А.А., Алимов Л.А. Самоуплотняющиеся бетоны с наномодификаторами на основе техногенных отходов. *Промышленное и гражданское строительство*. 2014;8:86–88. URL: <https://vufind.lib.tsu.ru/Record/tsuab.20821> (дата обращения 28.05.2024).

Buldyzhov AA, Alimov LA. Self-Compacting Concretes With Nanomodifiers on the Basis of Industrial Waste. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo (Industrial and Civil Engineering)*. 2014;8:86–88. (In Russ.) URL: <https://vufind.lib.tsu.ru/Record/tsuab.20821> (accessed: 28.05.2024).

9. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии. *Строительные материалы*. 2020;3:4–11. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

Kastornykh LI, Kaklyugin AV, Gikalo MA, Trishchenko IV. Features of the Composition of Concrete Mixes for Concrete Pumping Technology. *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials)*. 2020;3:4–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

10. Kastornykh L, Kaklyugin A, Kosenko V, Kholodnyak M, Gikalo M, Dergousov P. Specifics of Monolithic Concrete Technology for the Construction of Agrocomplex Facilities. In: Zokirjon ugli KS, Muratov A, Ignateva S. (eds). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022)*. AFE 2023. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 733. Springer, Cham; 2024. P. 1263–1273. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_123

11. Котенко М.П., Развеева И.Ф., Иванченко С.А., Федчишена А.А. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(2):33–39. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39>

Kotenko MP, Razveeva IF, Ivanchenko SA, Fedchishena AA. Regulation of the Natural Oscillations Parameters of a Building Spatial Frame in the LIRA Software. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(2):33–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39>

12. Резяпкина К.В., Мордовский С.С. BIM-моделирование зданий с применением программных комплексов САПФИР и ЛИРА-САПР в учебном процессе. *Строительство и недвижимость*. 2021;2(9):148–157. URL: <https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/stroitelstvo-i-nedvizhimost/arkhiv-vypuskov/> (дата обращения 28.05.2024).

Rezyapkina KV, Mordovsky SS. BIM by Using Software Systems SAPHIRE and LIRA-CAD in the Educational Process. *Stroitel'stvo i nedvizhimost' (Construction And Real Estate)*. 2021;2(9):148–157. (In Russ.) URL: <https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/stroitelstvo-i-nedvizhimost/arkhiv-vypuskov/> (accessed: 28.05.2024).

13. Geraymovich YuD, Yevzerov ID, Marchenko DV. The New Physically Nonlinear Finite Elements in Software Package LIRA 10.8. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2019;15(1):61–66. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-15-1-61-66>

14. Быков Д.Н., Хомкалов Г.В. Рынок строительных материалов в условиях конкуренции. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2018;8(3):26–31. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-26-31>

Bykov DN, Khomkalov GV. Building Materials Market under Competitive Conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' (Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate)*. 2018;8(3):26–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-26-31>

15. Кудряков В.А., Минаев Н.Н., Копаница Н.О., Жарова Е.А. Технико-экономическое обоснование инфраструктурных проектов в производстве строительных материалов. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015;1:202–209. URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/18?locale=ru_RU (дата обращения 28.05.2024).

Kudyakov VA, Minaev NN, Kopanitsa NO, Zharova EA. Feasibility Study of Infrastructure Projects on Construction Material Production. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta (Journal of Construction and Architecture)*. 2015;1:202–209. (In Russ.) URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/18?locale=ru_RU (accessed: 28.05.2024).

16. Касторных Л.И., Гикало М.А., Каклюгин А.В., Серебряная И.А. Математическое моделирование технологических процессов бетонирования монолитных конструкций из мелкозернистых смесей. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(4):84–93. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

Kastornykh LI, Gikalo MA, Kaklyugin AV, Serebryanaya IA. Mathematical Modeling the Process of Concreting the Monolithic Structures Made of the Fine-Grained Mixes. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(4):84–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-84-93>

17. Макарецова Т.Н., Кравченко А.И., Шипилова М.А. Формирование достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадии разработки проектной документации. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022;1(1):34–44. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44>

Makartsova TN, Kravchenko AI, Shipilova MA. Credible Cost Formation of a Construction Investment Project at the Stage of Design Documentation Development. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(1):34–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44>

Об авторах:

Любовь Ивановна Касторных, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), likas9@mail.ru

Максим Алексеевич Гикало, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), gikalo_max@mail.ru

Александр Викторович Каклюгин, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), kaklugin@gmail.com

Александр Петрович Коробкин, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](#), nikborock@yandex.ru

Владимир Сергеевич Бадеев, кандидат технических наук, директор ООО НИПП «ИНТРОФЭК» (344002, РФ, Ростов-на-Дону, ул. Шаумяна, 102), [ORCID](#), valdemarb@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Л.И. Касторных: разработка плана и проведение исследовательских работ.

М.А. Гикало: проведение экспериментов, подготовка иллюстраций.

А.В. Каклюгин: обработка экспериментальных данных.

А.П. Коробкин: обработка экспериментальных данных.

В.С. Бадеев: выполнение расчетов в программном комплексе, интерпретация расчетных данных.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Lyubov I. Kastornykh, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), likas9@mail.ru

Maxim A. Gikalo, Master's Student of the Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), gikalo_max@mail.ru

Alexander V. Kaklyugin, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Construction Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), kaklugin@gmail.com

Alexander P. Korobkin, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), nikborock@yandex.ru

Vladimir S. Badeev, Cand.Sci. (Engineering), Director of Scientific Production Enterprise “INTROFEK” LLC (102, Shaumyan Str., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation), [ORCID](#), valdemarb@mail.ru

Claimed Contributorship:

LI Kastornykh: developing the plan of research and conducting the research.

MA Gikalo: conducting the experiments, preparing the illustrations.

AV Kaklyugin: processing the experimental data.

AP Korobkin: processing the experimental data.

VS Badeev: performing the calculations in a software package, interpreting the calculated data.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 05.06.2024

Поступила после рецензирования / Reviewed 01.07.2024

Принята к публикации / Accepted 22.07.2024