

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.12

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-3>

Оценка технического состояния набросных бун



Роман ТЛЯВЛИН

Роман Маратович Тлявлин

Научно-исследовательский центр «Морские берега», обособленное подразделение Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства, Сочи, Россия.

✉ TlyavlinRM@Tsnii.com.

АННОТАЦИЯ

Набросные бунны являются одним из типов сооружений инженерной защиты земляного полотна, которые в комплексе с волногасящим пляжем используются для защиты железнодорожного пути от волнового воздействия.

Целью данной работы является повышение безопасности эксплуатации железнодорожного пути на прижимных участках, подверженных волновому воздействию. При получении критериев оценки технического состояния набросных бун автор использовал методы экспериментальных исследований и обследования.

По результатам обследования набросных бун сделаны выводы о низком качестве строительства и определены основные типы дефектов как сооружений в целом, так и их

элементов. В волновом бассейне на гидроволновых моделях выполнены экспериментальные исследования по оценке пляжеудерживающей способности бун и их устойчивости к волновому воздействию. Предложено деление набросных бун на отдельные элементы по степени их весомости и получены критерии технического состояния по видам дефектов для каждого элемента рассматриваемого сооружения.

Полученные по результатам обследований и экспериментальных исследований критерии технического состояния позволяют выполнять оценку технического состояния набросных бун, что повысит безопасность эксплуатации железнодорожного пути.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, волновой бассейн, железнодорожный путь, земляное полотно, инженерная защита, обследование, набросная бунна, критерии технического состояния, экспериментальные исследования.

Для цитирования: Тлявлин Р. М. Оценка технического состояния набросных бун // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 3 (106). С. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-3>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Абразионные процессы на морских побережьях приводят к значительным материальным последствиям и снижают безопасность эксплуатации земляного полотна железных дорог.

В Российской Федерации железные дороги построены и эксплуатируются в условиях волновой абразии на прижимных участках вдоль побережий Черного моря, озера Байкал и острова Сахалин. Для защиты прижимных участков железных дорог от волнового воздействия применяются сооружения инженерной защиты (берегозащитные сооружения), в состав которых входят и каменнонабросные буны. Каменнонабросные буны относят к активным берегозащитным сооружениям, предназначенным для удержания пляжевого материала. Искусственный пляж является «идеальным» волногасящим сооружением, но на некоторых участках берега без пляжеудерживающих сооружений (бун) существовать не может, так как интенсивно размывается, вовлекаясь во вдольбереговой поток наносов.

В соответствии с СП 277.1325800.2016¹ буны подразделяются по проницаемости, по конструкции, по материалам, из которых они возводятся, и по способу пропуска наносов. По конструкции каменнонабросные буны могут строиться из штучного камня (рис. 1) или с ядром из более мелкого камня. При этом ядро должно быть защищено от размыва более крупным однородным штучным камнем с толщиной защитного слоя не менее трёх диаметров камня. Уклон откосов боковых граней каменнонабросных бун должен быть не круче чем 1:1,5, а головного участка – не круче чем 1:2. Корневая часть буны, как правило, примыкает к волноотбойной стене.

Автором по результатам экспериментальных исследований в волновом бассейне

¹ СП 277.1325800.2016 Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. Утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 963/пр от 16.12.2016 г. – М.: Технорма. 2017. – 58 с. [Электронный ресурс]: https://standartgost.ru/g/%D0%A1%D0%9F_277.1325800.2016. Доступ 24.05.2023.

