

DOI: 10.52409/20731523_2022_1_41

УДК 69.07

Экономическая эффективность применения колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами из высокопрочного песчаного бетона

Н.Г.Палагин¹, Г.П. Никитин², А.Н.Трунов³

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет

²АО «Казанский Гипрониавиапром им. Б.И. Тихомирова»

³ООО «Химпромпроект»

Аннотация: проведение исследований вызвано тем, что на Европейской части Российской Федерации в основном присутствуют месторождения осадочных карбонатных пород, мало пригодных для использования в железобетонных конструкциях. В то же время повсеместно имеются залежи песка, использование которого в качестве заполнителя для получения бетона вместо щебня является более экологичным. Также известно об экономической эффективности проектирования несущих конструкций из высокопрочных тяжелых бетонов.

Выполнены исследования по определению экономической эффективности применения колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами (серия 1.424.1–5) из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сравнении с колоннами из тяжелого бетона классов В20...В80 по отношению к городу Казань.

Задачами, поставленными в исследованиях было сравнение общего расхода стали и общей стоимости материалов колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сопоставлении с колоннами из тяжелого бетона классов В20...В80.

Исследования выполнены по инженерной методике на основе действующих норм с применением ПК MS Excel. Механические характеристики песчаного бетона приняты на основе результатов исследований кафедры ТСМиК КГАСУ на песках местных месторождений.

При увеличении класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетонов снижается общий расход стали и, как правило, уменьшается общая стоимость материалов. При проектировании колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 и высокопрочного тяжелого бетона классов В60 и В80 эти показатели отличаются в пределах от – 1,8 до + 1,4 %.

Важное значение полученных результатов для строительной отрасли Российской Федерации состоит в выявлении экономичных решений колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами по общей стоимости материалов и расходу стали в зависимости от класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона.

Ключевые слова: высокопрочный песчаный бетон, тяжелый бетон, экономическая эффективность, ресурсосбережение, колонны прямоугольного сечения, одноэтажные промышленные здания, мостовые краны.

Для цитирования: Н.Г. Палагин, Г.П. Никитин, А.Н. Трунов. Экономическая эффективность применения колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами из высокопрочного песчаного бетона//Известия КГАСУ 2022 № 1(59). С 41-53. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_41

Economic efficiency of manufacturing rectangular columns of one-story industrial buildings with overhead cranes from high-strength sand concrete

Abstract

N.G.Palagin¹, G.P.Nikitin², A.N.Trunov³

¹Kazan State University of Architecture and Engineering

²JSC «Kazan Giproniaviaprom them. B.I. Tikhomirov»

³LLC «Khimpromproekt»

Abstract: the research is due to the fact that in the European part of the Russian Federation there are mainly deposits of sedimentary carbonate rocks, which are not very suitable for use in reinforced concrete structures. At the same time, there are deposits of sand everywhere, the use of which as an aggregate for concrete instead of crushed stone is more environmentally friendly. It is also known about the economic efficiency of designing load-bearing structures made of high-strength heavy concrete.

Studies have been carried out to determine the economic efficiency of manufacturing rectangular columns of one-story industrial buildings with overhead cranes (series 1.424.1–5) from high-strength sand concrete of classes VPB60 and VPB80 in comparison with columns made of heavy concrete of classes B20 ... B80 in relation to the city of Kazan.

The objectives of the research were to compare the total consumption of steel and the total cost of materials for columns made of high-strength sand concrete of classes VPB60 and VPB80 in comparison with columns made of heavy concrete of classes B20...B80.

The studies were carried out according to the engineering methodology based on current standards using MS Excel. The mechanical characteristics of sand concrete are taken on the basis of the results of research by the department of TSMiK KSUAU on the sands of local deposits.

With an increase in the class of heavy and high-strength sand concrete, the total consumption of steel decreases and, as a rule, the total cost of materials decreases. When designing columns made of high-strength sand concrete of classes VPB60 and VPB80 and high-strength heavy concrete of classes B60 and B80, these indicators differ from - 1.8 to + 1.4%.

The importance of the obtained results for the construction industry of the Russian Federation is to identify cost-effective solutions for rectangular columns of one-story industrial buildings with overhead cranes in terms of the total cost of materials and steel consumption, depending on the class of heavy and high-strength sand concrete.

Key words: high-strength sand concrete, heavy concrete, economic efficiency, resource saving, rectangular columns, one-story industrial buildings, overhead cranes.

For citation: N.G. Palagin, G.P. Nikitin, A.N. Trunov. Economic efficiency of manufacturing rectangular columns of one-story industrial buildings with overhead cranes from high-strength sand concrete Abstract//News KSUAЕ 2022 № 1(59). С 41-53.

DOI: 10.52409/20731523_2022_1_41

1. Введение

Объектом исследований являются железобетонные колонны прямоугольного сечения одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами (серия 1.424.1–5).

В зарубежном строительстве все больше находят применение высокопрочные тяжелые бетоны, позволяющие снижать размеры сечений элементов и экономить бетон и арматуру [1]. В Российской Федерации использование таких бетонов началось значительно позднее, чем за рубежом. Наиболее известными объектами в нашей стране из тяжелого бетона классов В80...В90 являются комплексы «Федерация» ММДЦ «Москва Сити» в г. Москва [2] и «Лахта-Центр» в г. Санкт-Петербург [3].

Альтернативным решением относительно высокопрочного тяжелого бетона является применение высокопрочного песчаного бетона (ВПБ) [4]. В его состав входит кварцевый песок, разделенный на фракции, высокоактивный вяжущий материал,

минеральные и химические добавки, органо-минеральные модификаторы. В качестве химических добавок применяются, как правило, пластификаторы, позволяющие заметно снизить расход цемента и водоцементное отношение бетонной смеси: Sika VC5–800, Melflux 2651, С–3 [5] и другие (СП–1, Sika 5NEW, Reotech DR8500, Melflux 2641).

Использование песчаного бетона имеет следующие важные преимущества относительно тяжелого бетона: однородную структуру высокого качества и повышенную технологичность, отсутствие необходимости в наличии складского и сортировочного помещений для приемки, переработки и складирования крупного заполнителя, более низкий расход энергии и меньшую трудоемкость, возможность возведения тонкостенных конструкций и получения декоративных бетонов.

