

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.016:624.075:624.15:624.137.5

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.8-19

Подпорные сооружения из заполненных щебнем блоков: результаты мониторинга и развитие технологии возведения

Никита Яковлевич Цимбельман¹, Дмитрий Юрьевич Иванников²,
Игорь Валерьевич Кузоваткин¹, Татьяна Игоревна Чернова^{1,3},
Валентин Николаевич Бабкин², Мария Вадимовна Марченко¹

¹ Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); г. Владивосток, Россия;

² Корбет; г. Москва, Россия;

³ Филиал Центрального научно-исследовательского и проектного института Министерства
строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации
«Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт
по строительству» (филиал ЦНИИП Минстроя России «ДальНИИС»); г. Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Предметом исследования является тип подпорного сооружения, представляющий собой последовательность установленных друг на друга и не имеющих между собой жесткой конструктивной связи пустотелых блоков, заполненных щебнем. Актуальность исследования состоит в необходимости разработки расчетного обоснования рассматриваемого конструктивного решения подпорных стен при различных условиях эксплуатации. Научная новизна заключается в обосновании и разработке новых технических решений, направленных на расширение области применения перспективных конструкций подпорных сооружений, практическая значимость — в разработке и совершенствовании технологий их возведения.

Материалы и методы. При обследовании и систематизации сведений о техническом состоянии возведенных подпорных сооружений используются нормативные методики и рекомендации. Выполнено визуальное обследование сооружений с фотофиксацией повреждений и дефектов, обмерные работы, а также геодезические работы с фиксацией координат характерных точек подпорных сооружений. Методы анализа напряженно-деформированного состояния сооружения позволили разработать новые технические решения в части вовлечения окружающего грунта в работу конструкции.

Результаты. Анализ результатов обследования подпорных сооружений, выполненных на объектах г. Владивостока в период с 2010 г., показал, что категории технического состояния обследованных объектов определяются как нормативное и работоспособное. С целью расширения области применения рассматриваемых конструкций в части диапазона характеристик удерживаемого грунта и увеличения высоты подпора разработаны новые технические решения, направленные на увеличение массивности стенки и вовлечение удерживаемого грунта в обеспечение эксплуатационных качеств подпорного сооружения.

Выводы. В результате исследований впервые систематизирована информация о техническом состоянии эксплуатируемых подпорных сооружений, выполненных из заполненных грунтом блоков-коробов: в целом стенки показывают хорошую работоспособность в достаточно суровых условиях Дальнего Востока России. Разработанные новые технические решения позволят обоснованно расширить область применения рассматриваемых конструкций за счет сочетания положительных качеств полугравитационных конструкций подпорных стен и технологий армированного грунта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полугравитационные подпорные стенки, пустотелые блоки, заполнение щебнем, мониторинг, технология возведения

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность Я.И. Котыку, А.Ю. Воронову, С.В. Вавренюк, Ю.В. Новаку, А.Д. Соколову, В.Г. Решетникову за плодотворное сотрудничество, а также К.А. Соколову за перевод разделов и редакцию рукописи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Цимбельман Н.Я., Иванников Д.Ю., Кузоваткин И.В., Чернова Т.И., Бабкин В.Н., Марченко М.В. Подпорные сооружения из заполненных щебнем блоков: результаты мониторинга и развитие технологии возведения // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 4. Ст. 8–19. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.8-19

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Юрьевич Иванников, d.ivannikov@korbetstroy.ru.

Retaining structures made of blocks filled with crushed stone: monitoring results and development of construction technology

Nikita Ya. Tsimbelman¹, Dmitry Yu. Ivannikov², Igor V. Kuzovatkin¹,
Tatyana I. Chernova^{1,3}, Valentin N. Babkin², Mariya V. Marchenko¹

¹ Far Eastern Federal University (FEFU); Vladivostok, Russian Federation;

² Korbet; Moscow, Russian Federation;

³ Branch of the Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing
and Communal Services of the Russian Federation "Far Eastern Research, Design
and Technological Institute for Construction"; Vladivostok, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The subject of the study is a type of retaining structure representing a series of blocks filled with crushed stone which are installed on top of one another without a rigid connection. The relevance of the study is set by the necessity of developing a design justification of the considered retaining wall constructive solution under various operating conditions. The scientific novelty of the study consists in justification and development of new technical solutions aimed at expanding the scope of application for promising retaining structure designs, whereas the practical significance of the study consists in development and refinement of construction technologies related to such designs.

Materials and methods. Normative methods and recommendations are used for inspection and systematization of information on the technical condition of erected retaining structures. Visual inspection of the structures with photo fixation of damages and defects, measurement works, as well as geodetic works with fixation of coordinates of characteristic points of retaining structures were carried out. Methods of analyzing the stress-strain state of the structure allowed to develop new technical solutions in terms of involving the surrounding soil in the work of the structure.

Results. The analysis of the results of the survey of retaining structures carried out at the Vladivostok city objects since 2010 has shown that the categories of technical condition of the surveyed objects are defined as normative and serviceable. In order to expand the scope of application of the structures under consideration in terms of the range of characteristics of the retained soil and increase the height of the retaining wall, new technical solutions were developed aimed at increasing the massiveness of the wall and involving the retained soil in ensuring the operational qualities of the retaining structure.

Conclusions. As a result of the research, for the first time the information on the technical condition of the operated retaining structures made of soil-filled box blocks was systematized: in general, the walls show good serviceability in rather severe conditions of the Far East of Russia. The developed new technical solutions will make it possible to reasonably expand the application area of the considered structures due to the combination of positive qualities of semi-gravity retaining wall structures and reinforced soil technologies.

KEYWORDS: semi-gravity retaining walls, hollow blocks, crushed stone filling, monitoring, construction technology

Acknowledgements. The authors express their deepest gratitude to Ya.I. Kotyk, A.Yu. Voronov, S.V. Vavrenyuk, Yu.V. Novak, A.D. Sokolov, V.G. Reshetnikov for valuable advice and fruitful partnership as well as K.A. Sokolov for translation of chapters and editorial work for this article.