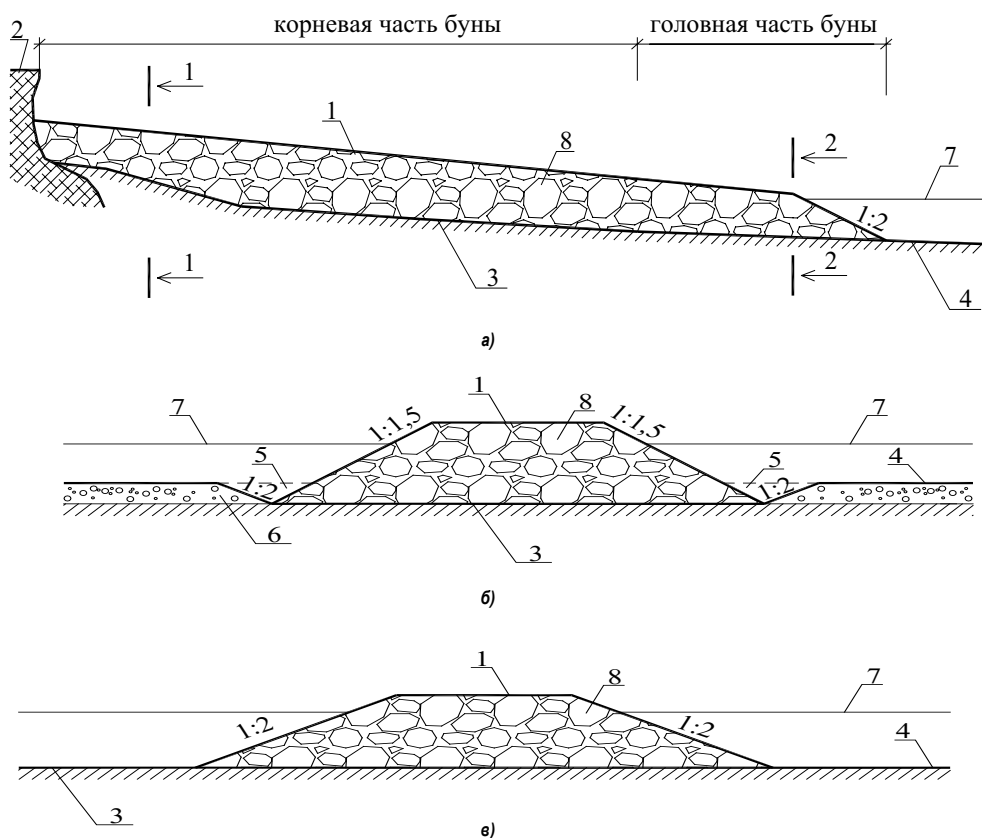


Рис. 1. Каменнонабросная бунa на скальных грунтах: а – продольное сечение; б – поперечное сечение 1–1; в – поперечное сечение 2–2; 1 – профиль буны; 2 – волноотбойная стена; 3 – скальное дно; 4 – существующее дно; 5 – обратная засыпка; 6 – пляжевый материал; 7 – уровень воды; 8 – штучный камень [выполнено автором].