Кроме того, высокопрочный песчаный бетон сравнительно с равнопрочным тяжелым бетоном имеет повышенную прочность на сжатие и растяжение, водо- и газонепроницаемость, износостойкость и морозостойкость, более высокую стойкость против коррозии. Это обусловлено повышением количества контактов цементного камня с мелким заполнителем, а также, вследствие использования суперпластификаторов и минеральных добавок, снижением пористости в зоне их контакта.

Следует отметить, что из-за большой поверхности заполнителей песчаные бетоны относительно тяжелого бетона того же класса имеют увеличенный на 15–20 % расход цемента. По этой причине в их состав совместно с пластифицирующими вводят также минеральные добавки или при их производстве применяют цементы низкой водопотребности, или композиционные цементы. Также песчаные бетоны имеют увеличенное воздухововлечение, для уменьшения которого применяют высокоэффективные разжижители (напр., молотый кварцевый песок, микрокремнезем марки МК–85, суперпластификатор Melflux 2651 F) или пеногасители [5].

Применение песчаного бетона в строительной отрасли нашей страны обусловлено повсеместным наличием месторождений песка. Например, в Республике Татарстан их количество составляет более 50. Запасы строительных песков составляют около 1 млрд. м³, в том числе доступные для использования – почти 300 млн. м³. В соответствии с концепцией экологической безопасности республики и развития ее природно-ресурсного комплекса в период до 2030 года перед промышленностью по производству строительных материалов поставлена цель повышения состава продукции на основе местных природных запасов.

В связи с тем, что на Европейской части Российской Федерации в основном присутствуют месторождения осадочных карбонатных пород, которые мало пригодны для использования в железобетонных конструкциях, а запасы изверженных пород крупного заполнителя ограничены, применение песчаного бетона при их изготовлении является актуальным. Кроме того, на добычу камня и его дальнейшую переработку на щебень необходимо затратить значительное количество энергетических и трудовых ресурсов. Сопутствующим результатом при получении щебня фракции более 5 мм является образование значительного количества (до 20–30%) отсевов фракции менее 5 мм, которые занимают большие площади и тем самым нарушают экологическое равновесие природы. Лишь небольшое количество этих отходов применяется при получении известняковой муки и минерального порошка при производстве асфальтобетона. Разрушение гор при добыче щебня явилось причиной необратимых климатических последствий в Карелии, Поволжье и Северном Кавказе. Применение в качестве заполнителя для получения бетона песка вместо щебня является более экологичным.

Использование высокопрочных песчаных бетонов на основе фракционированных речных песков Республики Татарстан с применением химических и минеральных добавок является альтернативным решением в сравнении с традиционными тяжелыми бетонами, в состав которых входит высокопрочный щебень, поставляемый с Урала.

В КГАСУ на кафедре ТСМиК на базе песков местных месторождений рек Волги и Камы получены составы высокопрочных песчаных бетонов классов ВПБ60...ВПБ80, прочностные характеристики которых (R_b , R_{bt} , $R_{b,ser}$, $R_{bt,ser}$) больше значений для тяжелого бетона тех же классов в 1,05...2,05 раза, а модуль упругости E_b меньше в 1,02...1,04 раза [6].

Выполненный обзор показал, что в зарубежных и отечественных источниках практически отсутствуют результаты исследований по применению в несущих конструкциях песчаного бетона. Как правило, исследуются вопросы подбора их состава [7–11] и долговечности [12, 13]. Выполняются также работы по определению их различных механических характеристик [14–17].

В [18] и [19] приводятся сведения о большом потенциале использования песчаных бетонов в строительстве зданий и сооружений методом 3D-печати. Значительное количество исследований подтверждает эффективность их применения, обусловленную отсутствием в составе крупного заполнителя, присутствие которого приводит к дефектам структуры бетона и большим деформациям свеженапечатанных слоев.

Вопрос экономичности использования высокопрочных песчаных бетонов в несущих конструкциях исследуется в работах [20–21], а также в статье авторов из КГАСУ и БГТУ им. В.Г. Шухова Палагина Н.Г., Ахметова М.М., Гридчина А.М., Череватовой А.В. «Экономическая целесообразность изготовления многпустотных плит перекрытий из высокопрочного песчаного бетона // Известия КГАСУ. 2021. №4 (58). С. 26-38. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_26».

Результаты исследований по выявлению экономической целесообразности применения длинных цилиндрических оболочек из сборного и монолитного высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с использованием их из тяжелого бетона классов В20...В80 приведены в [20]. Установлено, что по отношению к городу Казань применение ВПБ по сравнению с тяжелым позволяет заметно снизить расход материалов (стали – до 30,6 %, бетона – до 15,9 %) и их общую стоимость (до 20,3 %). В работе [21] выявлено, что использование пологих оболочек положительной гауссовой кривизны из сборного и монолитного высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 сравнительно с применением их из тяжелых классов В25...В80 по отношению к городу Казань также в значительной степени снижает расход материалов (стали – до 43,0 %, бетона – до 12,9 %) и общую стоимость материалов – до 29,4 %. В статье Палагина Н.Г., Ахметова М.М., Гридчина А.М., Череватовой А.В. (см. выше) получено, что по отношению к городу Казань применение круглопустотных плит перекрытий высотой 220 мм с пустотами диаметром 159 мм, армированных ненапрягаемой арматурой класса А500С (серия 1.141–1, выпуск 60) и напрягаемой арматурой класса А800 (серия 1.141–1, выпуск 63) из ВПБ классов ВПБ60 и ВПБ80 оказалось самым дорогим по стоимости материалов в сравнении с плитами из тяжелого бетона классов В15...В80. Они получились дороже на 28,6 %...37,0 % относительно самых экономичных решений плит из тяжелого бетона класса В15 с ненапрягаемой арматурой, и на 15,8 %...28,7 % в сравнении с плитами из тяжелого бетона класса В20 с напрягаемой арматурой.

Несмотря на указанные выше преимущества, в настоящий момент в России и Республике Татарстан использование песчаного бетона ограничивается, в основном, покрытиями для полов промышленных зданий и изготовлением мелкоштучных и декоративных отделочных изделий.

Согласно вышесказанному, следует продолжать работу по применению ВПБ при изготовлении различных строительных конструкций, в т.ч. несущих. Одним из основных критериев целесообразности его использования может быть экономическая эффективность. В соответствии с этим тема, рассматриваемая в статье, является актуальной для развития строительной отрасли как Республики Татарстан, так и России в целом.

Цель исследований – определение экономической эффективности применения колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами (серия 1.424.1–5) из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сравнении с колоннами из тяжелого бетона классов В20...В80 по отношению к городу Казань.

