

# Технология и организация строительства Technology and organization of construction

Научная статья

УДК 69.059

DOI: 10.14529/build240206

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ В НЕСЪЁМНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПАЛУБКЕ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

*Т.М. Хафизов, khafizovtm@susu.ru*

*А.Х. Байбурун, baiburinak@susu.ru*

*С.Е. Денисов, denisovse@susu.ru*

*А.Д. Овчинников, ovchinnikovad@susu.ru*

*И.А. Петров, ivanpetrov23062004@gmail.com*

*Д.М. Степин, dmitriistepin@yandex.ru*

*М.С. Елисин, maxs02@list.ru*

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** Объектом исследования является новая технология строительства в несъемной железобетонной опалубке. Многолетняя практика монолитного строительства в зимнее время позволяет прогнозировать технологию интенсификации на базе нового способа опускающегося бетона. В статье показан вариант каркаса сооружения с подземной и наземной частью, глубиной 50 и высотой 150 метров. Данный вариант является сборно-монолитным с использованием несъемной опалубки размером на блок-комнату. Представлен возможный компромисс между границами объема сборного и монолитного бетона при строительстве в зимнее время с сохранением качества технологических операций и нормативных сроков строительства. Сравнение известных сборно-монолитных и монолитных технологий с технологией на базе нового способа опускающегося бетона определяет потенциал технических решений в ближайшие годы при выборе технологии строительства. Преимущество новой технологии заключается в интегрировании операций сборного и монолитного бетона с использованием преимуществ альтернативных технологий и нивелированием их недостатков.

**Ключевые слова:** здания и сооружения, сборно-монолитная технология строительства, способ опускающегося бетона, несъемная опалубка

**Для цитирования.** Технология возведения многоэтажного сборно-монолитного здания в несъемной железобетонной опалубке в зимнее время / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурун, С.Е. Денисов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 2. С. 42–47. DOI: 10.14529/build240206

Original article  
DOI: 10.14529/build240206

## TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTION OF A MULTI-STOREY PREFABRICATED MONOLITHIC FRAME OF A CIVIL BUILDING, THROUGH THE USE OF FIXED REINFORCED CONCRETE BLOCK ROOM FORMWORK IN WINTER

**T.M. Khafizov**, khafizovtm@susu.ru  
**A.Kh. Baiburin**, baiburinak@susu.ru  
**S.E. Denisov**, denisovse@susu.ru  
**A.D. Ovchinnikov**, ovchinnikovad@susu.ru  
**I.A. Petrov**, ivanpetrov23062004.@gmail.com  
**D.M. Stepin**, dmitriistepin@yandex.ru  
**M.S. Elisin**, maxs02@list.ru  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** The study presents a new construction technology in non-removable reinforced concrete formwork. Long-term practice of monolithic construction in winter allows you to predict the technology of intensification based on a new method of descending concrete. The article shows a variant of the frame of the structure with an underground and ground part, a depth of 50 meters and a height of 150 meters, this variant is prefabricated-monolithic using a non-removable block-room formwork. This option is prefabricated and monolithic using non-removable formwork the size of a block room. A comparison of well-known prefabricated monolithic and monolithic technologies with technology based on a new method of descending concrete determines the potential of technical solutions in the coming years when choosing a construction technology. The advantage of the new technology lies in the integration of precast and monolithic concrete operations using the advantages of alternative technologies and leveling their shortcomings.

**Keywords:** buildings and structures, prefabricated monolithic construction technology, method of descending concrete, non-removable formwork

**For citation.** Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D., Petrov I.A., Stepin D.M., Elisin M.S. Technology for the construction of a multi-storey prefabricated monolithic frame of a civil building, through the use of fixed reinforced concrete block room formwork in winter. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(2):42–47. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240206

### Введение

Интенсификация строительного производства в монолитном домостроении в современных условиях в основном рассматривается как использование строительных методов энергосбережения, уменьшение трудозатрат или применение композитных смесей, не требующих прогрева [1, 2]. Данный подход целесообразен, когда монолитная конструкция изготавливается и набирает прочность при благоприятных условиях и предварительно проведены исследования технологических параметров для оптимизации температурных режимов. Но технология дает сбои, когда прогрев конструкций в холодный период происходит с недостаточно теплоизолированными поверхностями, с технологическими нарушениями, а рабочие, выполняющие данную операцию, имеют низкую квалификацию. Перед укладкой бетонной смеси опалубка конструкций и арматура должны быть отогреты до температуры не ниже +5 °С и надежно закреплены. Смонтированная опалубка подвергается риску быть деформированной из-за ряда причин, что влечет за собой увеличение трудозатрат на исправление брака [3].