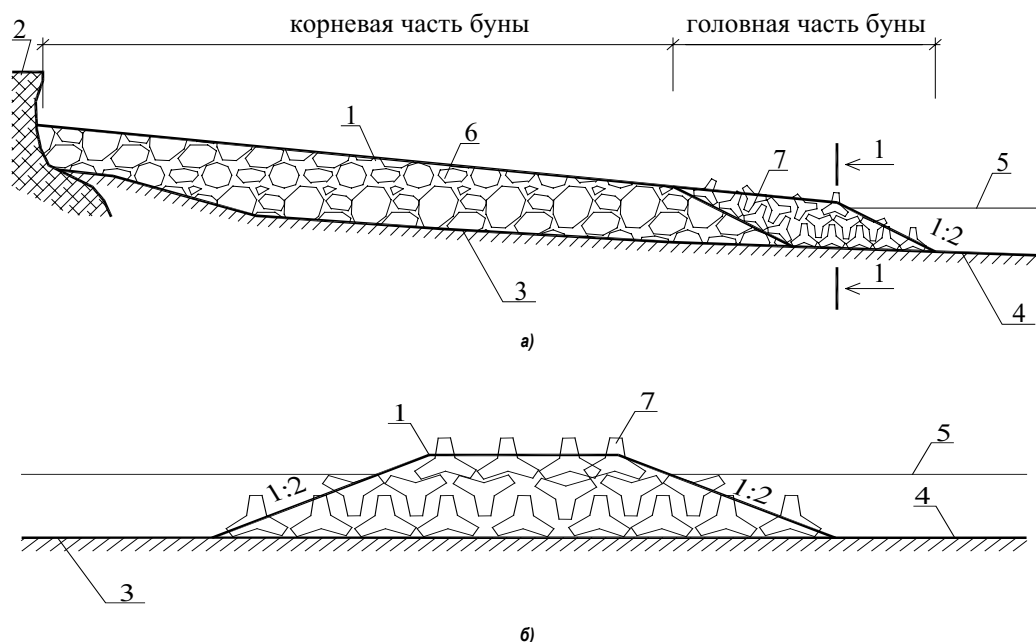


Рис. 2. Комбинированная набросная бунa: а – продольное сечение; б – поперечное сечение 1–1; 1 – профиль буны; 2 – волноотбойная стена; 3 – скальное дно; 4 – существующее дно; 5 – уровень воды; 6 – штучный камень; фасонные массивы (тетраподы) [выполнено автором].

не на экспериментальной базе Филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега» и натурного обследования на участке железной дороги Туапсе – Адлер [1] многократно фиксировались разрушения головных частей каменнонабросных бун.

В работе [2] отмечается, что одной из основных причин разрушения каменнонабросных бун является качество их строительства, что подтверждается и в работах [3, 4].

Для усиления головных частей набросных бун может выполняться наброска из тетраподов, как правило, массой 5,0 т. Такие набросные бунy называются комбинированными. Типовое решение по строительству комбинированных бун представлено на рис. 2.

Известна комбинированная конструкция набросной бунy, когда фасонными бетонными блоками, например тетраподами, усиливается не только головная часть бунy, но и боковые поверхности по контуру сооружения [5]. В данной работе для дополнительной устойчивости бетонные блоки предлагается при необходимости соединять канатами.

В работах [6, 7] описаны методы научного обоснования нормативных требова-

ний и выполнено обоснование необходимости разработки нормативного документа по использованию природного камня в гидротехническом строительстве. Приведён мировой опыт строительства гидротехнических сооружений из камня и подтверждена целесообразность его применения.

Целью описанного в статье исследования является повышение безопасности эксплуатации железнодорожного пути на прижимных участках, подверженных волновому воздействию. Рассматриваются вопросы разработки критериев для оценки технического состояния сооружений. К основным методам, на основании которых сделаны выводы при получении критериев технического состояния набросных бун, необходимо отнести: экспериментальные исследования в волновых бассейнах, выполненные на экспериментальной базе НИЦ «Морские берега», а также обследование и натурные наблюдения на участке железной дороги Туапсе – Адлер. Метод физического моделирования взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями является наиболее достоверным с точки зрения получения не только качественных, но и количественных результатов [8–12].



Рис. 3. Вид деформированных каменнонабросных бун [фото автора 07.02.2008].

При разработке ГОСТ Р 59241-2020² автором была предложена и опубликована методика оценки технического состояния сооружений инженерной защиты в условиях волнового воздействия [13–15], где подробно рассмотрены бетонные буны и волногасящие сооружения такие как: защитные волногасящие прикрития из бетонных блоков или природного камня, волногасящий пляж и набросные бермы. При этом вопросы оценки технического состояния набросных бун в работах [13–15] не рассматривались.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На участке железной дороги Туапсе – Адлер первые каменнонабросные буны были построены в 2005 году на 1933 км на перегоне Чемитоквадже – Якорная Щель в районе реки Осохой по проекту, выполненному ЗАО «Кавгипротранс». Для создания волногасящего галечного пляжа, способного погасить энергию штормовых волн, перед волноотбойной стеной проектом предусматривалась отсыпка галечного материала со средней крупностью 40–70 мм. В качестве пляжеудерживающих сооружений были применены набросные буны длиной 45 м по гребню из штучного камня. Отметки корневых частей набросных бун должны были составлять +2,6 м относительно БС (Балтийской системы высот), а головных – +0,8 м. Боковые грани бун выполнялись в виде откоса с уклоном 1:1,5 в корневой части, плавно переходящим

