

Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве

Г. В. Тлявлина, Е. А. Вялый *

ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега», Сочи, Россия

** e-mail: VyalyiEA@Tsniiis.com*

Аннотация

Работа посвящена обоснованию целесообразности применения природного камня в морском гидротехническом строительстве для целей берегозащиты и возведения оградительных сооружений. Выполнен обзор российской и мировой практики применения природного камня в строительстве морских сооружений. Проведен анализ российской и зарубежной научно-технической и нормативной базы, затрагивающей вопрос использования природного камня в морском гидротехническом строительстве. Выполнено технико-экономическое обоснование необходимости разработки технических требований, предъявляемых к природному камню. Выполнена краткая оценка социально-экономической и экологической эффективности применения природного камня в морском гидротехническом строительстве, разработаны критерии контроля соответствия природного камня установленным требованиям. При этом использованы актуальные результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области изучения свойств строительных материалов и конструкций, определения нормируемых параметров и совершенствования конструктивных решений, отвечающих требованиям безопасности сооружений. Учен накопленный отечественный и зарубежный опыт применения строительных материалов и технологий, опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений, учтены изменения в законодательстве Российской Федерации. Определена роль природного камня в качестве строительного материала для сооружений в морских акваториях, обозначены его ключевые преимущества перед другими материалами, из которых особого внимания заслуживают экологичность, универсальность и простота технологий строительства.

Ключевые слова: берегоукрепление, буна, волнолом, гидротехническое строительство, оградительные сооружения, природный камень, экологичность

Благодарности: представленные результаты получены при выполнении работ по государственному заданию на выполнение услуг (работ), в рамках мероприятий по совершенствованию технического регулирования в строительной сфере Государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» и в соответствии с Программой разработки национальных стандартов на 2020 г. (1.13.465-1.284.20).

© Тлявлина Г. В., Вялый Е. А., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Тлявлиная Г. В., Вялый Е. А. Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 53–69. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-53-69

The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction

G. V. Tlyavlina, E. A. Vyalyi *

Research center “Sea Coasts” (branch of JSC TsNIITS), Sochi, Russia

** e-mail: VyalyiEA@Tsniiis.com*

Abstract

The paper substantiates the feasibility of using natural stone in offshore hydraulic engineering for the purposes of coast protection and construction of protective structures. A review of the Russian and world practice of using natural stone in the construction of offshore structures was made. Russian and foreign scientific, technical and regulatory framework concerning the use of natural stone in marine hydraulic engineering was analyzed. A feasibility study for the need to develop technical requirements for natural stone was completed. A brief assessment of the social, economic and environmental efficiency of the use of natural stone in offshore hydrotechnical construction was carried out, a methodology and criteria for monitoring the compliance of natural stone with the established requirements were developed. At the same time, the actual results of research and development work in the field of studying the properties of building materials and structures, determining the normalized parameters and improving design solutions that meet the safety requirements of structures were used. The accumulated domestic and foreign experience in the use of building materials and technologies, experience in the design, construction and operation of facilities, changes in the legal framework of the Russian Federation are taken into account. The role of natural stone as a building material for structures in marine areas is defined and its key advantages over other materials are identified: environmental friendliness, versatility and simplicity of construction technologies.

Keywords: coast protection, groin, breakwater, hydraulic engineering, protecting structure, natural stone, environmental friendliness

Acknowledgements: the research results were obtained during performance of work under state assignment on topic “Providing affordable and comfortable housing and utilities for citizens of the Russian Federation” and in accordance with the Program for the development of national standards for 2020 (1.13.465-1.284.20).

For citation: Tlyavlina, G.V. and Vyalyi, E.A., 2022. The Use of Natural Stone in Marine Hydraulic Engineering Construction. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 53–69. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-53-69

Введение

Несмотря на повсеместное применение природного камня в морском гидротехническом строительстве, а также упоминание природного камня в ряде отечественных и зарубежных нормативных документов, в настоящее время нет формализованных технических требований, предъявляемых к природному камню для строительства в морских акваториях.

Целью исследования является обоснование целесообразности разработки технических условий для природного камня, применяемого в гидротехническом строительстве для целей берегозащиты и возведения оградительных сооружений, а также методики проверки соответствия природного камня установленным требованиям.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи:

- выполнить обзор российской и мировой практики применения природного камня в строительстве сооружений в морских акваториях;
- проанализировать российскую и зарубежную научно-техническую и нормативную базу, затрагивающую вопрос использования природного камня в морском гидротехническом строительстве, результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области изучения свойств строительных материалов и конструкций, определения нормируемых параметров и совершенствования конструктивных решений, отвечающих требованиям безопасности сооружений;
- обосновать целесообразность применения природного камня в морском гидротехническом строительстве для целей берегозащиты и возведения оградительных сооружений, определение его ключевых преимуществ перед другими материалами;
- выполнить технико-экономическое обоснование необходимости разработки технических требований, предъявляемых к природному камню;
- оценить социально-экономическую и экологическую эффективность применения природного камня в морском гидротехническом строительстве.