FOR CITATION: Tsimbelman N.Ya., Ivannikov D.Yu., Kuzovatkin I.V., Chernova T.I., Babkin V.N., Marchenko M.V. Retaining structures made of blocks filled with crushed stone: monitoring results and development of construction technology. *Construction: Science and Education*. 2024; 14(4):8-19. URL: <http://nsso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.8-19

Corresponding author: Dmitry Yu. Ivannikov, d.ivannikov@korbetstroy.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Подпорные сооружения различных конструкций широко применяются для обеспечения устойчивости массивов грунта: например, при вертикальной планировке местности в промышленном и гражданском строительстве [1], устройстве дорожных насыпей в транспортном строительстве [2], формировании искусственных территорий и причальных сооружений в гидротехническом строительстве [3] и в других областях. В зависимости от специфики поставленных задач разработаны различные варианты подпорных сооружений, многообразие конструктивных решений которых может быть систематизировано с помощью различных классификационных признаков [4]. Удобным представляется признак, позволяющий систематизировать решения подпорных

сооружений по степени вовлечения удерживаемого грунта в обеспечение устойчивости системы. По этому показателю подпорные сооружения могут быть условно разделены на массивные (гравитационные), полумассивные (полугравитационные) и сооружения из армированного грунта [5].

Базовые методики расчета подпорных сооружений, применяемые в транспортном строительстве, достаточно хорошо проработаны. При этом разработка и внедрение новых конструктивных решений подпорных сооружений приводит к необходимости дополнения и расширения методик расчета с целью учета конструктивных особенностей сооружения, специфики восприятия нагрузок, взаимодействия элементов подпорного сооружения между собой и с окружающей средой.

Одним из перспективных направлений развития конструктивных решений подпорных сооружений является использование грунта как конструктивного элемента стенки, что достигается укладкой его в специально устроенные полости в несущих элементах конструкции. Пустотелые несущие конструкции могут быть выполнены в виде отдельных тонкостенных оболочек и коробов, устанавливаемых друг на друга в определенном порядке. Подпорные стенки такого типа с 1990-х гг. применяются, например, в Японии^{1,2}, известны решения, используемые в США³, и в настоящее время находят свое применение в России и странах Азии [6].

Базовая конструкция представляет собой ступенчатую подпорную стену, собираемую из нескольких уровней железобетонных пустотелых блоков-коробов, полости которых последовательно заполняют щебнем определенной фракции (рис. 1).

Благодаря отсутствию жестких конструктивных связей между блоками конструкция предполагает возможность небольших взаимных подвижек блоков, не оказывающих влияния на эксплуатационные качества, но при этом значительно повышающих ее конструктивную гибкость. Последнее обстоятельство сделало целесообразным применение стен такого типа в условиях динамических нагрузок и воздействий: прежде всего, сейсмических, а также нагрузок от транспортной вибрации. Хорошо просматривается перспектива использования подпорных сооружений из заполненных грунтом блоков для решения задач дорожного строительства: при возведении насыпей, устройстве выемок, формировании устоев мостовых переходов и др. (рис. 1).

В зависимости от области применения и решаемых задач конструкция пустотелого блока может быть различной. Известны блоки, изготавливаемые японской фирмой Aizawa Koetsu⁴ и российской фирмой ООО «Корбет»⁵, которые представляют собой пустотелый железобетонный короб без дна с тонкими стенками сложной формы (рис. 2, а). Конфигурация блока позволяет обеспечить отсутствие непосредственного контакта между блоками смежных уровней. Фасадная грань блока превосходит тыловую грань и по высоте, и по ширине, что дает возможность: 1) безопасно выполнить заполнение полости блока и заблочного пространства (пазух) щебнем и уплотнить его послойно вплоть до уровня верхней отметки блока; 2) изменять конфигурацию стенки в плане, выполняя плавный поворот фасада (рис. 2, б). На концевых (торцевых) участках подпорной стенки блоки «вкладываются» друг в друга с переворотом верхнего блока на 180° вокруг оси, перпендикулярной фасаду. Таким образом формируется поворот сооружения в плане на 90° (рис. 2, с).

В целом расчет подпорных стенок рассматриваемого типа укладывается в рамки базовых нормативных методик расчета подпорных сооружений^{6, 7, 8}. При этом специфика конструкции и технологии возведения требуют своего рода «привязки» такого конструктивного решения к действующим нормам расчета и в части аналитических решений, и в области построения численных моделей. В настоящее время сформирована методика поуровневого расчета устойчивости конструкции; ведутся исследования, направленные на уточнение аналитического решения для определения активного давления грунта, а также

¹ Отчет об экспертизе технологии строительства. Строительные материалы/изделия/технологии, технологии содержания дорог. Акт строительно-технической экспертизы № 0327. Наклонная подпорная стена с возможностью контакта «Коробчатая подпорная стена». Япония : Исследовательский центр гражданского строительства, 2014. 238 с.

² Методика строительства «Подпорная стена коробчатого типа». Руководство по проектированию // Исследовательский центр гражданского строительства. Япония, 2016. 180 с.

³ Stone Strong Systems. URL: <https://www.stonestrong.com/>

⁴ Aizawa Group. URL: <https://www.aizawa-group.co.jp>

⁵ Устройство и проектирование подпорных стен из блоков КБП. URL: <https://korbetstroy.ru/>

⁶ СП 381.1325800.2018. Сооружения подпорные. Правила проектирования. М. : Стандартинформ, 2018. 109 с.

⁷ СП 101.13330.2023. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М. : Минстрой России, 2023. 170 с.

⁸ СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. М. : Минрегион России, 2011. 99 с.