в уклон 1:2 в головной части. Головные части каменнонабросных бун своими откосами выходили на глубины, превышающие 3,5 м, где волны высотой более 3 м обрушались на них. Для обеспечения устойчивости каменнонабросных бун к волновому воздействию в проекте был принят штучный камень массой от 3 до 5 т каждый.

После строительства за первые три года штормами каменнонабросные буны были значительно деформированы (рис. 3).

По результатам обследования деформированных сооружений сделаны выводы, что причиной разрушения являлось некачественное строительство. К основным нарушениям необходимо отнести следующее: несоответствие геометрии построенных каменнонабросных бун проекту, не выдержаны уклоны откосов, занижены отметки в корневой и головной частях бун, ширина бун по гребню менее шести метров, крупность камня значительно ниже, предусмотренной в проекте.

Всего на участке железной дороги Туапсе – Адлер за период с 2005 по 2017 годы было построено 153 каменнонабросные буны, и уже к концу 2017 года 62,7 % требовали ремонта [1, 16, 17].

На рис. 4 показан процесс измерения крупности камня, применяемого при строительстве каменнонабросных бун. По результатам измерений получено, что средняя крупность камня в теле бун составляет от 0,5 до 1 м, а масса соответственно от 150 до 1300 кг. А в проекте было предусмотрено строительство из камня крупностью около 1,5 м и массой от 3 до 5 т.

Необходимо отметить ещё и несоответствие качества самого камня проекту, часто

² ГОСТ Р 59241-2020 Берегозащитные сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ. 2020. – 28 с. [Электронный ресурс] https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_59241-2020. Доступ 24.05.2023.





Рис. 4. Оценка крупности камня в каменнонабросных бунгах [фото автора 20.07.2007].

используется камень низкой прочности и с соотношением сторон более трёх. В соответствии с ГОСТ Р 70021-2022³ при строительстве берегозащитных сооружений необходимо применять однородный по составу нелещадный камень. Отношение максимального размера каждого камня к минимальному не должно превышать 3. Это требование обусловлено устойчивостью камня на откосе при волновом воздействии. Известны случаи, когда сооружение, построенное из камня плитчатой формы, разрушалось, хотя по размеру камень соответствовал расчётам.

Для проверки влияния лещадности камня на устойчивость бун к волновому воздействию была проведена серия экспериментов в среднем волновом бассейне на экспериментальной базе НИЦ «Морские берега».

Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с общеизвестной методикой, описанной в работах [8, 18–20], в основе которой заложена теория подобия. При уменьшении объекта моделирования должно обеспечиваться геометрическое подобие, подобие волнового режима, поверхностных и объёмных сил. Когда на модели и в натуре одна и та же жидкость (вода), нельзя одновременно обеспечить подобие по числам Рейнольдса и Фруда. Однако для решения многих задач и не требуется одновременное подобие по обоим параметрам [21].

Экспериментальные исследования выполнялись в масштабе 1:30. Расположение голов-

ных частей бун, подверженных наибольшему волновому воздействию, совпадало с линией последнего обрушения волн. Высота волн составляла 3,6 м, а средний период – 10,2 с. Взаимодействие исходного волнения с каменнонабросной буной представлено на рис. 5.

В результате проведения эксперимента получено, что камень плитчатой формы, отсыпанный в головной части буны, по сравнению с камнем, по форме приближенным к шару, менее устойчив к волновому воздействию, и сооружение, построенное из такого камня, разрушается. На рис. 6 показан вид модели без воды по окончании опыта. Головная часть каменнонабросной буны протяжённостью 22 м была разрушена. Это привело к тому, что пляжеудерживающая способность буны ухудшилась, и ширина пляжа с проектных 35 м уменьшилась до 15. Таким образом, основная функция буны – удержание пляжевого материала – не выполняется.