Анализ российской и мировой практики применения природного камня в морском гидротехническом строительстве

Как правило, за рубежом (Англия, Нидерланды, Франция, Италия, Кипр, США, страны Азии) для защиты морского берега строят каменнонабросные берегоукрепительные сооружения. Широкое распространение в этих регионах получили каменнонабросные пляжеудерживающие буны и волноломы. Кроме того, для защиты берегов в рекреационных зонах широко применяются каменнонабросные бермы. Каменнонабросные сооружения, в сравнении с бетонными, лучше сочетаются с природным береговым ландшафтом и предпочтительнее с экологической точки зрения. Следует отметить, что в процессе всего срока их эксплуатации выполняется мониторинг сооружений и береговых процессов. При выполнении литодинамических исследований для целей проектирования морских берегозащитных и оградительных сооружений рекомендуется рассматривать не локальный аварийный участок берега, а всю литодинамическую систему в целом.

В зарубежной практике также достаточно часто применяются массивные волноотбойные стены, воспринимающие нагрузки от волн,

разрушающихся непосредственно на конструкции. В США устойчивость таких стен в случае размыва грунтов основания, как правило, обеспечивается свайным фундаментом и стальным шпунтовым экраном, непроницаемым для грунта, залегающего в основании стены. Основание волноотбойной стены часто усиливается отстойкой из крупного камня, реже – защитным волногасящим пляжем¹⁾. В азиатских странах (Япония, Тайвань) для защиты волноотбойных стен применяют волногасящие покрытия (фартуки) из камня или фасонных массивов [1, 2].

В качестве более эффективного, по сравнению со стенами, сооружения, не оказывающего разрушительного эффекта на расположенный перед ними пляж, используются откосные сооружения из одного или нескольких слоев камня (рис. 1).

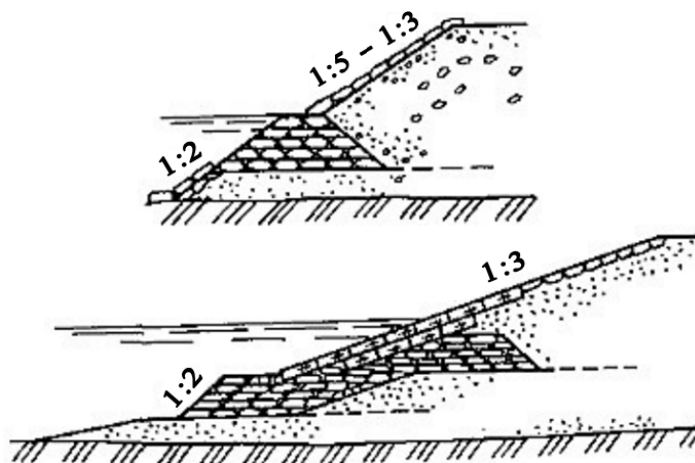


Рис. 1. Конструкции откосных береговых укреплений с применением природного камня

Fig. 1. Design of sloping revetments using natural stone

При строительстве откосных берегозащитных сооружений за рубежом (Голландия, Англия, США, Япония) укрепления могут выполняться из камня в виде наброски или укладки по подготовке из карьерной массы разнородной крупности. Роль обратного фильтра здесь могут выполнять геосинтетические материалы. Откосные сооружения из природного камня допускают значительные осадки без ущерба для своего функционального назначения.

В настоящее время в берегозащитном строительстве за рубежом также широко применяются волноломы. Они различаются по строительным материалам, из которых возводятся, и по конструкции поперечного сечения. Материал, используемый для строительства волноломов, – природный камень и бетон [3, 4]. Примеры защиты берега при помощи откосных береговых укреплений и волноломов представлены на рис. 2.

¹⁾ Coastal Engineering Manual : [in 6 vol.]. Washington, DC : U.S. Army Corps of Engineers, 2002. (Engineer Manual 1110-2-1100).