Перечисленные факты, которые практически не значимы в тёплый, благоприятный период,

в зимних условиях подталкивают к поиску возможных границ снижения объема монолитных операций и баланса между сборным и монолитным строительством, добавляя при этом важность ускорения темпов строительства [4].

Как вариант строительная практика использует компромиссную схему сборно-монолитного строительства: это сборные колонны и монолитные перекрытия с вертикальным монолитным ядром жёсткости в виде лестнично-лифтовой шахты. Это решение оптимально в тёплый период строительного производства. А с октября по апрель (в условиях Урала), в холодный период года, такое решение увеличивает сроки строительства до 40 % по причинам, изложенным в [5, 6].

Известен вариант сборно-монолитного строительства при использовании туннельной металлической опалубки с санитарно-техническими кабинами заводского изготовления, сборными лестницами и шахтами лифта. Этот вариант позволяет более качественно выполнить работу в неблагоприятный период, так как имеется возможность прогрева монолитных поверхностей через внутреннюю поверхность металлической туннельной опалубки: стены прогреваются с двух сторон, а перекрытие – с одной сторо-

ны, внешняя сторона накрыта теплоизоляционным материалом [7, 8]. При необходимости предварительно нагревают арматурные каркасы, находящиеся по периметру нагретой опалубки.

Данная технология в современных условиях практически не применяется ввиду ряда недостатков: маловариантная планировка, ограниченная несущими стенами; тяжелая, металлоемкая опалубка; необходимость установки выкатных подмостей и применения мощных кранов. К недостаткам данной технологии со съёмными опалубками относятся также большая трудоемкость опалубочных и арматурных работ, низкая оборачиваемость опалубки, длительные сроки набора прочности бетона перекрытий, необходимость чистки и смазки палубы, состояние которой влияет на качество поверхностей стен и потолков [9, 10].

### Строительство сборно-монолитного каркаса сооружения по новой технологии

Интеграция нескольких запатентованных [10–12] строительных технологий позволяет получить работоспособный результат строительства сооружения глубиной 50 м и высотой 150 м, размерами в плане 36×36 м, отличающийся от описанных выше исключением ряда недостатков, связанных с зимним производством работ [13–15].

Этапы строительства подземной части начинаются разбивкой осей и устройством буронабивных свай глубиной 60 м по наружному периметру подземной части. От наружного периметра на проектном расстоянии в зоне призмы обрушения устраиваем буронабивные сваи глубиной ниже диагонали призмы обрушения. Буронабивную сваю-якорь оснастки устраиваем вне зоны призмы обрушения. Сваю оснастки по наружному периметру соединяем горизонтальной стальной затяжкой со свай в зоне призмы обрушения и со свай-якорем вне зоны призмы обрушения, затяжку натягиваем для создания усилия, воспринимающего давление грунта.

На оголовке сваи оснастки и рядом стоящей оголовке сваи в зоне обрушения монтируем рабочую площадку с консолью для установки гидродомкратов и опалубочной системы способа опус-

кающегося бетона [16, 17]. Во внутренней зоне подземной части вынимаем грунт и направляем на вертикальные конвейеры за пределы рабочей площадки. Одновременно по мере выемки грунта бетонируем наружные стены-оболочки подземной части и начинаем опускать вниз со скоростью 50 см в час. Для предотвращения вывалов грунта выемки устанавливаем между сваями горизонтальные балки с пленкой гидроизоляции и сеткой согласно патентованному способу [12].

Возможность вертикального изгиба колонны купируется горизонтальными анкерами, забуренными в грунт призмы обрушения. Когда весь объём грунта в подземной части вынут и одновременно опущены железобетонные стены-оболочки до проектной отметки, на проектной отметке котлована бетонируется плита-фундамент толщиной до 3 метров по расчету.