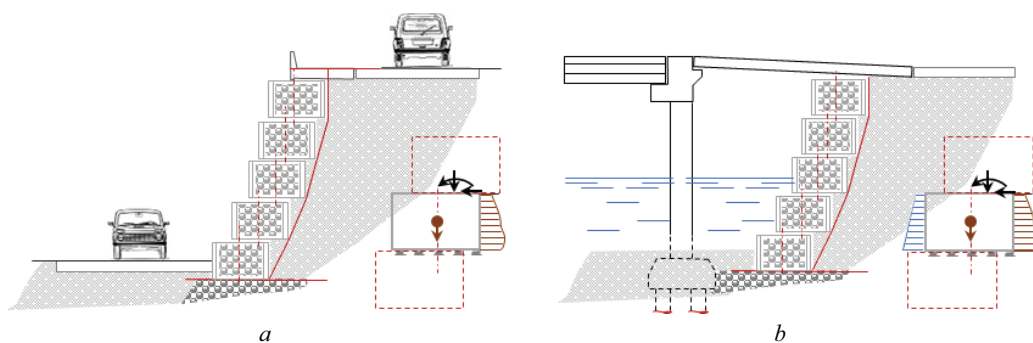


Рис. 1. Схемы сечений и фрагменты расчетных схем подпорных сооружений из заполненных щебнем блоков в транспортном строительстве: а — подпорная стенка дорожной насыпи; б — устой мостового перехода

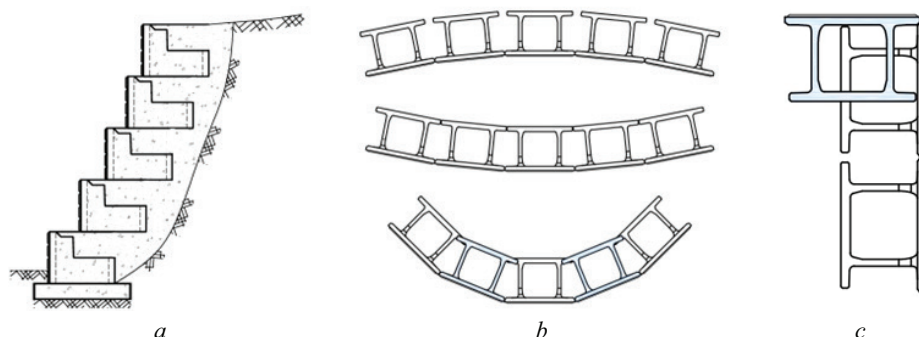


Рис. 2. Подпорное сооружение из заполненных щебнем блоков: *a* — схема поперечного сечения; *b* — конфигурации в плане; *c* — фрагмент торцевого участка

на формирование методик численного моделирования и определения параметров численных моделей. Результаты исследований позволят обоснованно дополнить и расширить область применения подпорных сооружений из заполненных грунтом блоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Во вступительной части работы приведен анализ данных мониторинга работоспособности сданных в эксплуатацию и эксплуатируемых подпорных сооружений из заполненных щебнем пустотелых блоков. Состояние объектов установлено методами технического обследования [7], включавшего визуально-инструментальный контроль, обмерные и геодезические работы с определением категории технического состояния объектов в соответствии с ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

В результате анализа проектных решений с использованием методик патентных исследований и на основе изучения работы элементов сооружения в составе геотехнической системы разработаны новые технические решения, направленные на повышение запаса устойчивости конструкции для случая относительно слабых грунтов, а также увеличения высоты подпора. С помощью метода анализа напряженно-деформированного состояния сооружения разработаны комбинированные технические решения, сочетающие в себе положительные качества блоков-оболочек, контролируемых по свойствам засыпки и геосинтетических материалов, вовлекающих удерживаемый массив грунта в обеспечение общей устойчивости сооружения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Идея конструктивного приема в виде создания полостей в несущих элементах подпорных сооружений для заполнения их грунтом не является новой в дорожно-строительной практике. Известны, например, решения Тбилисского филиала Союздорпроекта, который разработал проект подпорных стен из коробчатых блоков для автомобильных дорог [8]. Подобная конструкция подпорных стен из железобетонных коробчатых элементов была выполнена

на Закавказской железной дороге. Концепция обеспечения массивности за счет заполнения пустотелых объемов грунтом активно реализовывалась и реализуется в гидротехническом строительстве [9] при формировании массивных конструкций портовых сооружений. Например, Гипроречтранс разработал проекты речных причалов из железобетонных пустотелых ящиков при высотах стен от 4,5 до 9,5 м с интервалами через 1 м. Максимальный вес ящика 25 т. Транспортировка ящиков к месту установки выполняется по воде за счет их плавучести [10].

Первые примеры применения в дорожном строительстве современной России подпорных стен из небольших сборных пустотелых блоков, заполняемых щебнем, относятся к середине 2000-х гг., когда рассматриваемая концепция уже хорошо зарекомендовала себя на Дальнем Востоке, в Японии. В столице ДФО, г. Владивостоке, в период с 2005 г. возведены десятки подпорных сооружений данной конструкции в составе объектов гражданского, промышленного, транспортного и гидротехнического строительства. Диапазон проектных решений при этом весьма широк: от малых архитектурных форм и небольших подпорных стен вдоль дорожного полотна (рис. 3, *a*, *b*) до конструкций значительной высоты, обеспечивающих планировку застройки (рис. 3, *c*, *d*), формирующих дорожную насыпь (рис. 3, *e*), либо образующих устой мостовых переходов (рис. 3, *f*).

Результаты технического обследования

С целью оценки работоспособности подпорных сооружений из заполненных щебнем пустотелых блоков, возведенных в начальный период применения, филиалом Центрального научно-исследовательского и проектного института Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации «Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству» (филиал ЦНИИП Минстроя России «ДальНИИС») проведено техническое обследование десятка наиболее характерных для конструкции объектов в г. Владивостоке. Иллюстрации некоторых из обследованных объектов при-



Рис. 3. Подпорные стены из заполненных щебнем блоков: *a* — на территории Всероссийского детского центра «Океан» (Владивосток); *b* — в районе торгового центра «Калина Молл» (Владивосток); *c* — на ул. Командорской (Владивосток); *d* — в районе жилого микрорайона «Снеговая падь» (Владивосток); *e, f* — на трассе Де-Фриз – Патрокл (Владивосток)

ведены на рис. 3, *b–e*. Подпорные стены возведены в период с 2010 г. во Владивостоке. В качестве блоков использованы железобетонные пустотелые короба по ТУ 5859-001-88259817-2009 «Конструктивный блок для подпорной стенки и подпорные стенки типов КБП 100/200, КБП 100/150, КБП 50/200»⁹.