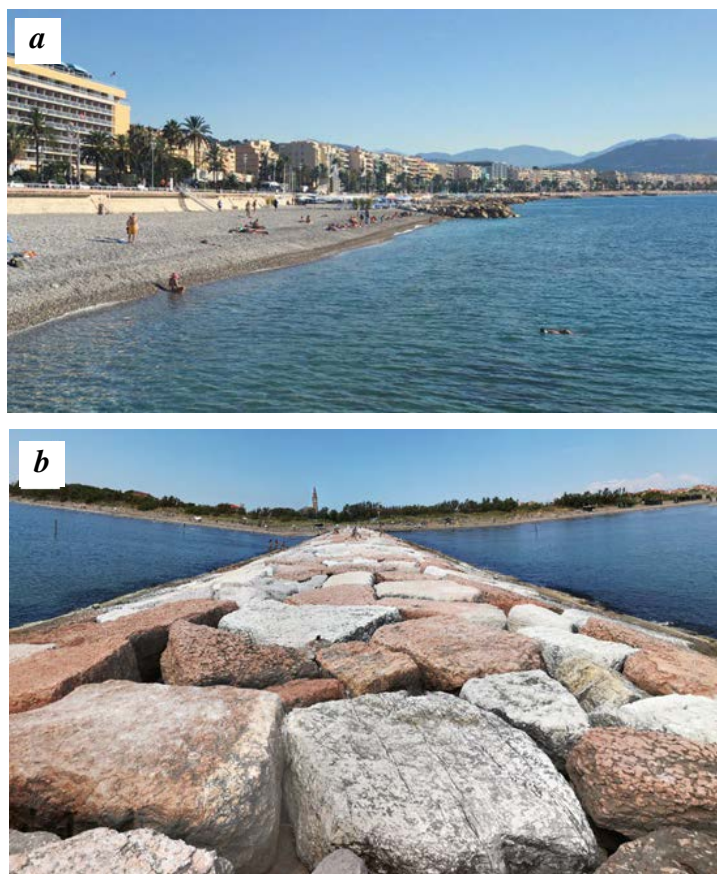


Р и с. 2. Примеры защиты берега при помощи природного камня: *a* – откосные береговые укрепления, штат Орегон (США); *b* – откосные береговые укрепления из камня, Кипр; *c* – волноломы на Адриатическом побережье Италии

Fig. 2. Examples of coastal protection using natural stone: *a* – stone sloping revetments, Oregon (the USA); *b* – stone sloping revetments, Cyprus; *c* – breakwaters on the Italian Adriatic coast

Буны используются чаще всего для удержания пляжеобразующего материала (песка или гальки) от вдольберегового перемещения и для аккумуляции материала в межбунных пространствах. Для строительства бун обычно используют камень, реже – бетон. Лес и сталь на берегах с галечными наносами не используют. В США на скальных грунтах предпочтение чаще всего отдается бунам гравитационного типа из каменной наброски или в виде ячеек, выполненных из стального шпунта с каменным или песчаным наполнителем и укладкой поверху монолитной бетонной плиты или защитного покрытия из природного камня.

Каменнонабросные буны при необходимости обеспечения их непроницаемости (на берегах с песчаными наносами) выполняют с ядром из карьерного материала, содержащего значительное количество мелких фракций. В ряде стран Европы буны чаще всего устраивают в каменнонабросном исполнении (см. рис. 3).



Р и с . 3 . Каменнонабросные буны: *a* – волноотбойные стены, защищенные пляжем с бунами, Ницца (Франция); *b* – буны в Венеции (Италия)

Fig. 3. Rubble-mound groins: *a* – seawalls protected by a beach with rubble-mound groins, Nice (France); *b* – rubble-mound groins Venice (Italy)

В российской практике строительства берегозащитных гидротехнических сооружений (ГТС) наброска из природного камня является наиболее простым, но в то же время достаточно надежным способом защиты откоса от размыва. Сейчас такой тип сооружений применяется все чаще, поскольку при проектировании берегозащитных мероприятий большое внимание уделяется возможности использования берега в рекреационных целях и экологической составляющей проекта (созданию комфортной среды обитания для морской фауны).

Для защиты участков морского берега, не используемых в рекреационных целях, наиболее эффективно использование каменнонабросных бERM. Этот способ укрепления очень распространен благодаря малой трудоемкости, простоте ремонта и восстановления. Его недостаток – водопроницаемость, обуславливающая необходимость защиты насыпного грунта от оплывания и суффозии, например с помощью геотекстиля. Примеры применения каменнонабросных берегозащитных сооружений представлены на рис. 4, а.

В российском гидротехническом строительстве широко распространена практика защиты берегов от размыва с помощью искусственных пляжей под защитой бун и волноломов, в том числе каменнонабросных. Зарубежный и отечественный опыт проектирования и строительства морских берегоукрепительных ГТС показывает, что пляж является наилучшим волногасящим сооружением для защиты берегов от размыва. Защита пляжей каменнонабросными сооружениями, в свою очередь, считается оптимальным способом защиты берега благодаря экологичности, возможности совмещения берегозащитной и рекреационной функций, а также возможности сохранения природного ландшафта. При соблюдении требований проекта и хорошем качестве кладки сооружения выглядят весьма эстетично.

Следует отметить отсутствие запрета на строительство сооружений из природного камня в рекреационных зонах. На таких пляжах, как правило, устанавливаются таблички с предупреждением об опасности нахождения на каменнонабросных сооружениях. Пример использования набросных берегозащитных сооружений из природного камня на черноморском побережье России показан на рис. 4, б. Железобетонные плиты поверху бун позволяют увеличить доступность сооружений для отдыхающих, в том числе для маломобильных групп населения.