На строительной площадке на проектном расстоянии устанавливается башенный кран с неподвижной башней, рассчитанный на опускание груза массой не менее 20 тонн на глубину 50 м. Согласно проекту организации строительства (ПОС), рядом с краном монтируется мобильный цех по изготовлению несъёмных железобетонных блочных (блок-комнатных) опалубок общим размером 36 × 36 м, при выпуске 16 изделий в сутки различных типоразмеров и толщин стен. Основной размер несъёмной опалубки 4 × 6 м при высоте 3 м.

Башенный кран по мере изготовления несъёмных опалубок начинает монтировать нижний этаж согласно планировочному решению установкой блок-комнатных опалубок, бетонированием плиты перекрытия или горизонтального армированного диска жесткости толщиной 30 см, с бетонированием между опалубками вертикальных несущих стен или вертикальных ядер жесткости толщиной 50 см (см. рисунок).

Каркас этажа строится за трое суток. В подземной части размещается 15 этажей, которые возводятся за 45 суток при трёхсменной работе. Работы в подземной части проводятся в благоприятных для работников теплых условиях даже в зимний период при обеспечении теплоизоляции горизонтального наружного контура.



Схема железобетонного каркаса по технологии блок-комнатной опалубки

Этапы строительства наземной части каркаса сооружения. Поскольку строительство наземной части происходит при отрицательных температурах ниже минус 15 °С и ветровых нагрузках до 12 м/с, то главное условие – это максимальное обеспечение вертикальной теплоизоляции, которая заключается в закрытии оконных или дверных проёмов несъёмной блок-комнатной опалубки.

Изменения коснутся технологии изготовления межэтажных плит перекрытий толщиной 22 см. Армирование будет вестись стандартно по горизонтальной поверхности несъёмной блок-комнатной опалубки, но с незначительными изменениями. Установка несъёмной опалубки будет происходить не на забетонированную горизонтальную поверхность, а на армированную поверхность. Опалубка устанавливается с частичной опорой на предыдущую, с возможностью непрерывания арматурного слоя, проходящего сквозь вертикальные стены несъёмной опалубки.

Таким образом, бетонирование горизонтальной плиты будет вестись после монтажа несъёмной блок-комнатной опалубки через оконные и дверные проёмы, с дальнейшим прогревом арматуры до +5 °С в теплых боксах несъёмной опалубки и набором прочности бетонной смеси независимо от дальнейших строительных операций по вертикальному бетонированию ядра жесткости между стенками опалубки и армирования захватки следующего этажа [19, 20].

Преимущество данной технологии состоит в интегрировании операций сборного и монолитного бетона таким образом, что каждая операция не препятствует последующей, а дополняет её и при этом сборный бетон создает условия для благоприятного набора прочности монолитной бетонной смеси, теплоизолируя её от внешних неблагоприятных условий. В зимних условиях дополнительно необходим прогрев арматуры и внутреннего объёма несъёмной блок-комнатной опалубки. Затраты времени состав-

ляют до 8 часов на этаж. Каркас наземной части состоит из 46 этажей, поэтому на возведение каркаса наземной части затрачивается 154 дня.

Общий срок строительства каркаса подземной и наземной частей сооружения составляет около 200 суток, без учёта выемки грунта, установки буронабивных свай оснастки с затяжками и изготовления монолитной железобетонной оболочки способом опускающегося бетона и фундаментной монолитной плиты.

### Заключение

Четвертая промышленная революция, направленная на сохранение окружающей среды и благоприятных условий жизни человека, отображает данную тенденцию и на строительные технологии [18–20]. В экстремальных техногенных условиях или при стихийных бедствиях возможность нахождения убежища для защиты здоровья человека недалеко от проживания семьи является идеальным вариантом: просто спуститься в подземный этаж в апартаменты для проживания. Технологическая эффективность всех операций и уникальная совместимость сборных изделий и монолитного бетона во время строительства каркаса в зимних условиях влияет на экономические показатели себестоимости. Возможности мобильного цеха по изготовлению несъёмной блок-комнатной железобетонной опалубки позволяют применять интенсивные методы в технологии бетонных работ зимой, сокращая при этом сроки возведения в сравнении с известными технологиями.

Впервые осмыслена технология интеграции различных патентованных методов строительства в применении к подземному и наземному каркасу сооружения при временном удержании призм обрушения грунта, что позволяет прогнозировать следующие шаги по интенсификации строительства посредством способа опускающегося бетона.