Задачи исследований:

1. определить влияние увеличения класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона колонн на общий расход стали и общую стоимость материалов;

2. сравнить технико-экономические показатели колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 с показателями колонн из тяжелого бетона традиционных классов В20...В40.

2. Материалы и методы

В качестве примера были рассмотрены колонны одноэтажного производственного здания со следующим объемно-планировочным и конструктивным решением: длина здания – 72 м, число пролетов – 2, пролет $L=24$ м, шаг колонн $B=12$ м, ригель – железобетонная безраскосная стропильная ферма ФБ24Ш по серии 1.463.1–3/87, плиты покрытия – ребристые размером 12×3 м с приведенной толщиной $89,7$ мм по серии 1.465.1–15, стеновые панели – однослойные керамзитобетонные по серии 1.432–3, подкрановые балки – железобетонные по серии 1.426.1–4. В каждом пролете расположено по 2 мостовых крана с режимом работы А4 по ГОСТ 34017–2016. Привязка колонн крайних продольных рядов к координационным осям, в соответствии с СП 355.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения. Правила проектирования», принята равной 250 мм (рис. 1).

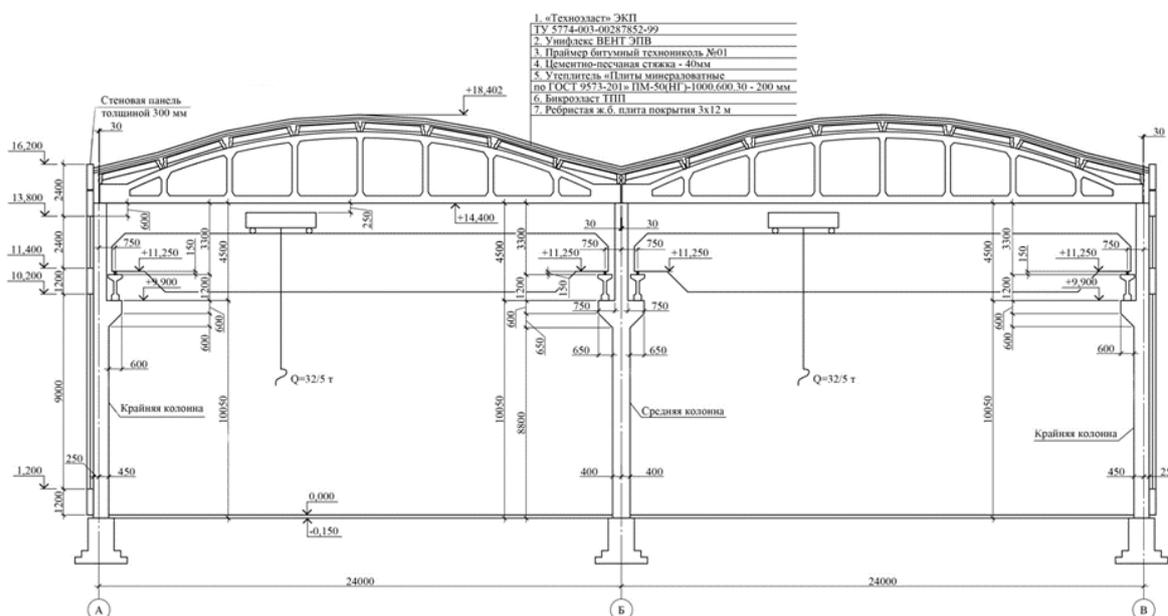


Рис. 1 Поперечный разрез одноэтажного производственного здания с мостовыми кранами (иллюстрация авторов)

Рассмотрено 2 крайних варианта высоты здания ($H_0=14,4$ м и $H_0=8,4$ м) и грузоподъемности кранов ($Q=32/5$ т и $Q=10$ т). Технические и геометрические характеристики кранов приняты по ГОСТ 25711-83. Для определения нагрузок от собственного веса кровли и стенового ограждения предварительно был выполнен их теплотехнический расчет. По результатам компоновки поперечной рамы здания приняты колонны со следующими сечениями (b –ширина) \times (h –высота): крайняя колонна – 400×600 мм (надкрановая часть), 400×700 мм (подкрановая часть), средняя колонна – 400×600 мм (надкрановая часть), 400×800 мм (подкрановая часть). Сбор нагрузок выполнен согласно СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» (с изменениями № 1, № 2, № 3). Тип местности – В. Класс сооружения – КС–2.

Определение изгибающих моментов M , продольных N и поперечных сил Q в 3 расчетных сечениях крайней и средней колонн (чуть выше и ниже верха подкрановой консоли и на уровне верхнего обреза фундамента) выполнялось по инженерной методике СП 355.1325800. Предварительно была составлена программа расчета в ПК MS Excel, тестирование которой показало полную сходимость с результатами ручного счета.

С помощью указанной программы были определены усилия от всех полных расчетных и нормативных нагрузок (постоянной, снеговой, крановой вертикальной и горизонтальной, ветровой) и от длительной части расчетной и нормативной снеговой

нагрузки. Всего вычисление усилий производилось от всех 17 возможных нагружений, что отсутствует в отечественной литературе.

В соответствии с СП 355.1325800, во всех расчетных сечениях колонн были составлены следующие расчетные сочетания усилий: 1) $M_{\max} N$; 2) $M_{\min} N$; 3) $N_{\max} M_{\max} (M_{\min})$; 4) $N_{\min} M_{\max} (M_{\min})$. Правила выбора загружений и коэффициенты сочетаний ψ_{li} , ψ_{ti} и $\psi_{кр}$ принимались по СП 20.13330.

На расчетные сочетания усилий выполнены расчеты по I и II группе предельных состояний. Расчет по I группе предельных состояний включал расчеты по прочности нормальных сечений ствола колонны в плоскости и из плоскости поперечной рамы и наклонных сечений ствола колонны в плоскости поперечной рамы, расчет прочности консоли по нормальным и наклонным сечениям. При этом определение площади продольной арматуры ствола колонны в плоскости поперечной рамы производилось по формулам симметричного и несимметричного армирования независимо от соотношения величин разнонаправленных изгибающих моментов. Расчет по II группе предельных состояний состоял из расчетов по образованию и раскрытию нормальных трещин. При расчетах использовались следующие нормативные документы: СП 63.13330.2018 «СНиП 52–01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с изменениями № 1, № 2), СП 311.1325800.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования», методическое пособие «Расчет железобетонных конструкций без предварительно напряженной арматуры (к СП 63.13330.2012)» – М., 2015.