Учитывая опыт наблюдения за построенными набросными бунами и выполненные экспериментальные исследования по устойчивости набросных сооружений к волновому воздействию, сделан вывод, что основной группой элементов является наброска из камня или бетонных массивов, так как потеря устойчивости отдельных элементов наброски влияет на пляжеудерживающую способность набросной буны в целом.

Предлагается деление набросных бун на отдельные элементы по степени их весомости. В составе набросных бун можно выделить две основные группы элементов с соответствующими коэффициентами весомости b_i : наброска из камня или массивов $b_i = 80 \%$ и дно перед сооружением $b_i = 20 \%$. Пере-

³ ГОСТ Р 70021-2022 Камень природный для морских берегозащитных и оградительных сооружений. Технические условия. – М.: Российский институт стандартизации. 2022. – 10 с. [Электронный ресурс]: https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_70021-2022. Доступ 24.05.2023.



Рис. 5. Взаимодействие волн с каменнонабросной бунной [фото автора].



Рис. 6. Вид каменнонабросной бунной по окончании эксперимента [фото автора].

углубление дна, в том числе и локальное, может привести к увеличению волнового воздействия на сооружение и к потере устойчивости отдельных элементов наброски.

Для оценки технического состояния набросных сооружений по методике, описанной в [13–15], необходимо не только разделить набросные бунны на отдельные элементы по степени их весомости, но и получить критерии технического состояния по видам дефектов для каждого элемента рассматриваемого сооружения. В соответствии с [15] техническое состояние сооружения подразделяется на пять групп: от нормативного (исправного) состояния до предельного (аварийного). Коэффициент сохранности сооружения, определяемый по формуле 4.2², для нормативного (исправного) состояния составляет $a_n = 1$, а для предельного (аварийного) – $a_n = 0$.

Для определения коэффициента сохранности группы однородных элементов a_i по формуле 4.1² при выполнении комплексного обследования путём экспертной оценки необходимо назначить частное значение коэффициента сохранности отдельного элемента a_j . В случае фиксации локального переуглубления дна перед сооружением на глубину не более 0,2 м и на участке длиной не более 0,25 от диаметра камня или высоты бетонного массива присваивается работоспособное состояние элемента с $a_j = 1,0–0,8$. Предельное (аварийное) состояние с $a_j = 0,2–0$ присваивается при фиксации локального переуглубления на глубину более 0,5 м и на участке дна протяжённостью более 0,25 от диаметра камня или высоты бетонного массива.

Коэффициент сохранности отдельных элементов наброски из камня или бетонных





Рис. 7. Блок-схема для определения технического состояния и требуемых мероприятий по обеспечению работоспособности набросных бун [выполнено автором].

массивов необходимо назначать по видам дефектов: размывы и оползни откосов, отклонение массы и отклонение прочности камней или бетонных массивов в меньшую сторону. К работоспособному состоянию с $a_j = 1,0-0,8$ необходимо относить элементы сооружения, при которых отсутствуют размывы и оползни откосов наброски, масса элементов наброски отличается в меньшую сторону от проектной на величину не более 5 %, и отклонение прочности элемента отличается в меньшую сторону от проектной на величину не более 7 %. К предельному (аварийному) состоянию с $a_j = 0,2-0$ соответственно относят элементы сооружения с отклонением массы элементов более чем на 10 %, а с отклонением прочности – более чем на 20 % в меньшую от проектных величин сторону. Коэффициент сохранности для размыва и оползней откоса определяется экспертным путем в зависимости от их величины.

Выводы

На основании предложенных критериев построена блок-схема для определения технического состояния и требуемых мероприятий по обеспечению работоспособности набросных бун из камня и/или бетонных массивов (рис. 7).