### Список литературы

1. Головнев С.Г. Современные строительные технологии. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 268 с.
2. Технология строительных процессов: учеб. для вузов / А.А. Афанасьев, Н.Н. Данилов, В.Д. Копылов, Б.В. Сысоев, О.М. Терентьев. М.: Высш. школа, 1997. 464 с.
3. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 1999. 148 с.
4. Атаев С.С. Технология и механизация строительного производства. В 2 томах. М.: Высшая школа. 315 с. (Т. 1), 359 с. (Т. 2).
5. Мацкевич А.Ф. Проектирование и применение скользящей опалубки: учебное пособие. Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1984. 72 с.
6. Способ совмещенного строительства зданий и сооружений посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, А.Д. Овчинников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 1. С. 37–47. DOI: 10.14529/build230105.
7. Метод опускаемого бетона для блочного строительства / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, А.Д. Овчинников // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы XVI Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 18–20 апреля 2023 года. Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2023. С. 142–148.
8. Патент № RU2794678 Способ изготовления железобетонной блок-комнаты для мобильного цеха блочного домостроения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, А.Д. Овчинников; заявл. 21.11.2022; опубл. 24.04.2023, Бюл. № 12.

9. Хафизов Т.М., Байбурун А.Х., Денисов С.Е., Овчинников А.Д. Технология бетонирования блок-комнат способом опускающегося бетона // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 2. С. 73–79. DOI: 10.14529/build230209.
10. Патент № RU2604098 Способ строительства подземного многоэтажного сооружения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурун, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов; заявл. 02.11.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
11. Патент № RU2566540 Способ формирования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, С.Г. Головнев, С.Д. Денисов; заявл. 30.09.14; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.
12. Патент № RU2510088 Подземный ядерно-энергетический комплекс / Т.М. Хафизов, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов; заявл. 08.10.2012; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
13. Сауков Д.А., Гинзбург Д.А. Современное модульное строительство // IV Междунар. конф. «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» Safety-2018: сборник статей. Екатеринбург, 2018. С. 69–82.
14. Тешев И.Д., Коростылева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // Жилищное строительство. 2016. № 3. С. 26–33.
15. Байбурун А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий. М.: Изд-во АСВ, 2015. 336 с.
16. Сапачева Л.В. Подземная урбанизация – необходимое условие устойчивого развития городов // Жилищное строительство. 2016. № 11. С. 12–13.
17. Байцур А.И. Заглубленные сооружения промышленных предприятий. Киев: Будивэльник, 1990. 81 с.
18. Сотникова О.А., Жидко Е.А. Проблемы утилизации отходов производства экологически опасных и экономически важных объектов ЦЧР и пути их решения // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 3(19). С. 11–20.
19. Мониторинг строительства многофункционального жилого комплекса с подземной автостоянкой / В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, А.В. Коннов, В.Р. Иртуганова // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 29–32.
20. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 1. С. 148–155. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.13

#### References

1. Golovnev S.G. *Sovremennye stroitel'nye tekhnologii* [Modern construction technologies]. Chelyabinsk: South Ural St.Univ. Publ.; 2010. 268 p. (In Russ)
2. Afanasev A.A., Danilov N.N., Kopylov V.D., Sysoev B.V., Terentev O.M. *Tekhnologiya stroitel'nogo protsessov: ucheb. dlya vuzov* [Technology of construction processes: textbook for universities]. Moscow: Higher School Publ.; 1997. 464 p. (In Russ)
3. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Technology of winter concreting. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk: SUSU Publ.; 1999. 148 p. (In Russ)
4. Ataev S.S. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. V 2 tomakh* [Technology and mechanization of construction production. In 2 volumes]. Moscow: Higher School Publ.; 315 p.(vol. 1), 359 p. (vol. 2). (In Russ)
5. Matskevich A.F. *Proektirovanie i primeneniye skol'zyashchey opalubki: uchebnoe posobie* [Design and application of sliding formwork: a textbook]. Gor'kiy: V.P. Chkalov GISI Publ.; 1984. 72 p. (In Russ)
6. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D. A method of combined construction of underground and aboveground structures by means of descending concrete. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(1):37–47. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230105
7. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D. [The method of lowered concrete for block construction]. In: *Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'stva: Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Novosibirsk, 18–20 aprelya 2023 goda* [Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference “Topical issues of architecture and construction”, Novosibirsk, April 18–20, 2023]. Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); 2023. P. 142–148.
8. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D. *Sposob izgotovleniya zhelezobetonnoy blok-komnaty dlya mobil'nogo tsekha blochnogo domostroeniya* [Method of manufacturing an iron-ton block room for a mobile workshop of block housing construction]. Patent RF no RU2794678, 2023.
9. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D. Block-room concreting technology using the descending concrete method. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(2):73–79. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230209
10. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Khafizov G.T. *Sposob stroitel'stva podzemnogo mnogoetazhnogo sooruzheniya* [Method of construction of underground multi-storey structures]. Patent RF no RU2604098, 2016.