На рис. 4, с также показаны примеры полуразрушенных каменнонабросных бун на участке берега от г. Туапсе до г. Сочи. Линия уреза воды проходит по деформированным головным частям таких бун. Тем не менее даже в полуразрушенном состоянии буны выполняют свою функцию: удерживают пляж.

Анализ российской и зарубежной научно-технической и нормативной базы по гидротехническому строительству с применением природного камня

Применяемая в России методика расчета набросных укреплений включает определение требуемой крупности однородного камня или деформации укрепления при использовании неоднородного по крупности материала заданного гранулометрического состава, а также необходимой толщины укрепления.



Р и с . 4 . Применение природного камня в российском гидротехническом строительстве: *a* – каменнонабросное берегоукрепление на правом берегу р. Нечеспсухо в пос. Новомихайловский Краснодарского края; *b* – каменнонабросная буна с траверсами в с. Небуг Краснодарского края; *c* – полуразрушенные каменнонабросные буны на участке Туапсе – Сочи

Fig. 4. Use of natural stone in Russian hydrotechnical construction: *a* – rubble-mound revetment at the right bank of the Nechespsukho River in the village of Novomikhailovsky (the Krasnodar Region); *b* – a rubble-mound groin with traverses in the village of Nebug (the Krasnodar Region); *c* – partly ruined rubble-mound groins at the Tuapse – Sochi section

Проектирование морских берегозащитных и оградительных сооружений основывается прежде всего на правильном учете природных геоморфологических, литодинамических и гидрологических условий. Учет таких условий рассмотрен в основном нормативном документе, регламентирующем проектирование морских берегозащитных ГТС в РФ, – СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования». Этот документ разработан для бесприливных морей (а также озер и водохранилищ). В нем приводятся примерные области и условия применения бун (без указания материала сооружений), подводных волноломов (без указания материала сооружений), волногасящих берм и прикрытий из крупного камня. Этими условиями необходимо руководствоваться при первоначальном выборе типа сооружений. Приводятся рекомендации по выбору типа пляжеудерживающих сооружений в зависимости от типа берега, очертания береговой линии в плане, гидро- и литодинамического режима прибрежной зоны моря, геолого-геоморфологических характеристик берегового склона и др. Приводятся схемы формирования плановых очертаний и сечений искусственных пляжей в комплексе с пляжеудерживающими сооружениями.

Документ также содержит требования к весу и размеру камней в наброске откосных береговых укреплений. Выбор конструкции бун в документе не регламентирован (применение той или иной конструкции бун должно определяться надлежащим технико-экономическим обоснованием).

В документе рекомендуется отдавать предпочтение волноломам распластанного профиля каменнаобрисной конструкции при создании искусственных пляжей под защитой подводных волноломов на побережьях, используемых в качестве зон отдыха. Кроме того, приводятся требования к расчетному весу камней в буне.

Важно отметить, что из российских морей к бесприливному (со слабо выраженными приливами) относятся Черное, Азовское, Каспийское и Балтийское моря. Моря Арктики (Баренцево, Карское, море Лаптевых и Восточно-Сибирское), дальневосточные моря (Берингово, Охотское и Японское), а также Белое море являются приливными. Игнорирование приливно-отливных явлений или недостаточное научное обоснование проектных решений в таких районах может привести к нарушению целостности или к полному разрушению сооружений [5]. В связи с этим в дополнение к СП 277.1325800.2016 был разработан СП 416.1325800.2018 «Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования». В документе приводится рекомендация отдавать предпочтение проницаемым (например, каменнаобрисным) волноломам при создании искусственных пляжей под защитой подводных волноломов на побережьях, применяемых для зон отдыха. Для возведения откосных береговых укреплений и волногасящих прикрытий согласно ВСН 5-84/ММФ «Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве» рекомендуется применять природный камень. В СП 416.1325800.2018 приведена формула для определения минимальной массы фасонных блоков (массивов) или крупных каменных глыб для возведения наружной части кладки или наброски откосных береговых укреплений и волногасящих прикрытий, подвергающейся воздействию разбивающихся на ней волн. Приливно-отливные явления могут

оказывать значительное влияние на сроки возведения ГТС, что еще раз подчеркивает необходимость тщательного рассмотрения и правильного учета всех природных явлений на участке строительства. То же касается и ГТС, возводимых в арктических морях, где помимо приливно-отливных явлений строительство осложняется такими особенностями природных условий, как высокие ледовые нагрузки, а также очень малая продолжительность навигационного периода.

В СП 38.13330.2018 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» приводится требование учитывать шероховатость поверхности откоса и фильтрационные свойства материала откоса при определении высоты наката волн на откос. Требования к весу камня приводятся в главе 5, которые на сегодняшний день подлежат применению в соответствии с Перечнем национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденного постановлением Правительства РФ. Приводятся формулы, по которым допускается определять расчетную массу отдельного элемента при креплении откоса рваным камнем. При расчете по данным формулам из характеристик самого камня учитывается только его плотность.

В СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования» приводятся условия применения берегозащитных сооружений, в том числе бун, подводных волноломов, волногасящих бERM и прикритий из крупного камня. В документе приводятся рекомендации по сооружению в основании пляжа подводного банкета или подводного волнолома из каменной наброски или другой конструкции в случае, если расчетный профиль относительного динамического равновесия создаваемого искусственного пляжа не сопрягается с естественным подводным склоном вследствие большой крутизны последнего. В документе также рекомендуется отдавать предпочтение проницаемым (например, каменнонабросным) волноломам при создании искусственных пляжей под защитой подводных волноломов на побережьях, применяемых для зон отдыха. В качестве наиболее эффективного защитного покрытия морских откосов оградительных дамб от разрушения при воздействии волнения, льда, течений и атмосферных осадков приводится откосно-каменное покрытие, которое значительно гасит энергию волн и уменьшает высоту наката. В документе каменные наброски и отмостки, в том числе из горной массы, рассматриваются как один из рекомендуемых типов откосных береговых укреплений. Рекомендуется применение бун гравитационного типа (в том числе и каменнонабросных бун) для удержания искусственно отсыпанного пляжа.

Согласно документу, для возведения каменнонабросных бун и защитных покрытий должен использоваться однородный по составу штучный камень, представленный осадочными, кристаллическими или метаморфическими породами с прочностью в водонасыщенном состоянии на сжатие не менее $6 \cdot 10^7$ Па. Для определения минимальной массы камня для строитель-

ства каменноабросных сооружений дается ссылка на приложение В к СП 38.13330.2018.

В СНиП 3.07.02-87 «Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения» приводятся требования к производству работ по строительству новых, реконструкции и расширению действующих морских и речных транспортных ГТС, в том числе из природного камня (глава 4). В качестве требований, предъявляемых к качеству природного камня, дается указание использовать при строительстве каменные материалы, соответствующие ВСН 5-84/ММФ.

«Методические рекомендации по проектированию и строительству гибких железобетонных покрытий откосов транспортных сооружений»²⁾ используются при проектировании волногасящих сооружений для защиты откосов транспортных сооружений и склонов берегов рек от действия водного потока. В документе приводятся некоторые требования к размеру природного камня в конкретных конструкциях, однако область применения документа не позволяет использовать его положения для целей данной работы.

РД 31.31.55-93 «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений» как требование к качеству камня содержит ссылку на ВСН 5-84/ММФ: «Камень для устройства разгрузочных призм, постелей под причальными сооружениями и образования подпричальных откосов должен удовлетворять требованиям ВСН-5-84/Минморфлот».

Ведомственный документ ВСН 5-84/ММФ, на который даются ссылки в СП 416.1325800.2018, СНиП 3.07.02-87 и РД 31.31.55-93, устанавливает требования к природному камню и распространяется на проектирование и строительство морских ГТС (причальных, оградительных, берегоукрепительных и др.), располагаемых на берегах морей, лиманов, лагун или в устьях рек. В документе установлены технические требования к качеству природного камня (определение временного сопротивления сжатию породы в сухом и водонасыщенном состояниях, коэффициента размягчаемости, морозостойкости, плотности сухой породы, петрографического состава, водопоглощения, плотности частиц породы, содержания SO₃). Приведены рекомендации по величине отношения наибольшего размера рваного камня к наименьшему (для оградительных и берегоукрепительных сооружений – не более 3, для всех остальных – не более 4).

Международные, строго формализованные нормативные документы в области берегозащиты (*Design Manuals* или *Codes*) не разрабатываются, поскольку проектирование берегоукреплений здесь основывается на накопленном опыте и оперативной инженерной оценке [6]. За рубежом в процессе проектирования пользуются руководящими принципами, закрепленными в специальных руководствах (*Design Guidelines*). Такие руководства допускают некоторую свободу применения и разрабатываются с привлечением специализированных научных организаций.

Британский институт стандартов (*BSI*) в 1984 г. разработал и выпустил Свод правил по морским сооружениям (*Maritime structures. Code of practice*

²⁾ Методические рекомендации по проектированию и строительству гибких железобетонных покрытий откосов транспортных сооружений. М. : ЦНИИС, 1984. 55 с.

for general criteria)³⁾. В документе рассматривается вопрос применения камня в качестве материала для возведения берегозащитных сооружений. В том числе приводятся положения относительно контроля качества камня и спецификации по размеру фракций. Тем не менее документ является справочным, и его применение за рубежом носит рекомендательный характер.