Согласно заключению ДальНИИС РААСН¹⁰ в результате технического обследования, включавшего визуально-инструментальный контроль, обмерные и геодезические работы, установлено, что в соответ-

ствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» категории технического состояния перечисленных объектов определяются как *нормативное* и *работоспособное*.

Результаты обследования и практика расчетов показывают, что подпорные сооружения рассматриваемой конструкции в базовом исполнении имеют ограничения области применения в зависимости от физико-механических характеристик удерживаемого массива грунта: для относительно слабых грунтов максимальная высота сооружения составляет 5–6 м; для грунтов с высокими значениями показателей прочностных характеристик высота может достигать 10–12 м; для скальных грунтов — до 15 м. При этом для грунтов с относительно невысокими значениями прочностных и деформационных характеристик могут быть использованы комбинированные решения, которые позволят расширить область

⁹ СТО 88259817-001-2018. Стены подпорные сейсмостойкие гравитационного типа из блоков конструктивных железобетонных типа КБП. Технические требования. Владивосток : ООО АЗКонкрет, 2018. 38 с.

¹⁰ Отчет по результатам обследования технического состояния подпорных стен из блоков с грунтовым наполнителем в г. Владивостоке. Владивосток : Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, 2023. 79 с.

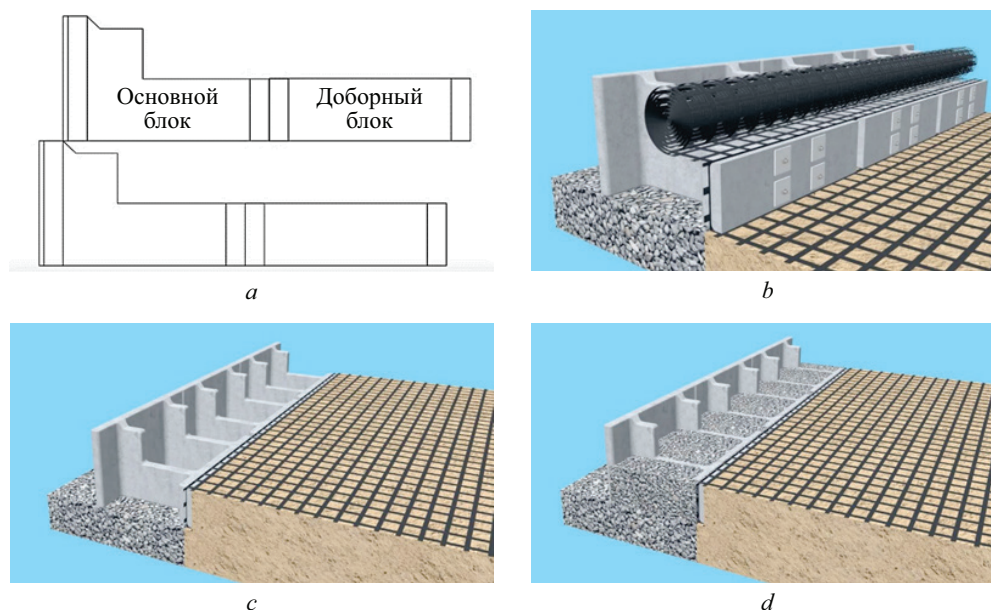


Рис. 4. Схемы новых технических решений элементов подпорных стен из заполненных грунтом блоков: *a* — с доборным блоком; *b, c, d* — в сочетании с армированным грунтом (этапы устройства)

применения рассматриваемой конструкции, для чего авторами разработаны несколько концептуальных технических решений.

Новые технические решения

При необходимости увеличения запаса устойчивости заполненных блоков в случае невыполнения условий проверки на сдвиг и/или опрокидывание предлагается использовать доборные блоки, прикрепляемые к задним стенкам основных блоков. Доборные блоки представляют собой пустотелые железобетонные коробки с тонкими стенками, заполняемые тем же грунтом, что и основные блоки и заблочное пространство (рис. 4, *a*).

Такое решение приводит к увеличению площади контакта подошвы уровня блоков с грунтом и, соответственно, увеличению сопротивления уровня блоков сдвигу. Увеличение массивности и смещение центра тяжести конструкции в сторону откоса ведет к росту запаса устойчивости уровня блоков на опрокидывание.

С целью вовлечения удерживаемого грунта в работу стенки на устойчивость авторами разработано концептуальное техническое и технологическое решение (рис. 4), позволяющее объединить армированный грунт [11] с блоками посредством введения плоского прижимного элемента, скрепляющего армирующие грунт сетки с тыловыми стенками блоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

По мере разработки и внедрения в практику строительства новых конструктивных решений подпорных сооружений развиваются и уточняются (ввиду специфики новых конструкций) подходы и методики их расчетного обоснования, систематизируются базы данных опыта пробной эксплуатации. Современные решения комбинированных подпорных сооружений,

выполненных из заполненных грунтом тонкостенных железобетонных блоков различной формы, находят все более широкое применение в гражданском, промышленном и гидротехническом строительстве.

Возведение в России подпорных стен из пустотелых блоков-коробов, заполненных щебнем, хорошо иллюстрируется примерами объектов в Приморском крае, где в период с 2000-х гг. возведены десятки подпорных сооружений такой конструкции. Опыт эксплуатации подпорных сооружений рассматриваемой конструкции систематизирован в ходе технического обследования типовых характерных объектов, выполненного ДальНИИС РААСН. В ходе обследования проведены осмотр конструкций на предмет повреждений и износа, дефектные ведомости, инструментальные и геодезические измерения. В результате анализа данных обследования установлено, что согласно терминологии ГОСТ 31937–2011 подпорные сооружения находятся в нормативном и работоспособном состоянии: сооружения хорошо зарекомендовали себя в климатических условиях юга Дальнего Востока и не вызывают нареканий.