11. Khafizov T.M., Golovnev S.G., Denisov S.D. *Sposob formovaniya zhelezobetonnykh konstruktсий posredstvom opuskayushchegosya betona* [Method of forming reinforced concrete structures by means of collapsible concrete]. Patent RF, no RU2566540, 2015.
12. Khafizov T.M., Denisov S.E., Khafizov G.T. *Podzemnyy yaderno-energeticheskiy kompleks* [Underground nuclear power complex] Patent RF no RU2510088, 2014.
13. Saukov D.A., Ginzburg D.A. Modern modular building. In: *IV International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures SAFETY2018: collected papers*. Ekaterinburg; 2018. P. 69–82. (In Russ)
14. Teshev I.D., Korostyleva G.K., Popova M.A. Space block house prefabrication. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016;3:26–33. (In Russ)
15. Bayburin A.Kh. *Obespechenie kachestva i bezopasnosti vozvodimykh grazhdanskikh zdaniy* [Ensuring the quality and safety of civil buildings under construction]. Moscow: ASV Publ.; 2015. 336 p. (In Russ)
16. Sapacheva L.V. [Underground urbanization – a necessary condition for sustainable urban development]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016;11:12–13. (In Russ)
17. Baytsur A.I. *Zaglublennyye sooruzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Buried structures of industrial enterprises]. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1990. 81 p. (In Russ)
18. Sotnikova O.A., Zhidko E.A. Problems of waste disposal of environmentally hazardous and economically important objects of the central black earth region and their solutions. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*. [Biosphere compatibility: man, region, technologies]. 2017;3(19):11–20. (In Russ)
19. Il'ichev V.A., Nikiforova N.S., Konnov A.V., Irtuganova V.R. Monitoring of construction of multifunctional residential complex with underground car parking. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016;6:29–32. (In Russ)
20. Zakharova M.V., Ponomarev A.B. Experience in constructing buildings and structures using modular technology. *PNRPU bulletin. Construction and architecture*. 2017;8(1):148–155. (In Russ.) DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.13

**Информация об авторах:**

**Хафизов Тагир Мавлитович**, старший преподаватель кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; khafizovtm@susu.ru

**Байбурин Альберт Халитович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; baiburinak@susu.ru

**Денисов Сергей Егорович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; denisovse@susu.ru

**Овчинников Андрей Дмитриевич**, инженер кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ovchinnikovad@susu.ru

**Петров Иван Александрович**, студент бакалавриата, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ivanpetrov23062004@gmail.com.

**Степин Дмитрий Михайлович**, студент специалитета, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; dmitriistepin@yandex.ru

**Елисин Максим Сергеевич**, студент бакалавриата, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; maxs02@list.ru

**Information about the authors:**

**Tagir M. Khafizov**, Senior Lecturer, Department of Construction Operations and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; khafizovtm@susu.ru

**Albert Kh. Baiburin**, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Professor of department “Construction Operations and Theory of Structures”, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; baiburinak@susu.ru.

**Sergey E. Denisov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; denisovse@susu.ru

**Andrei D. Ovchinnikov**, Engineer, Department of Construction Operations and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ovchinnikovad@susu.ru

**Ivan A. Petrov**, Undergraduate student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ivanpetrov23062004@gmail.com.

**Dmitry M. Stepin**, Undergraduate student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; dmitriistepin@yandex.ru.

**Maxim S. Elisin**, Undergraduate student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; maxs02@list.ru

*Статья поступила в редакцию 23.01.2024; принята к публикации 30.01.2024.*

*The article was submitted 23.01.2024; approved after reviewing 30.01.2024.*