Предложенные автором критерии для оценки технического состояния набросных бун включены в разработанный Научно-исследовательским центром «Морские берега» ГОСТ Р 59241–2020², это позволит повысить безопасность эксплуатации железнодорожного пути на участках, подверженных волновому воздействию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тлявлиня Г. В. Научно-исследовательские, обследовательские работы и инженерные изыскания в общем составе работ по комплексному обследованию береговой стороны железнодорожной линии Туапсе – Адлер Северо-Кавказской железной дороги. Этап 2. Проведение сплошного обследования со стороны моря берегозащитных и укрепительных сооружений железнодорожного пути, с одновременным обследованием волногасящей полосы. Отчет о НИР. – Сочи: Научно-исследовательский центр «Морские берега», 2018. – 327 с.
2. Макаров К. Н., Мигоренко А. В. Побережье Сочи грозит техногенная катастрофа // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 2 (157). – С. 34–36. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20328874>. Доступ 15.02.2023.
3. Тлявлин Р. М., Тлявлиня Г. В. Оценка состояния берегозащитных сооружений железнодорожного полотна на участке Туапсе – Адлер // Транспортное строительство. – 2017. – № 2. – С. 23–25. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30025626>. Доступ 16.02.2023.
4. Тлявлиня Г. В., Тлявлин Р. М. Проблемы проектирования и строительства берегозащитных сооружений на участке Туапсе-Адлер // Морские берега – эволюция, экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня

основания Рабочей группы «Морские берега»: в 2 томах, Туапсе, 01–06 октября 2012 года / Рабочая группа «Морские берега», Российский государственный гидрометеорологический университет. Том 2. – Туапсе: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом – Юг», 2012. – С. 217–220. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22684119> [метаданные]; https://www.sea-coasts.ru/_files/ugd/4fee8a_b709c4a52163447ea6c97877165329a5.pdf [полный текст материалов конференции]. Доступ 16.02.2023.

5. Явна В. А., Окост М. В., Хакиев З. Б. [и др.]. Патент на полезную модель № 151362 U1 Российская Федерация, МПК E02B 3/04, E02B 3/12. Комбинированная конструкция берегозащитного сооружения. № 2014127601/13: заявл. 07.07.2014; опубл. 10.04.2015. [Электронный ресурс]: <https://patents.google.com/patent/RU151362U1.ru>. Доступ 17.02.2023.

6. Тлявлиня Г. В. Методы научного обоснования нормативных требований в области инженерной защиты транспортных сооружений от волнового воздействия // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 2 (64). – С. 80–91. DOI: 10.52409/20731523_2023_2_80. EDN: YRHHNU.

7. Тлявлиня Г. В., Вялый Е. А. Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2022. – № 2. – С. 53–69. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49092614>. EDN: AEFXHI. Доступ 17.02.2023.

8. Frostick, L. E., McLelland, S. J., Mercer, T. G. Users guide to physical modelling and experimentation. London: Taylor & Francis Group, 2011, 272 p. DOI: 10.1201/b11335 [ограниченный доступ]. ISBN 9780415609128.

9. Santamaría, M., Diaz-Carrasco, P., Moragues, M. V., Clavero, M., Losada, M. Uncertainties of the actual engineering formulas for coastal protection slopes. The dimensional analysis and experimental method. Proceedings of the 39th IAHR World Congress, 2022. DOI: 10.3850/IAHR-39WC252171192022900.

10. Clavero, M., Chiapponi, L., Longo, S., Losada, M. A. Laboratory Tests on Wind-Wave Generation, Interaction and Breaking Processes. In: Chastre, C., Neves, J., Ribeiro, D., Neves, M. G., Faria, P. (eds) Advances on Testing and Experimentation in Civil Engineering. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-05875-2_11 [ограниченный доступ].