В ходе анализа результатов расчетов в части взаимодействия элементов подпорных сооружений рассматриваемого типа с окружающим грунтом определены направления развития конструктивных решений с целью повышения общей устойчивости конструкции за счет введения дополнительных конструктивных элементов, а также для возможности увеличения высоты подпора посредством формирования комбинированного решения, сочетающего в себе заполненные грунтом блоки (как элементы полугравитационных подпорных стен) и удерживаемый грунт, армированный геосетками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Даревский В.Э., Романов А.М. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней и пр.). М. : Магстер, 2011. 595 с. EDN QNPJXX.
2. Тетиор А.Н. Облегченные подпорные стены в транспортном строительстве. М. : Транспорт, 1987. 79 с.
3. Цимбельман Н.Я., Чернова Т.И., Иванников Д.Ю., Кузоваткин И.В., Бабкин В.Н. Применение заполненных грунтом блоков при решении задач берегоукрепления // Гидротехническое строительство. 2024. № 3. С. 23–29. EDN TQDNCC.
4. Robbins B.A., Stephens I.J., Marcuson W.F. Geotechnical Engineering // Encyclopedia of Geology. 2021. Pp. 377–392. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.12508-4
5. Цимбельман Н.Я. Надежда и опора // Наука и жизнь. 2009. № 8. С. 60–65.
6. Tsimbelman N.Ya., Kuzovatkin I.V., Chernova T.I., Kotik Ya.I., Ivannikov D.Iu., Babkin V.N. Retaining walls made of infilled blocks in civil engineering // Smart Geotechnics for Smart Societies. 2023. Pp. 2600–2605. DOI: 10.1201/9781003299127-405
7. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб. : Издательский дом KN+, 2001. 140 с.
8. Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений. М. : Изд-во АСВ, 2008. 95 с. EDN QNNCWN.
9. Левачёв С.Н. Оболочки в гидротехническом строительстве. М. : Стройиздат, 1978. 168 с.
10. Цагарели З.В. Новые облегченные конструкции подпорных стен. М. : Стройиздат, 1969. 207 с.
11. Соколов А.Д. Армогрунтовые системы автодорожных мостов и транспортных развязок : монография. СПб. : Держава, 2013. 490 с.

Поступила в редакцию 3 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 3 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Никита Яковлевич Цимбельман — доктор технических наук, профессор, директор департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы); Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ, к. Е918; tsimbelman.nya@dvfu.ru;

Дмитрий Юрьевич Иванников — главный конструктор; Корбет; 119607, г. Москва, Раменский бульвар, д. 1; d.ivannikov@korbetstroy.ru;

Игорь Валерьевич Кузоваткин — ассистент департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы); Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ, к. Е906; kuzovatkin_iv@dvfu.ru;

Татьяна Игоревна Чернова — старший преподаватель департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы); Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ, к. Е915; ведущий специалист; филиал Центрального научно-исследовательского и проектного института Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации «Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству» (филиал ЦНИИП Минстроя России «ДальНИИС»); 690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, д. 14; chernova.ti@dvfu.ru;

Валентин Николаевич Бабкин — генеральный директор; Корбет; 119607, г. Москва, Раменский бульвар, д. 1; v.babkin@korbetstroy.ru;

Мария Вадимовна Марченко — магистр департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы); Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ, к. Е906; marchenko.mv@dvfu.ru.

Вклад авторов:

Цимбельман Н.Я. — научное руководство, концепция конструктивных решений, общая редакция.

Иванников Д.Ю. — технические решения конструкций, обеспечение лабораторных и полевых работ.

Кузоваткин И.В. — создание численных моделей, анализ напряженно-деформированного состояния конструкций.

Чернова Т.И. — создание численных моделей, анализ напряженно-деформированного состояния конструкций.

Бабкин В.Н. — технические решения конструкций, обеспечение лабораторных и полевых работ.

Марченко М.В. — создание численных моделей, анализ напряженно-деформированного состояния конструкций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Retaining structures of various designs are widely used to ensure the stability of soil massifs: for example, in vertical terrain planning in industrial and civil engineering [1], road embankments in transport construction [2], the formation of artificial territories and wharves in hydraulic engineering [3] and in other areas. Depending on the specifics of the tasks, various variants of retaining structures were developed, the variety of their design solutions can be systematized using various classification features [4]. The feature that allows systematizing solutions of retaining structures by the degree of involvement of the retained soil in ensuring the stability of the system seems convenient. According to this indicator, retaining structures can be conditionally divided into massive (gravity), semi-massive (semi-gravity) and reinforced soil structures [5].

Basic methods of calculation of retaining structures used in transport construction are well enough developed. At the same time, the development and implementation of new structural solutions of retaining structures leads to the need to supplement and expand the calculation methods in order to take into account the structural features of the structure, the specifics of load perception, the interaction of elements of the retaining structure among themselves and with the environment.

One of the promising directions of development of structural solutions of retaining structures is the use of soil as a structural element of the wall, which is achieved by packing it into specially arranged cavities in the bearing elements of the structure. Hollow bearing structures can be made in the form of separate thin-walled shells and boxes installed on each other in a certain order. Since the 1990s retaining walls of this type have been used, for example, in Japan^{1,2}, solutions used

in the USA are known³, and nowadays they are used in Russia and Asian countries [6].

The basic structure is a stepped retaining wall assembled from several levels of reinforced concrete hollow blocks-columns, the cavities of which are successively filled with crushed stone of a certain fraction (Fig. 1).

Due to the absence of rigid structural connections between the blocks, the construction allows for small mutual movements of the blocks, which do not affect the operational qualities, but at the same time significantly increase its structural flexibility. The latter circumstance has made it expedient to use walls of this type in conditions of dynamic loads and impacts: first of all, seismic, as well as loads from transport vibration. There is a good prospect of using retaining structures made of soil-filled blocks for solving the problems of road construction: in the construction of embankments, excavations, formation of bridge crossing foundations, etc. (Fig. 1).