Прочностные и деформативные характеристики тяжелого бетона и арматуры принимались в соответствии с вышеуказанными нормами, а высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 – согласно результатам исследований кафедры ТСМиК КГАСУ, полученных для бетонов на песках местных месторождений. Значения расчетного сопротивления бетона осевому сжатию (R_b) и растяжению (R_{bt}) для тяжелого бетона класса В80 и высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ80 приняты с учетом понижающего коэффициента, учитывающего увеличение хрупкости высокопрочных бетонов в связи с уменьшением деформаций ползучести ($\gamma_{b,br}$), равного

$$\gamma_{b,br}=(360-B)/300, \quad (1)$$

где В – класс бетона.

Класс продольной арматуры – А500С, поперечной и конструктивной – А240С и В500С, уголкового и листового проката – из стали С245. Сетки и каркасы изготавливались с выполнением условия свариваемости. Конструкция закладных изделий, сеток оголовка, монтажных петель и деталей принималась по типовой серии.

Коэффициент надежности по ответственности (γ_n) равен 1,0.

Для автоматизации расчетов было составлено 6 блок–схем и соответствующая им единая программа расчета в MS Excel, тестирование которой показало полную сходимость с результатами ручного счета. По данной программе были выполнены расчеты крайней и средней колонн при указанных выше вариантах высоты здания и грузоподъемности кранов при классах тяжелого бетона В20, В30, В40, В60 и В80 и высокопрочного песчаного бетона ВПБ60 и ВПБ80. С учетом различных вариантов типа колонн (крайняя и средняя), высоты здания ($H_0=14,4$ м и $H_0=8,4$ м), грузоподъемности мостовых кранов ($Q=32/5$ т и $Q=10$ т), видов и классов бетона общее число расчетных случаев составило 56.

Для всех рассмотренных случаев, с помощью, составленной в MS Excel программы, определялся расход материалов (бетона и арматуры), а также суммарная их стоимость. Стоимость обоих видов бетона и арматуры принята по ценам, актуальным для города Казани на февраль 2022 г.

3. Результаты

Результаты расчетов зависимости расхода стали и общей стоимости материалов (арматуры, стального проката и бетона) для 56 рассмотренных случаев, отличающихся типом колонны, высотой здания, грузоподъемностью мостовых кранов, видом и классом бетона, приведены на рис. 2...4 и таблице.

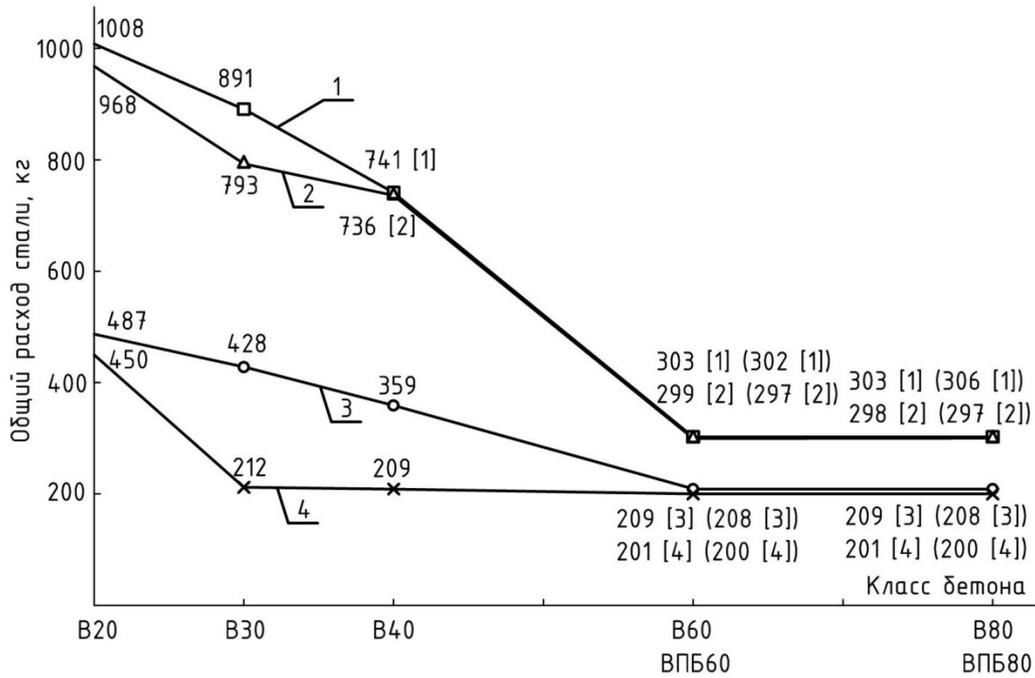


Рис.2. Графики зависимости общего расхода стали в крайней колонне от вида и класса бетона.

1 – H₀=14,4 м, Q=32/5 т; 2 – H₀=14,4 м, Q=10 т; 3 – H₀=8,4 м, Q=32/5 т; 4 – H₀=8,4 м, Q=10 т (иллюстрация авторов). В круглых скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