В Великобритании также действует документ «Применение камня в гидротехническом строительстве» (*The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering*)⁴⁾. В нем, помимо указаний для проектирования, строительства и мониторинга состояния сооружений из природного камня, приводится набор требований и к самому камню, обзор свойств и функций карьерного камня, прогноз качества, долговечности и срока службы породы, спецификация камня по размеру, тестирование и измерение, контроль качества и др.

В США, где вопросами берегозащиты занимается Инженерный корпус армии США, до 2002 г. применялось «Руководство по защите берегов» (*Shore Protection Manual*) от 1984 г. Это руководство широко использовалось во всем мире. В 2002 г. документ переиздан с учетом современных европейских достижений в области берегозащиты под названием «Руководство по гидротехнике» (*Coastal Engineering Manual*). Технических требований к природному камню в документе не приводится.

Требования к природному камню, используемому при строительстве каменнабросных сооружений, содержатся в *ISO 21650:2007 Actions from waves and currents on coastal structures*. В частности, в документе говорится, что камень для строительства волноломов должен обладать твердостью и иметь достаточное сопротивление разрушению, поскольку подвержен истиранию и дроблению.

В документе также приводятся расчетные положения для определения количественных характеристик сооружений из камня. Приведена общая формула для расчета минимальной массы отдельных элементов наброски (вероятность разрушения камня, подверженного истиранию и дроблению, характеризуется энергией удара волны и энергией, необходимой для разрушения камня). Формула учитывает плотность камня, его размеры, высоту волн. Масса отдельного элемента наброски учитывается при расчетах устойчивости сооружения и при определении его профиля динамического равновесия. При вероятностном анализе долговечности конструкций, подверженных воздействию волн и течений, учитываются параметры прочности материала, а также коэффициент трения на границе раздела различных материалов. Уклон каменнабросных волноломов – это функция глубины и гранулометрического состава материала наброски.

Испанский документ *ROM 0.5-94 Geotechnical Recommendations for the Design of Maritime and Harbour Works*⁵⁾ содержит рекомендации по выбору размеров камня, который может быть получен на конкретном карьере,

³⁾ BS 6349-1:2000 “Maritime structures: Code of practice for general criteria”. London : BSI, 2000. 254 p.

⁴⁾ The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering. London : C683, CIRIA, 2007. 1304 p.

⁵⁾ ROM 0.5-94 “Geotechnical Recommendations for the Design of Maritime and Harbour Works”. Puertos del Estado, 2005. 430 p. URL: [https://www.puertos.es/es-es/_layouts/download.aspx?SourceUrl=/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.5-94%20\(EN\).pdf](https://www.puertos.es/es-es/_layouts/download.aspx?SourceUrl=/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.5-94%20(EN).pdf) (date of access: 10.06.2022).

а также по проверке его проницаемости и механических свойств (прочности и деформируемости).

Согласно документу, в случае если рядом с участком строительства имеется только низкокачественная порода (прочность на сжатие менее 50 МПа или удельный вес менее 26 кН/м³), область ее использования должна быть ограничена ядром волнолома или самое большее промежуточным слоем. В таких случаях внешний слой наброски должен быть построен из элементов другого типа.

Долговечность может быть косвенно определена с помощью лабораторных испытаний с последующим сопоставлением полученных результатов с рекомендуемыми справочными значениями соответствующих параметров в каждой зоне волнолома. Качество породы в лаборатории также должно проверяться при выборе заполнителя для бетона. В документе также приведены рекомендации по определению сопротивления каменной наброски сдвигающему напряжению, его проницаемости и деформируемости.

Вопрос применения природного камня в морском гидротехническом строительстве рассмотрен в публикациях одного из авторов настоящей работы [7, 8]. В публикации предложены качественные и количественные критерии применимости некоторых типов конструкций искусственных островов в морских акваториях. В том числе рассмотрены сооружения откосного профиля с креплением откосов природным камнем. Важно отметить, что при устройстве откосов естественного заложения (песчаных или галечных, не укрепленных камнем) часто прогнозируются или наблюдаются значительные деформации откосов вплоть до полного их размыва [9, 10].

Крепление откосов природным камнем рекомендовано при достаточном технико-экономическом обосновании: как правило, такое крепление позволяет увеличить крутизну откосов и, соответственно, снизить материалоемкость и стоимость строительства. Целесообразность применения упорных элементов подводного банкета, например из крупного камня, определяется уменьшением объема отсыпаемого в тело банкета камня. В то же время подчеркивается, что экономическая целесообразность строительства откосных сооружений искусственного острова зависит в первую очередь от глубины акватории в месте строительства. При существенных глубинах, как правило, более целесообразным представляется применение вертикальных сооружений. Кроме того, необходимо предусматривать периодические мероприятия по восполнению потерь пляжевого материала по результатам расчетов и (или) моделирования.