11. Ranasinghe, D. P. L., Kumara, I. G. I. K., Engiliyage, N. L., Raveenthiran, K. Effectiveness of Dummy Water Levels in Physical Models to Optimize the Toe and the Crest Level. In: Proc. 8th International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science Dec. 9th–12th, 2020, Zhoushan, China, pp. 42–51. [Электронный ресурс]: <https://www.iahr.org/library/infor?pid=8784>. Доступ 24.05.2023. ISBN: 978-90-824846-5-6.

12. Vyaly, E., Makarov, K., Tlyavlina, G. Permeable Constructions of Artificial Islands. Power Technology and Engineering, 2022, Vol. 56, Iss. 1, pp. 52–58. DOI: 10.1007/s10749-023-01470-7 [ограниченный доступ].

13. Тлявлин Р. М. Критерии технического состояния бетонных бун // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (57). – С. 73–82. DOI 10.20291/2079-0392-2023-1-73-82.

14. Тлявлин Р. М. Проблемы обследования и мониторинга сооружений инженерной защиты береговой зоны // Олимпийское наследие и крупномасштабные мероприятия: влияние на экономику, экологию и социокультурную сферу принимающих дестинаций: Материалы XI Международной науч.-практ. конференции (г. Сочи, 14–15 ноября 2019 г.). – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ», 2019. – С. 244–248. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41552411> [метаданные]. EDN: T S X M Y U. https://elibrary.ru/download/elibrary_41552215_50967690.pdf [полный текст материалов конференции]. Доступ 22.05.2023.

15. Тлявлин Р. М. Оценка технического состояния волногасящих сооружений инженерной защиты земляного полотна от волнового воздействия // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 2. – С. 198–209. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-2-198-209.

16. Ашпиз Е. С. Комплексное обследование береговой стороны железнодорожной линии Туапсе – Адлер Северо-Кавказской железной дороги. Этап 2. Проведение сплошного обследования со стороны моря берегозащитных и укрепительных сооружений железнодорожного пути, с одновременным обследованием волногасящей полосы. Книга 1. Результаты обследования на участке Туапсе – Шепси – Водопадный – Лазаревская. 1885 км ПК6+00–1914 км ПК0+00. Технический отчет. – М.: Некоммерческое партнерство по поддержке научной и научно-технической деятельности в Московском государственном университете путей сообщения НП «Наука-МГУПС», 2018. – 335 с.

17. Ашпиз Е. С. Комплексное обследование береговой стороны железнодорожной линии Туапсе – Адлер Северо-Кавказской железной дороги. Этап 2. Проведение сплошного обследования со стороны моря берегозащитных и укрепительных сооружений железнодорожного пути, с одновременным обследованием волногасящей полосы. Книга 2. Результаты обследования на участке Лазаревская – Чемитоквадже – Якорная Щель – Лоо. 1916 км ПК3+00–1947 км ПК0+00. Технический отчет. – М.: Некоммерческое партнерство по поддержке научной и научно-технической деятельности в Московском государственном университете путей сообщения НП «Наука-МГУПС», 2018. – 275 с.

18. Шарп Д. Д. Гидравлическое моделирование: Пер. с англ. Л. А. Яскина. – М.: Мир, 1984. – 280 с.

19. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений / Под ред. В. С. Кнороза. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1967. – 236 с.

20. Тлявлиня Г. В. Лабораторные и натурные исследования в обеспечение развития нормативной базы и безопасности транспортных сооружений в условиях волнового воздействия // Транспортные сооружения. – 2022. – Т. 9. – № 4. DOI 10.15862/10SATS422.

21. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости: Пер. с англ. / Под ред. чл.-кор. АН СССР О. Ф. Васильева. – М.: Энергия, 1971. – 480 с. ●

Информация об авторе:

Тлявлин Роман Маратович – кандидат технических наук, руководитель Научно-исследовательского центра «Морские берега» – обособленного подразделения Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства, Сочи, Россия, TlyavlinRM@Tsiis.com.

Статья поступила в редакцию 03.03.2023, одобрена после рецензирования 25.06.2023, принята к публикации 28.06.2023.