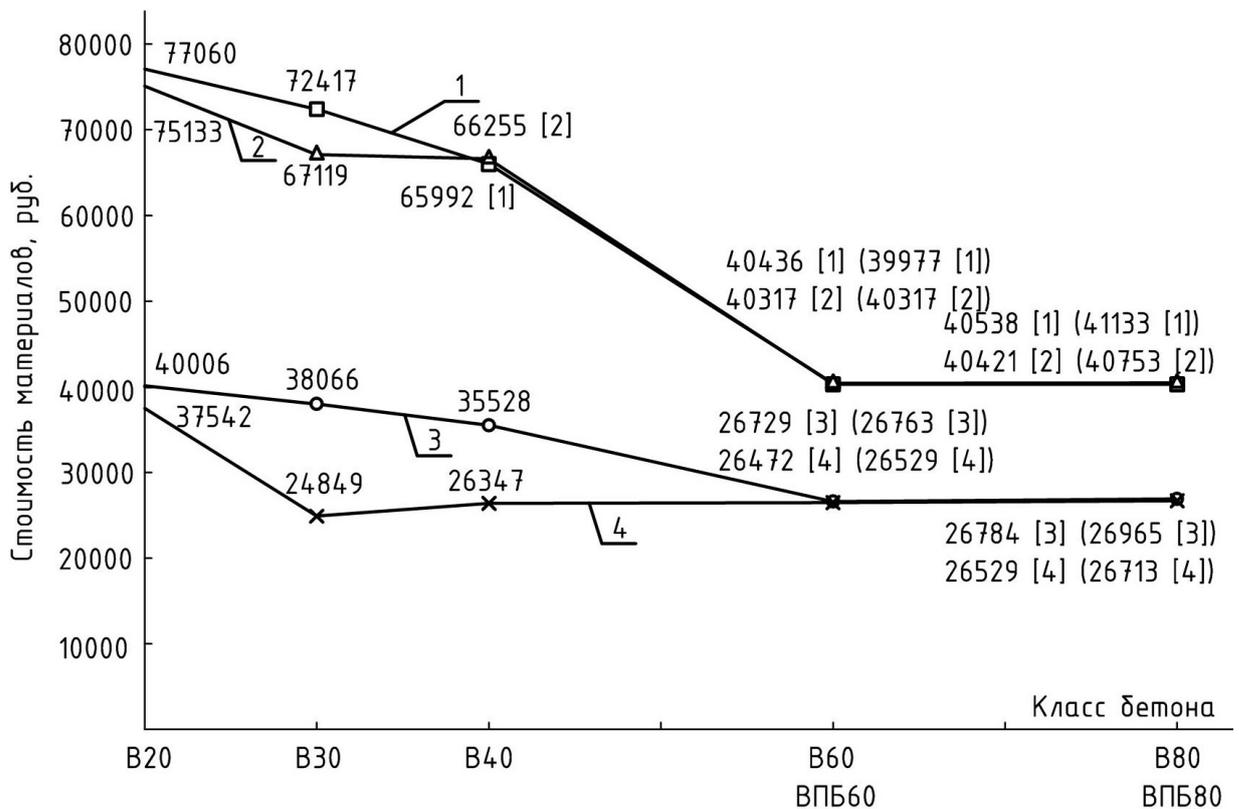


Рис. 3. Графики зависимости общей стоимости материалов крайней колонны от вида и класса бетона. 1 – H₀=14,4 м, Q=32/5 т; 2 – H₀=14,4 м, Q=10 т; 3 – H₀=8,4 м, Q=32/5 т; 4 – H₀=8,4 м, Q=10 т (иллюстрация авторов). В круглых скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

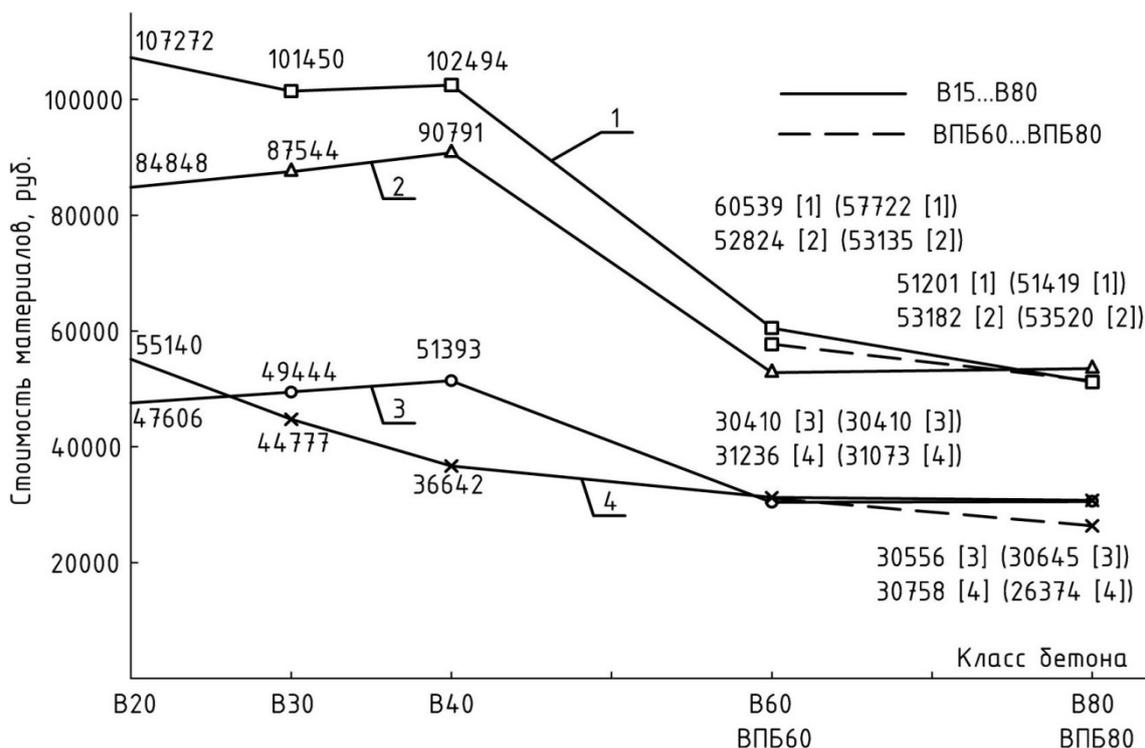


Рис. 4. Графики зависимости общей стоимости материалов средней колонны от вида и класса бетона. 1 – H₀=14,4 м, Q=32/5 т; 2 – H₀=14,4 м, Q=10 т; 3 – H₀=8,4 м, Q=32/5 т; 4 – H₀=8,4 м, Q=10 т (иллюстрация авторов). В круглых скобках приведены значения для классов ВПБ60 и ВПБ80