Технические требования к характеристикам природного камня

Природный камень, наряду с фасонными массивами (такими как гексабиты, тетраподы и др.), относится к наиболее распространенным типам элементов, применяемым для строительства берегоукрепительных и оградительных ГТС. Камень, как и фасонные массивы, используют при строительстве волногасящих покрытий (берм) из камня, предназначенных для защиты от волновых воздействий (ударов, всплесков и подмыва) естественных береговых уступов (в том числе откосов дюн), откосных укрепле-

ний, волноотбойных стен и других объектов, расположенных в прибойной и приурезовой зонах моря.

Прикрытия из камня на участках, сложенных неразмываемыми грунтами и не используемых для курортных целей, по эффективности волногашения эквивалентны пляжам, но в отличие от последних обладают большей устойчивостью и практически не требуют периодических пополнений объемов.

По опыту проектирования (в том числе с применением методов физического моделирования), строительства и эксплуатации волногасящих прикрытий, среди основных факторов, определяющих волногасящую способность, выделяют пористость наброски, форму камня, крутизну откоса с морской стороны и отметку верха наброски.

Камень и щебень из камня – основной материал для строительства волногасящих берегозащитных и оградительных сооружений. В последние десятилетия камень используется при строительстве ГТС в портах Сочи Имеретинский, Ванино, Курык и др.

Важно понимать, что для эффективного волногашения следует использовать камень надлежащего качества и со строго определенными характеристиками. В противном случае наступает быстрое разрушение волногасящих берегозащитных и оградительных сооружений вследствие размыва волнами, что наносит значительный экономический и экологический ущерб. Для достижения указанных целей коллективом филиала АО ЦНИИС в г. Сочи «НИЦ «Морские берега» разработан и утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 70021-2022 «Камень природный для морских берегозащитных и оградительных сооружений. Технические условия». Документ устанавливает технические требования, предъявляемые к природному камню, применяемому для строительства морских берегозащитных и оградительных сооружений всех классов, а также подпричальных откосов и пляжей.

Разработанный стандарт будет способствовать:

- снижению уровня опасности при эксплуатации волногасящих берегозащитных и оградительных сооружений из камня;
- уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций и последующего социально-экономического, экологического и других видов ущерба;
- повышению надежности волногасящих берегозащитных и оградительных сооружений из камня;
- снижению затрат на ремонт и реконструкцию волногасящих берегозащитных сооружений из камня;
- повышению волногасящей эффективности конструкций из камня.

Выводы

На сегодняшний день природный камень используется повсеместно при строительстве берегозащитных и оградительных сооружений в морских акваториях, поскольку обладает рядом существенных достоинств: экологичностью, свободной деформируемостью, универсальностью и простотой использования.

В российском гидротехническом строительстве наброски из природного камня находят все более широкое применение благодаря простоте технологии строительства, высокой надежности и значительной эффективности защиты откосов от размыва. Такие сооружения применяются все чаще,

поскольку при проектировании берегозащиты большое внимание уделяется рекреационной функции берегов, а также экологической составляющей.

Каменнонабросные бермы также нашли широкое применение благодаря малой трудоемкости при строительстве, простоте ремонта и восстановления. В то же время необходимо предусматривать защиту насыпного грунта от оплывания и суффозии (с помощью геотекстиля или других средств).

В практике гидротехнического строительства пляжи по праву считаются наилучшим волногасящим сооружением. В свою очередь, защиту пляжей каменнонабросными сооружениями принято считать оптимальным способом защиты берега благодаря возможности совмещения берегозащитной и рекреационной функций, экологичности, а также возможности сохранения природного ландшафта, при надлежащем качестве строительных работ такие сооружения выглядят весьма эстетично. Важно отметить, что укладка верхнего слоя сооружения из природного камня с целью образования плоской поверхности часто необязательна, поскольку носит скорее эстетический характер и сопряжена с дополнительными трудозатратами. Поэтому выполнение таких укладок носит рекомендательный характер.

Зарубежный и отечественный опыт проектирования и строительства морских берегоукрепительных ГТС, а также накопленный опыт обследований участков берега, защищенных каменнонабросными сооружениями, такими как буны и волноломы, показал их высокую эффективность как пляжеудерживающих сооружений. В защищаемой такими сооружениями акватории не образуется застойных зон, поскольку даже при слабом волнении наблюдаются устойчивые водообменные процессы. Сооружения в виде каменных набросок относятся к свободно деформируемым, поэтому при деформации или даже разрушении отдельных частей сооружение продолжает выполнять свои функции, а устранение полученных повреждений не требует больших затрат. Пористые наброски из природного камня, как правило, являются биопозитивными: в порах создаются благоприятные условия для обитания моллюсков и других представителей морской фауны.

Применяемая в России методика расчета набросных укреплений включает определение требуемой крупности камня или деформации укрепления (при использовании неоднородного по крупности материала заданного гранулометрического состава), а также необходимой толщины укрепления. При этом основой для проектирования морских ГТС выступает правильный учет природных условий участка. За рубежом стандарты проектирования морских берегоукрепительных сооружений в целом носят свободный, рекомендуемый характер применения.