Depending on the field of application and the tasks to be solved, the design of a hollow block can be different. There are known blocks manufactured by the Japanese company Aizawa Koetsu⁴ and the Russian company LLC “Korbet”⁵, which represent a hollow reinforced concrete box without bottom with thin walls of complex shape (Fig. 2, *a*). The configuration of the block allows to ensure that there is no direct contact between the blocks of adjacent levels. The front face of the block exceeds the rear face both in height and width, which makes it possible: 1) to safely fill the cavity of the block and the block space (slots) with crushed stone and compact it layer by layer up to the level of the top mark of the block; 2) to change the configuration of the wall in plan, performing a smooth turn of the facade (Fig. 2, *b*). At the end (end-type) sections of the retaining wall, the blocks are “inserted” into each other with the upper block turned 180° around the axis perpendicular to the facade. In this way, the structure is rotated in plan by 90° (Fig. 2, *c*).

In general, the calculation of retaining walls of the considered type is within the framework of basic nor-

¹ Expertise report on construction technology. Construction materials/products/technologies, road maintenance technologies. Construction technology expertise report No. 0327. Inclined retaining wall with the possibility of contact “Box retaining wall”. Japan, Civil Engineering Research Centre, 2014; 238.

² Construction methodology “Box-type retaining wall”. Design Manual. Civil Engineering Research Centre. Japan, 2016; 180.

³ Stone Strong Systems. URL: <https://www.stonestrong.com/>

⁴ Aizawa Group. URL: <https://www.aizawa-group.co.jp>

⁵ Construction and design of retaining walls made of PMA blocks. URL: <https://korbetstroy.ru/>

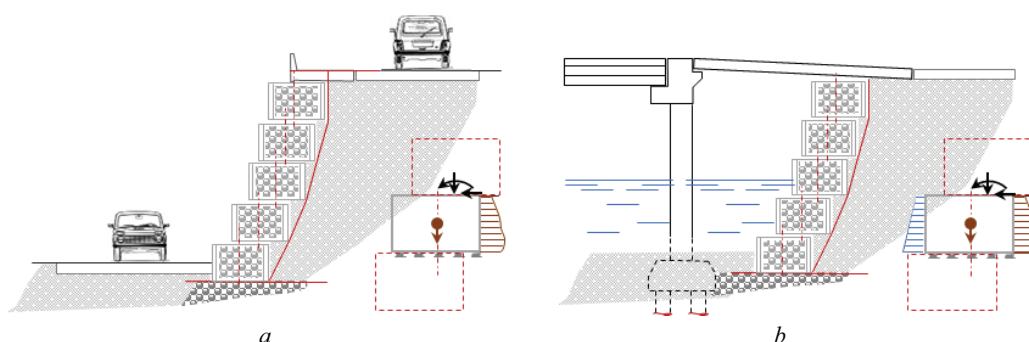


Fig. 1. Section diagrams and fragments of calculation schemes of retaining structures made of blocks filled with crushed stone in transport construction: *a* — retaining wall of road embankment; *b* — bridge crossing slope

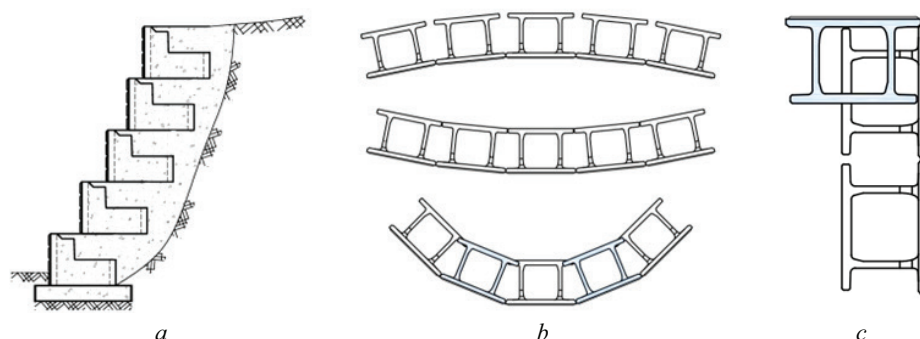


Fig. 2. Retaining structure made of blocks filled with crushed stone: *a* — cross-section scheme; *b* — configurations in plan; *c* — fragment of the end section

mative methods of calculation of retaining structures^{6, 7, 8}. At the same time, specifics of the design and construction technology require a kind of “binding” of such a structural solution to the current calculation norms both in terms of analytical solutions and numerical models. At present, a methodology for level-by-level calculation of structural stability has been formed; research is underway to refine the analytical solution for determining the active soil pressure, as well as to develop methods for numerical modelling and determining the parameters of numerical models. The results of the research will make it possible to reasonably supplement and expand the application area of retaining structures made of soil-filled blocks.

MATERIALS AND METHODS

The introductory part of the paper analyses the performance monitoring data of commissioned and operated retaining structures made of hollow blocks filled with crushed stone. The condition of the objects was established by methods of technical inspection [7], which included visual and instrumental inspection, measurement and geodetic works with determination of the category of technical condition of the objects in accordance with GOST 31937–2011 “Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition”.

As a result of the analysis of design solutions using patent research methods and on the basis of studying the operation of the elements of the structure as part of the geotechnical system, new technical solutions have been developed aimed at increasing the stability margin of the structure for the case of relatively weak soils, as well as increasing the height of the buttress. Using the method of analyzing the stress-strain state of the structure, combined technical solutions have been developed, combining the positive qualities of shell

blocks controlled by the properties of the backfill and geosynthetic materials involving the retained soil mass to ensure the overall stability of the structure.

RESEARCH RESULTS

The idea of constructive technique in the form of creating cavities in the bearing elements of retaining structures to fill them with soil is not new in road construction practice. There are known, for example, solutions of the Tbilisi branch of Soyuzdordproekt, which developed a project of retaining walls made of box blocks for motorways [8]. A similar design of retaining walls made of reinforced concrete box elements was performed at the Transcaucasian railway. The concept of ensuring massiveness by filling hollow volumes with soil was and is actively implemented in hydraulic engineering construction [9] when forming massive structures of port facilities. For example, Giprorchtrans developed projects of river berths made of reinforced concrete hollow boxes with wall heights from 4.5 to 9.5 m at 1 m intervals. The maximum weight of the crate is 25 tonnes. The crates are transported to the place of installation by water due to their buoyancy [10].