Таблица

Общий расход стали в крайней и средней колоннах

| № варианта | Высота здания H ₀ , грузоподъемность кранов Q | Класс тяжелого бетона | | | | | Класс высокопрочного песчаного бетона | |
|-----------------|--|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | | B20 | B30 | B40 | B60 | B80 | ВПБ60 | ВПБ80 |
| Крайняя колонна | | | | | | | | |
| 1 | H ₀ =14,4 м, Q=32/5 т | <u>1008</u> 0 | <u>891</u> 11,6 | <u>741</u> 26,5 | <u>303</u> 69,9 | <u>303</u> 69,9 | <u>302</u> 70,0 | <u>306</u> 69,6 |
| 2 | H ₀ =14,4 м, Q=10 т | <u>968</u> 0 | <u>793</u> 18,1 | <u>736</u> 24,0 | <u>299</u> 69,1 | <u>298</u> 69,2 | <u>297</u> 69,3 | <u>297</u> 69,3 |
| 3 | H ₀ =8,4 м, Q=32/5 т | <u>450</u> 0 | <u>212</u> 52,9 | <u>209</u> 53,6 | <u>209</u> 53,6 | <u>209</u> 53,6 | <u>208</u> 53,8 | <u>208</u> 53,8 |
| 4 | H ₀ =8,4 м, Q=10 т | <u>487</u> 0 | <u>428</u> 12,1 | <u>359</u> 26,3 | <u>201</u> 58,7 | <u>201</u> 58,7 | <u>200</u> 58,9 | <u>200</u> 58,9 |
| Средняя колонна | | | | | | | | |
| 5 | H ₀ =14,4 м, Q=32/5 т | <u>1459</u> 0 | <u>1315</u> 1,4 | <u>1278</u> 12,4 | <u>580</u> 60,2 | <u>420</u> 71,2 | <u>530</u> 63,7 | <u>416</u> 71,5 |
| 6 | H ₀ =14,4 м, Q=10 т | <u>1086</u> 0 | <u>1079</u> 0,6 | <u>1079</u> 0,6 | <u>446</u> 58,9 | <u>448</u> 58,7 | <u>446</u> 58,9 | <u>446</u> 58,9 |
| 7 | H ₀ =8,4 м, Q=32/5 т | <u>719</u> 0 | <u>509</u> 29,2 | <u>476</u> 33,8 | <u>245</u> 65,9 | <u>235</u> 67,3 | <u>241</u> 66,5 | <u>231</u> 67,9 |
| 8 | H ₀ =8,4 м, Q=10 т | <u>581</u> 0 | <u>579</u> 0,3 | <u>578</u> 0,5 | <u>225</u> 61,3 | <u>226</u> 61,1 | <u>222</u> 61,8 | <u>222</u> 61,8 |

Примечание – В числителе приведен расход стали в кг, в знаменателе – экономия в %.

Сравнение технико-экономических показателей колонн из тяжелого бетона классов B20...B80 и высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 для 8

рассмотренных вариантов типов колонн (крайняя и средняя), высоты здания H_0 ($H_0=14,4$ м и $H_0=8,4$ м) и грузоподъемности мостовых кранов Q ($Q=32/5$ т и $Q=10$ т) показало следующее:

– по общей стоимости материалов самым экономичным в 1 случае из 8 оказалось применение колонн из тяжелого бетона классов В80 и из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80, в 2 случае – из тяжелого бетона класса В60, а также одновременно из тяжелого бетона класса В60 и из высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ60. Экономия по сравнению с изготовлением колонн из тяжелого бетона традиционных классов В20...В40 составляет от 24,8 % до 109,5 %. Еще в 1 случае ($H_0=8,4$ м, $Q=10$ т), наименьшую стоимость имела крайняя колонна из тяжелого бетона класса В30, экономия по сравнению с применением ее из высокопрочного бетона классов В60, В80, ВПБ60 и ВПБ80 составила от 6,5 % до 7,5 %;

– общая стоимость материалов при применении колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60, ВПБ80 и из тяжелого бетона классов В60, В80 в 6 случаях из 8 отличается незначительно (разница составляет от – 0,9 % до + 1,4 %), в 2

случаях (средняя колонна, $H_0=8,4$ м, $Q=10$ т и $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) расхождение получилось более значительным и составило +18,4 % и – 12,7 % соответственно;

– увеличение класса тяжелого бетона колонн с В60 до В80 в 6 случаях из 8 не дает снижения общей стоимости материалов (при этом экономия при применении тяжелого бетона класса В60 составляет 0,2...0,7 %), в 2 случаях (средняя колонна при $H_0=8,4$ м, $Q=10$ т и $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) использование тяжелого бетона класса В80 оказалось экономичнее на 1,6 % и 18,2 % соответственно;

– повышение класса высокопрочного песчаного бетона колонн с ВПБ60 до ВПБ80 в 6 случаях из 8 не дает снижения общей стоимости материалов (при этом экономия при применении бетона класса ВПБ60 составляет 0,7...2,9 %), в 2 случаях (средняя колонна при $H_0=8,4$ м, $Q=10$ т и $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) использование бетона класса ВПБ80 оказалось экономичнее на 0,6 % и 17,8 % соответственно;

– повышение класса бетона ведет к снижению общего расхода стали. Так, применение колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 в сравнении с применением их из тяжелого бетона класса В20 снижает общий расход стали на 53,8...71,5 %, а применение из высокопрочного тяжелого бетона классов В60 и В80 – на 53,6...69,9 % (рис. 2 и таблица);

– при повышении класса высокопрочного песчаного бетона колонн с ВПБ60 до ВПБ80 общий расход стали, как правило, отличается незначительно (от – 0,4 % до + 1,3 %). Лишь в 1 случае из 16 (средняя колонна при $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) экономия стали при применении бетона класса ВПБ80 по сравнению с использованием бетона класса ВПБ60 составляет 21,5 % (таблица);

– при повышении класса тяжелого бетона колонн с В60 до В80 общий расход стали, как правило, отличается незначительно (от – 4,1 % до + 0,4 %). Лишь в 1 случае из 16 (средняя колонна при $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) экономия стали при применении бетона класса В80 по сравнению с использованием класса В60 составляет 27,6 % (таблица);

– общий расход стали при применении колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 практически такой же, что и при применении их из высокопрочного тяжелого бетона классов В60 и В80, соответственно. Разница составляет от – 1,8 % до + 0,3 %. Лишь в 1 случае из 16 (средняя колонна при $H_0=14,4$ м, $Q=32/5$ т) экономия стали при применении высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ 60 составила 8,6 % по сравнению с использованием бетона класса В60 (таблица).

Кроме того, в результате расчетов было выявлено следующее:

– при разнице величин разнонаправленных изгибающих моментов по абсолютной величине более 25 % расчет ствола колонны по методике несимметричного армирования дает меньшую на 10...50 % площадь продольной арматуры, чем по методике симметричного армирования. При разнице моментов не более 25 % расчеты по обеим методикам дают близкие значения площадей. Следует отметить, что в отечественной литературе при разнице моментов не более 25 % расчет рекомендуется выполнять по методике симметричного армирования, а при разнице более 25 % – по методике несимметричного армирования;

– во всех рассмотренных случаях прочность ствола колонны по наклонному сечению обеспечивалась за счет только прочности бетона, требования по трещиностойкости его нормальных сечений выполнялись при количестве арматуры, установленной из расчета по I группе предельных состояний, прочность консолей по наклонным сечениям обеспечивалась одним бетоном;

– для обеспечения прочности нормальных сечений ствола колонны из плоскости поперечной рамы, иногда приходилось принимать количество продольной арматуры большее, определенной расчетом в плоскости рамы.