Для эффективного волногашения следует использовать камень с определенными характеристиками и надлежащего качества. Для повышения надежности волногасящих берегозащитных и ограждающих сооружений под действием волновых нагрузок и для предупреждения значительного экономического и экологического ущерба от таких разрушений коллективом филиала АО ЦНИИС в г. Сочи «НИЦ «Морские берега» разработан и утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 70021-2022. Применение вновь принятого стандарта позволит предотвратить значительный экономический и экологический ущерб, вызываемый быстрым разрушением волногасящих

берегозащитных и оградительных сооружений вследствие размыва под действием волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recent beach restoration projects in Taiwan / J. R.-C. Hsu [et al.] // Proceeding of the third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, November 8–16, 2006. Tainan, 2006.
2. Design and construction of seawater exchange breakwaters / S. Akeda [et al.] // Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, June 22–26, 1998. ASCE, 1998. Vol. 2. P. 1539–1552. <https://doi.org/10.1061/9780784404119.114>
3. Juhl J., Sloth P. Berm breakwaters – influence of stone gradation, permeability and armouring // Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, June 22–26, 1998. ASCE, 1998. Vol. 2. P. 1394–1406. <https://doi.org/10.1061/9780784404119.103>
4. Berm breakwaters, fifteen years experience / S. Sigurdarson [et al.] // Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, June 22–26, 1998. ASCE, 1998. Vol. 2. P. 1407–1420. <https://doi.org/10.1061/9780784404119.104>
5. Тлявлиная Г. В., Петров В. А., Тлявлин Р. М. Особенности проектирования морских берегозащитных сооружений на приливных морях // Транспортное строительство. 2016. № 4. С. 4–6.
6. Тлявлиная Г. В., Тлявлин Р. М. Техническое регулирование в области проектирования берегозащитных сооружений // Гидротехника. 2018. № 3. С. 70–72.
7. Вялый Е. А., Макаров К. Н. Классификация и условия применения конструкций оградительных сооружений искусственных островов // Гидротехническое строительство. 2021. № 7. С. 40–44.
8. Вялый Е. А. Классификация конструкций искусственных островов // Моря России: исследования береговой и шельфовой зон (XXVIII береговая конференция): Тезисы докладов всероссийской научной конференции, г. Севастополь, 21–25 сентября 2020 г. Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. С. 247–248. URL: http://mhi-ras.ru/assets/files/morya_rossii-2020_tezisy.pdf (дата обращения: 10.05.2022).
9. Макаров К. Н., Вялый Е. А. Моделирование деформаций откосов искусственного намывного острова // Гидротехника. 2020. № 1. С. 30–33.
10. Лицишин И. В., Тлявлиная Г. В., Тлявлин Р. М. Исследования для проектирования мостовых переходов в особо сложных гидрологических условиях // Гидротехника. 2010. № 3. С. 36–37.

Поступила 16.03.2022 г.; одобрена после рецензирования 25.04.2022 г.; принята к публикации 27.04.2022 г.; опубликована 25.06.2022 г.

Об авторах

Тлявлиная Галина Вячеславовна, заведующая лабораторией моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега» (354002, Россия, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 1), **ORCID ID: 0000-0003-4083-9014**, **AuthorID: 604630**, TlyavlinaGV@Tsniiis.com

Вялый Елисей Александрович, главный инженер проектов, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега» (354002, Россия, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 1), **ORCID ID: 0000-0003-0735-2837**, **AuthorID: 1129471**, *VyalyiEA@tsniis.com*

About the authors:

Galina V. Tlyavlina, Head of the Laboratory of Modeling, Calculations and Rationing in Hydraulic Engineering, Subdivision of JSC TsNIITS “Research Center “Sea Coasts” (1 Iana Fabritsiusa, Sochi, 1354002, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-4083-9014**, **AuthorID: 604630**, *TlyavlinaGV@Tsniis.com*

Elisey A. Vyaly, Chief Project Engineer, Subdivision of JSC TsNIITS “Research Center “Sea Coasts” (1 Iana Fabritsiusa, Sochi, 1354002, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-0735-2837**, **AuthorID: 1129471**, *VyalyiEA@tsniis.com*

Заявленный вклад авторов:

Тлявлиная Галина Вячеславовна – научное руководство работой, формулировка и постановка задач, разработка методик исследований, качественный и количественный анализ результатов исследования

Вялый Елисей Александрович – обзор литературы по проблеме исследования, разработка концепции исследования, обработка и описание результатов исследования, формулирование выводов

Contribution of the authors:

Galina V. Tlyavlina – scientific supervision of work, task setting, development of research methods, qualitative and quantitative analysis of research results

Elisey A. Vyaly – review of the literature on the research problem, development of the research concept, processing and description of the research results, formulation of conclusions

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.