The first examples of application of retaining walls made of small prefabricated hollow blocks filled with crushed stone in road construction in modern Russia date back to the mid-2000s, when the concept in question had already proven itself in the Far East and Japan. In Vladivostok, the capital of the Far Eastern Federal District, dozens of retaining structures of this design have been erected since 2005 as part of civil, industrial, transport and hydraulic engineering construction projects. The range of design solutions is very wide: from small architectural forms and small retaining walls along the roadway (Fig. 3, *a, b*) to structures of considerable height, providing the layout of the building (Fig. 3, *c, d*), forming a road embankment (Fig. 3, *e*), or forming bridge crossings (Fig. 3, *f*).

Results of the technical survey

In order to assess the serviceability of retaining structures made of hollow blocks filled with crushed stone, erected in the initial period of application, the branch of the Central Research and Design Institute of the Ministry of construction and housing and com-

⁶ CP 381.1325800.2018. Retaining structures. Design rules. Moscow, Standardinform Publ., 2018. 109.

⁷ CP 101.13330.2023. Retaining walls, navigable sluices, fish passage and fish protection structures. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2023; 170.

⁸ CP 43.13330.2012. Structures of industrial enterprises. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia, 2011; 99.



Fig. 3. Retaining walls made of blocks filled with crushed stone: *a* — on the territory of the All-Russian Children’s Centre “Ocean” (Vladivostok); *b* — near the shopping centre “Kalina Mall” (Vladivostok); *c* — in Komandorskaya Street (Vladivostok); *d* — near the residential microdistrict “Snegovaya Pad” (Vladivostok); *e, f* — on the De-Friz – Patrokl road (Vladivostok)

municipal services of the Russian Federation “Far Eastern Research, Design, Construction and Technological Institute for Construction” (branch of the Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction of Russia “DalNIIS”) carried out a technical survey of a dozen of the most typical for the design of the retaining structures. Illustrations of some of the surveyed objects are given in Fig. 3, *b–e*. The retaining walls were erected in the period since 2010 in Vladivostok. Reinforced concrete hollow boxes according to TC 5859-001-88259817–2009 “Structural block for retaining wall and retaining wall types HBB 100/200, HBB 100/150, HBB 50/200”⁹ were used as blocks.

⁹ SO 88259817-001–2018. Gravity-type earthquake-resistant retaining walls made of structural reinforced concrete blocks of HBB type. Technical requirements. Vladivostok, AZConcrete LLC, 2018; 38.

According to the conclusion of DalNIIS RAASN¹⁰ as a result of technical inspection, which included visual and instrumental control, measurement and geodetic works, it was established that in accordance with GOST 31937–2011 “Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition” the categories of technical condition of the listed objects are defined as *normative* and *operable*.

The results of the survey and the practice of calculations show that retaining structures of the considered design in the basic version have limitations of application depending on the physical and mechanical characteristics of the retained soil mass: for relatively weak soils

¹⁰ Report on the results of inspection of technical condition of retaining walls made of blocks with soil filler in Vladivostok. Vladivostok, Branch of FGBU “TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia” DalNIIS, 2023; 79.

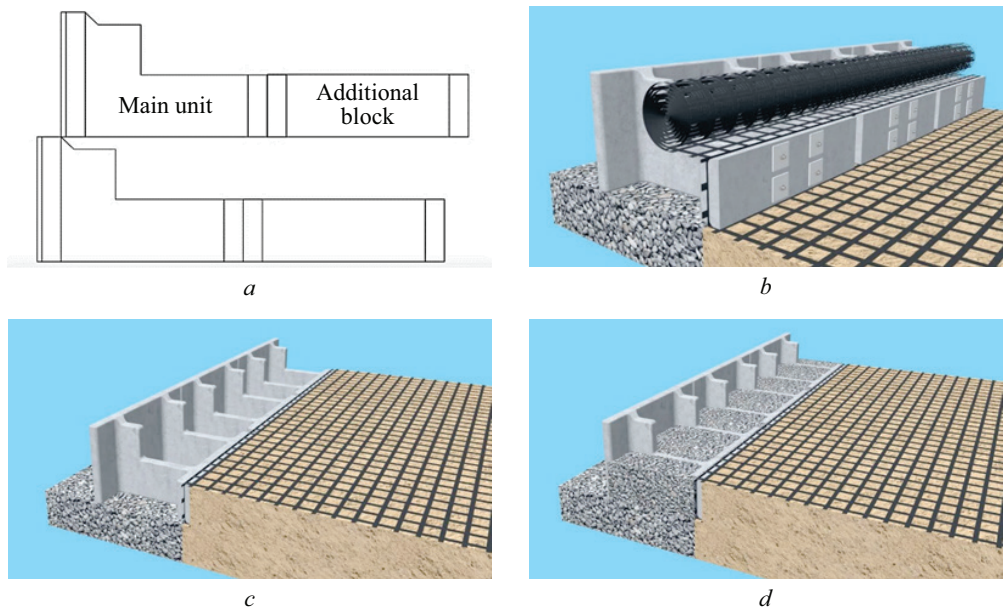


Fig. 4. Schemes of new technical solutions of retaining wall elements made of soil-filled blocks: *a* — with additional block; *b, c, d* — in combination with reinforced soil (stages of construction)

the maximum height of the structure is 5–6 m; for soils with high values of strength characteristics the height can reach 10–12 m; for rocky soils — up to 15 m. At the same time for soils with relatively low values of strength and deformation characteristics combined solutions can be used, which will allow to expand the application area of the considered structure, for which the authors have developed several conceptual technical solutions.

New technical solutions

If it is necessary to increase the stability margin of the filled blocks in case of failure to fulfil the conditions of shear and/or overturning test, it is suggested to use additional blocks attached to the rear walls of the main blocks. The additional blocks are hollow reinforced concrete boxes with thin walls, filled with the same soil as the main blocks and the blockage space (Fig. 4, *a*).