4. Обсуждение

Анализ полученных результатов показывает, что применение колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами из высокопрочного тяжелого и песчаного бетона классов В60, В80 и ВПБ60, ВПБ80 является, как правило, более экономичным по сравнению с применением их из тяжелого бетона традиционных классов В20...В40. Экономия по общему расходу материалов составляет от 24,8 % до 109,5 %.

Повышение класса бетона ведет к снижению общего расхода стали. Так, по сравнению с применением колонн из тяжелого бетона класса В20 использование высокопрочного тяжелого бетона классов В60, В80 уменьшает его на 53,6...69,9 %, а высокопрочного песчаного бетонов классов ВПБ60, ВПБ80 – на 53,8...71,5 %.

Общая стоимость материалов и общий расход стали при применении колонн из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 и из высокопрочного тяжелого бетона классов В60, В80, как правило, отличаются незначительно. Разница в общей стоимости материалов составляет от – 0,9 % до + 1,4 %, в общем расходе стали – от – 1,8 % до + 0,3 %.

Как правило, по общей стоимости материалов несколько экономичнее является применение колонн из высокопрочного тяжелого бетона класса В60 по сравнению с использованием из бетона класса В80 (экономия – 0,2...0,7 %) и из высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ60 по сравнению с использованием из бетона класса ВПБ80 (экономия – 0,7...2,9 %).

Полученные результаты в целом подтверждают результаты рассмотренных в разделе «Введение» ранее проведенных исследований в отношении сборных и монолитных длинных цилиндрических оболочек [17] и пологих оболочек положительной гауссовой кривизны [18], в которых получена экономия общего расхода материалов и стали при применении указанных оболочек из высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 по сравнению с использованием их из тяжелого бетона классов В20...В80.

Полученные в настоящих исследованиях результаты имеют важное значение, т. к. они выявили экономичные решения по расходу материалов в зависимости от класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона для колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами.

5. Заключение

1. Применение колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами из высокопрочного тяжелого и песчаного бетона классов В60, В80 и ВПБ60, ВПБ80 является, как правило, более экономичным по сравнению с использованием их из тяжелого бетона традиционных классов В20...В40.

2. Повышение класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона ведет к снижению общего расхода стали.

3. Общая стоимость материалов и общий расход стали при применении колонн из высокопрочного тяжелого бетона классов В60, В80 и высокопрочного песчаного бетона классов ВПБ60 и ВПБ80 отличаются, как правило, незначительно.

4. Как правило, по общей стоимости материалов несколько экономичнее является применение колонн из высокопрочного тяжелого бетона класса В60 по сравнению с использованием из бетона класса В80 и из высокопрочного песчаного бетона класса ВПБ60 по сравнению с применением из бетона класса ВПБ80.

5. Выполненные исследования выявили экономичные решения по расходу материалов в зависимости от класса тяжелого и высокопрочного песчаного бетона для колонн прямоугольного сечения одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами.

6. В дальнейшем предполагается выполнить аналогичные исследования для двухветвевых колонн прямоугольного сечения, а также для других видов несущих железобетонных конструкций.

Список литературы

1. Mindess S. Developments in the formulation and reinforcement of concrete. 2019. 423 p. DOI: 10.1016/C2017-0-03347-5.
2. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях / С.С. Каприелов, В.И. Травуш, Н.И. Карпенко и др. // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9-13.
3. Илюхина Е.А., Лахман С.И., Миллер А.Б., Травуш В.И. Конструктивные решения высотного здания «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге // Строительные науки. 2019. № 3. С. 110-121.
4. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Безгодов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В. Исследование деформаций усадки мелкозернистого высокопрочного бетона и сталефибробетона при рациональном содержании фибры // Известия высших учебных заведений. Серия «Технология текстильной промышленности». 2018. № 3. С. 227-230.
5. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 72-73.
6. Морозов Н.М., Хозин В.Г. Песчаный бетон высокой прочности // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 25–26.
7. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Низамов Р.К. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов // Бетон и железобетон. 2020. № 1 (601). С. 15-28.
8. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Низамов Р.К., Кашапов Р.Р., Баишев Д.И. Опыт наномодификации цементов низкой водопотребности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 1. С. 53-57.
9. Вдовин Е.А., Хозин В.Г., Ильина О.Н., Куклин А.Н., Гиздатуллин А.Р., Шарафутдинов Б.Д. Опыт применения полимеркомпозитной арматуры при строительстве бетонных аэродромных покрытий в аэропортовом комплексе г. Казань. Сб. научных трудов: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 86-90.
10. Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates // Construction and Building Materials. 2020. V. 256. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119447.
11. Ouassila B., Houria H., Leila K., Mouloud B., Assia A., Chaher R.. Valorization of marble's waste as a substitute in sand concrete // Advances in Concrete Construction. 2020. № 9 (2). P. 217-225. DOI:10.12989/acc.2020.9.2.217.
12. Thangapandi K., Anuradha R., Awoyera P. O., Gobinath R., Archana N., Berlin M., Oladimeji O. B. Durability phenomenon in manufactured sand concrete: Effects of zinc oxide and alcofine on behavior // Silicon. 2021. V. 13(4). P. 1079-1085. DOI:10.1007/s12633-020-00494-2.
13. Tolstoy A. D., Fomina E. V., Milkina A. S. Durability of fine-grained high-strength concrete in corrosive environment. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 753 (3). DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032036.
14. Peng Z., Li D., Zhou Y., Ren, S.. Failure criterion in stress space for coral reef sand concrete under biaxial compression. Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology. 2018. V. 40 (5). P. 66-70. DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2018.05.011.
15. Li Z., Wang G., Yang S., Ju G. Experimental study on mechanical properties and stress-strain constitutive relations of desert sand concrete. Yingyong Lixue Xuebao // Chinese Journal of Applied Mechanics. 2019. V. 36 (5). P. 1131-1137. DOI:10.11776/cjam.36.05.B063.

16. Li B., Yin L., Fan L. Analysis on flexural fatigue performance of manufactured sand concrete. *Jianzhu Cailiao Xuebao // Journal of Building Materials*. 2017. V. 20 (5). P. 801-807. DOI:10.3969/j.issn.1007-9629.2017.05.024.
17. Dong Z., Wu G., Xu Y. Bond and flexural behavior of sea sand concrete members reinforced with hybrid steel-composite bars presubjected to wet-dry cycles // *Journal of Composites for Construction*. 2017. V. 21 (2). DOI:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000749.
18. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 890 012082 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012082.
19. Mukhametrakhimov R.K., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. V. 102 (2). Article number 10206. DOI: 10.18720/MCE.10206.
20. Palagin N., Dul'miyeva A. Cost-effective design of long cylindrical shells of high-strength sand concrete, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 890 012078. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012078.
21. Palagin N., Nikitin G., Sadrutdinova A. (2022) Erection of Flat Shells of Positive Gaussian Curvature Made from High-Strength Sand Concrete and Its Economic Efficiency. In: Vatin N.I., Tamrazyan A.G., Plotnikov A.N., Leonovich S.N., Pakrastins L., Rakhmonzoda A. (eds) *Advances in Construction and Development. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 197. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6593-6_11.

References

- Mindess S. Developments in the formulation and reinforcement of concrete. 2019. 423 p. DOI:10.1016/C2017-0-03347-5.
- Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures / S.S. Kaprielov, V.I. Travush, N.I. Karpenko and others // *Building materials*. 2008. No. 3. P. 9-13.
- Ilyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Constructive solutions for the high-rise building "Lakhta Center" in St. Petersburg // *Stroitelnye nauki*. 2019. No. 3. P. 110-121.
- Karpenko N.I., Kaprielov S.S., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V. Study of shrinkage deformations of fine-grained high-strength concrete and steel-fiber-reinforced concrete with a rational fiber content // *Izvestia of higher educational institutions. Series "Technology of the textile industry"*. 2018. No. 3. P. 227-230.
- Morozov N.M., Khozin V.G., Muginov Kh.G. Features of the formation of the structure of modified sandy concrete // *Stroitelnye materialy*. 2010. No. 9. P. 72-73.
- Morozov N.M., Khozin V.G. Sandy concrete of high strength // *Building materials*. 2005. No. 11. P. 25-26.
- Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Nizamov R.K. Carbonate cements of low water demand - promising binders for concrete // *Concrete and reinforced concrete*. 2020. No. 1 (601). P. 15-28.
- Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Nizamov R.K., Kashapov R.R., Baishev D.I. Experience of nanomodification of cements of low water demand // *Industrial and civil construction*. 2018. No. 1. P. 53-57.
- Vdovin E.A., Khozin V.G., Ilyina O.N., Kuklin A.N., Gizdatullin A.R., Sharafutdinov B.D. Experience in the use of polymer composite reinforcement in the construction of concrete airfield pavements in the airport complex in Kazan. *Sat. scientific papers: Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport facilities / Belgorod State Technological University*. V.G. Shukhov. 2013. P. 86-90.
- Boucedra A., Bederina M., Ghernouti Y. Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates // *Construction and Building Materials*. 2020. V. 256. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119447.
- Ouassila B., Houria H., Leila K., Mouloud B., Assia A., Chaheer R. Valorization of marble's waste as a substitute in sand concrete // *Advances in Concrete Construction*. 2020. No. 9 (2). P. 217-225. DOI:10.12989/acc.2020.9.2.217.
- Thangapandi K., Anuradha R., Awoyera P. O., Gobinath R., Archana N., Berlin M., Oladimeji O. B. Durability phenomenon in manufactured sand concrete: Effects of zinc oxide and alcofine on behavior // *Silicon*. 2021. V. 13(4). P. 1079-1085. DOI:10.1007/s12633-020-00494-2.

13. Tolstoy A. D., Fomina E. V., Milkina A. S. Durability of fine-grained high-strength concrete in corrosive environment. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 753(3). DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032036.

14. Peng Z., Li D., Zhou Y., Ren, S.. Failure criterion in stress space for coral reef sand concrete under biaxial compression. Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology. 2018. V. 40 (5). P. 66-70. DOI:10.3963/j.issn.1671-4431.2018.05.011.

15. Li Z., Wang G., Yang S., Ju G. Experimental study on mechanical properties and stress-strain constitutive relations of desert sand concrete. Yingyong Lixue Xuebao // Chinese Journal of Applied Mechanics. 2019. V. 36 (5). P. 1131-1137. DOI:10.11776/cjam.36.05.B063.

16. Li B., Yin L., Fan L. Analysis on flexural fatigue performance of manufactured sand concrete. Jianzhu Cailiao Xuebao // Journal of Building Materials. 2017. V. 20 (5). P. 801-807. DOI:10.3969/j.issn.1007-9629.2017.05.024.

17. Dong Z., Wu G., Xu Y. Bond and flexural behavior of sea sand concrete members reinforced with hybrid steel-composite bars presubjected to wet-dry cycles // Journal of Composites for Construction. 2017. V. 21(2). DOI:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000749.

18. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012082 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012082.

19. Mukhametrakhimov R.K., Lukmanova L.V. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // Magazine of Civil Engineering. 2021. V. 102(2). Article number 10206. DOI: 10.18720/MCE.10206.

20. Palagin N., Dul'miyeva A. Cost-effective design of long cylindrical shells of high-strength sand concrete, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 890 012078. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012078.

21. Palagin N., Nikitin G., Sadrutdinova A. (2022) Erection of Flat Shells of Positive Gaussian Curvature Made from High-Strength Sand Concrete and Its Economic Efficiency. In: Vatin N.I., Tamrazyan A.G., Plotnikov A.N., Leonovich S.N., Pakrastins L., Rakhmonzoda A. (eds) Advances in Construction and Development. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 197. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6593-6_11.

Информация об авторах

Николай Григорьевич Палагин, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: pal_nik11@mail.ru

Георгий Петрович Никитин, Заместитель генерального директора, главный конструктор, АО «Казанский Гипронеиавиапром им. Б.И. Тихомирова», г. Казань, Российская Федерация

Email: g.nikitin@gap-rt.ru

Алексей Николаевич Трунов, Инженер ООО «Химпромпроект», г. Казань, Российская Федерация

Email: trunov@himproect.ru

Information about the authors

Nikolai G. Palagin, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: pal_nik11@mail.ru

Georgiy P. Nikitin Deputy General Director, Chief Designer JSC «Kazan Giproniaviaprom them. B.I. Tikhomirov», Kazan, Russian Federation

Email: g.nikitin@gap-rt.ru

Alexey N. Trunov, Engineer, ООО «Khimpromproekt» Kazan, Russian Federation

Email: trunov@himproect.ru