Such a solution leads to an increase in the area of contact between the sole of the block level and the soil and, accordingly, to an increase in the resistance of the block level to shear. Increase of massiveness and displacement of the centre of gravity of the structure towards the slope leads to an increase in the stability margin of the block level for overturning

In order to involve the retained soil in the stability work of the wall, the authors have developed a conceptual technical and technological solution (Fig. 4), which makes it possible to unite the reinforced soil [11] with the blocks by introducing a flat pressing element that binds the soil reinforcing meshes with the rear walls of the blocks.

CONCLUSION AND DISCUSSION

As new structural solutions of retaining structures are developed and introduced into construction practice,

the approaches and methods of their design substantiation are developed and refined (due to the specifics of new structures), and the databases of trial operation experience are systematized. Modern solutions of combined retaining structures made of soil-filled thin-walled reinforced concrete blocks of various shapes are increasingly used in civil, industrial and hydraulic engineering construction.

In Russia, the construction of retaining walls made of hollow blocks and boxes filled with crushed stone is well illustrated by examples of objects in Primorsky Krai, where dozens of retaining structures of this design have been erected since the 2000s. The experience of operation of retaining structures of the considered design was systematized in the course of technical survey of typical characteristic objects carried out by DalNIIS RAASN. In the course of the survey the structures were inspected for damage and deterioration, defect lists, instrumental and geodetic measurements were carried out. As a result of the survey data analysis it was established that according to GOST 31937–2011 terminology the retaining structures are in normative and serviceable condition: the structures have proved themselves in climatic conditions of the south of the Far East and do not cause any complaints.

In the course of analyzing the results of calculations in terms of interaction between the elements of retaining structures of the considered type and the surrounding soil, the directions of development of structural solutions were determined in order to increase the overall stability of the structure by introducing additional structural elements, as well as for the possibility of increasing the height of the retaining wall through the formation of a combined solution combining soil-filled blocks (as elements of semi-gravity retaining walls) and retained soil reinforced with geogrids.

REFERENCES

1. Darevsky V.E., Romanov A.M. *Design of structures ensuring the stability of soil massifs (embankments, shore fortifications, retaining walls, protection from landslides, etc.)*. Moscow, Master, 2011; 595. EDN QNPJXX. (rus.).
2. Tetior A.N. *Lightweight retaining walls in transport construction*. Moscow, Transport, 1987; 79. (rus.).
3. Tsimbelman N.Ya., Chernova T.I., Ivannikov D.Iu., Kuzovatkin I.V., Babkin V.N. Application of soil-filled blocks in solving problems of shore protection. *Gidrotehnicheskoe Stroitel'stvo*. 2024; 3:23-29. EDN TQDNCC. (rus.).
4. Robbins B.A., Stephens I.J., Marcuson W.F. Geotechnical Engineering. *Encyclopedia of Geology*. 2021; 377-392. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.12508-4
5. Tsimbelman N.Ya. *Hope and support*. *Science and life*. 2009; 8:60-65. (rus.).
6. Tsimbelman N.Ya., Kuzovatkin I.V., Chernova T.I., Kotik Ya.I., Ivannikov D.Iu., Babkin V.N. Retaining walls made of infilled blocks in civil engineering. *Smart Geotechnics for Smart Societies*. 2023; 2600-2605. DOI: 10.1201/9781003299127-405
7. Grozdov V.T. *Technical inspection of building structures*. St. Petersburg, Publishing house KN+, 2000; 140. (rus.).
8. Volosukhin V.A., Dyba V.P., Yevtushenko S.I. *Calculation and design of retaining walls of hydraulic structures*. Moscow, ASV Publishing House, 2008; 95. EDN QNNCWN. (rus.).
9. Levachev S.N. *Shells in hydraulic engineering construction*. Moscow, Stroyizdat, 1978; 168. (rus.).
10. Tsagareli Z.V. *New lightweight structures of retaining walls*. Moscow, Stroyizdat, 1969; 207. (rus.).
11. Sokolov A.D. *Armogrunt systems of road bridges and transport interchanges: monograph*. St. Petersburg, Derzhava, 2013; 490. (rus.).

Received September 3, 2024.

Adopted in revised form on September 3, 2024.

Approved for publication on September 20, 2024.

B I O N O T E S: **Nikita Ya. Tsimbelman** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Department of Geoinformation Technologies, Polytechnic Institute (School); **Far Eastern Federal University (FEFU)**; E918 FEFU campus, 10 Ayaks settlement, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; tsimbelman.nya@dvfu.ru;

Dmitry Yu. Ivannikov — chief designer; **Corbet**; 1 Ramenskiy boulevard, Moscow, 119607, Russian Federation; d.ivannikov@korbetstroy.ru;

Igor V. Kuzovatkin — assistant of the Department of Geoinformation Technologies, Polytechnic Institute (School); **Far Eastern Federal University (FEFU)**; E918 FEFU campus, 10 Ayaks settlement, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; kuzovatkin_iv@dvfu.ru;

Tatyana I. Chernova — senior lecturer of the Department of Geoinformation Technologies, Polytechnic Institute (School); **Far Eastern Federal University (FEFU)**; E918 FEFU campus, 10 Ayaks settlement, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; leading specialist; **Branch of the Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation “Far Eastern Research, Design and Technological Institute for Construction”**; 14 Borodinskaya st., Vladivostok, 690033, Russian Federation; chernova.ti@dvfu.ru;

Valentin N. Babkin — general director; **Corbet**; 1 Ramenskiy boulevard, Moscow, 119607, Russian Federation; v.babkin@korbetstroy.ru;

Mariya V. Marchenko — master of the Department of Geoinformation Technologies, Polytechnic Institute (School); **Far Eastern Federal University (FEFU)**; E918 FEFU campus, 10 Ayaks settlement, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; marchenko.mv@dvfu.ru.

Contribution of the authors:

Nikita Ya. Tsimbelman — conceptualization, methodology.

Dmitry Yu. Ivannikov — engineering solutions, supervision of retaining construction monitoring.

Igor V. Kuzovatkin — numerical modeling.

Tatyana I. Chernova — numerical modeling.

Valentin N. Babkin — engineering solutions, supervision of retaining construction monitoring.

Mariya V. Marchenko — numerical modeling.

The authors declare no conflict of interest.