

Раздел 5. Проблемы организации строительства

УДК 551.435.34

DOI 10.37279/2519-4453-2021-3-124-133

ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ БЕРЕГОВОЙ ЭРОЗИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО СВАЙНОГО ВОЛНОЛОМА «ГРЕБЕНКА»

Басс О.В.¹, Васюткин Е.С.², Ефремов В.И.³

¹ БФУ им. И. Канта, г. Калининград, e-mail: o.bass@mail.ru

² ООО «Композитные Технологии и Оснастка», г. Москва, e-mail: evasiutkin@yandex.ru

³ ООО «ТД «Базальтовые трубы», г. Москва, e-mail: zbt@bk.ru

Аннотация. В материале рассмотрена актуальность проблемы защиты берегов от эрозии практически во всем мире, сделан обзор традиционно применяемых для борьбы с эрозией гидротехнических сооружений (ГТС). Отмечены проблемы, возникающие при эксплуатации таких ГТС, вводимые в различных странах ограничения на них, что ставит вопрос о необходимости поиска новых решений на базе современных материалов, превосходящих традиционные аналоги по прочности и долговечности и создающих возможности для новых конструктивных решений. Одно из таких решений – модульный свайный волнолом «Гребенка» в футеровке из композитных материалов, которая защищает бетонное тело волнолома от агрессивной морской среды и разрушительного волнового воздействия. «Гребенка» обеспечивает быструю и удобную технологию монтажа, которая в несколько раз опережает скорость сооружения традиционных волноломов и позволяет создавать из модулей любые конфигурации, оптимальные для решения задач по противодействию береговой эрозии в том или ином районе. Конструкция была исследована в ходе нескольких циклов лотковых испытаний в одной из ведущих российских специализированных лабораторий, были получены результаты, подтверждающие высокую эффективность ГТС «Гребенка». Это позволило перейти к полномасштабным полевым испытаниям волнолома.

Ключевые слова: береговая эрозия, свайный волнолом, модульная конструкция, стеклобазальтопластик, Гребенка

ВВЕДЕНИЕ

Данная статья учитывает результаты обзора применяемых в мировой практике берегозащитных гидротехнических сооружений ГТС для борьбы с береговой эрозией, ограничений при применении таких сооружений, отмечена целесообразность поиска новых решений и описано одно из таких решений – модульный свайный волнолом «Гребенка» из биопозитивных композитных материалов.

ОБЗОР МИРОВОЙ ПРАКТИКИ. Проблема защиты берегов от эрозии и поглощения морем актуальна практически для всех стран, имеющих морское побережье.

Так по данным Национального управления океанических и атмосферных исследований США (*NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management*), согласно геологическому обзору США (*U.S. Geological Survey*) более 50% американского побережья подвергаются «очень высокому» или «высокому» риску эрозии [1]. Для песчаных пляжей цифра достигает в среднем 75%, в отдельных штатах даже более.

В Европе более 20% побережья имеют те же проблемы. Согласно обзору Еврокомиссии по разрушению берегов Европы (*European Commission spotlight on coastal erosion / Press release from Environment DG*): «Берега Европы находятся под растущей угрозой эрозии. Пятая часть береговой линии Европы отстает в диапазоне 0,5-2 метра в год, а в некоторых драматических случаях даже до 15 метров» [2]. В ряде регионов проблема стоит ещё острее. Так, по данным на 2020 г. эрозия берегов достигла на Кипре 38%, на Крите – 70% пляжей, на островах Эгейского архипелага 88%.

Сходная ситуация в Юго-Восточной и Южной Азии, Австралии и Океании.

Главным фактором эрозии побережья являются штормовые волны. Причем глобальные климатические тенденции и повышение уровня мирового океана, по мнению многих исследователей, приведут к усилению силы и интенсивности штормов, что принесет побережьям еще более разрушительные последствия. При этом страдают наиболее ценные для социально-экономического развития районы, т.к. именно к побережью тяготеет население, жилищное, промышленное и инфраструктурное строительство, крайне высока его рекреационная значимость.

Традиционно применяемые меры по борьбе с эрозией все меньше устраивают специалистов и власти, т.к. они неэффективны, в большинстве очень дороги и не успевают за темпами

наступления моря. Особые претензии высказываются в США и ЕС в отношении так наз. *Hard structures* («жесткие конструкционные сооружения») – волноотбойные стенки, волнорезы (буны), подводные сплошные волноломы, перемычки, каменные наброски, габионы и пр. – они могут на время решить сиюминутные локальные проблемы спасения тех или иных объектов недвижимости и коммуникаций на берегу от ударов штормовых волн, но в долгосрочном плане они не сохраняют главный инструмент защиты берега – природный пляж, прерывают естественные течения и переносы песка, тем самым создают проблемы для соседних участков побережий – «эффект домино». Seriously страдает экология 3].

В Европе 63% новых участков побережья, подверженных эрозии, возникают на удалении не более 30 км от мест проведения подобных инженерных работ 4].

Не случайно, в США даже вводятся запреты и ограничения на использование *hard structures*. Из 30 «прибрежных» штатов США только два (пустынная Аляска и болотистая Луизиана) не ввели такие ограничения.

В Российской Федерации по оценке Комитета по природным ресурсам, собственности и земельным отношениям Госдумы РФ [5], проблема размыва берегов и защиты береговой линии является весьма актуальной и наиболее остро стоит в регионах, чья территория включает в себя побережья Каспийского, Черного и Азовского морей, Краснодарский край, Ростовская область, а также побережье Финского залива, Ленинградская область и Санкт-Петербург, Калининградская область. Из 125 тыс. км береговой черты России примерно 39 % (около 48,4 тыс. км) активно разрушаются, что приводит к изъятию ежегодно около 6,7 тыс. га прибрежных территорий различного назначения. Скорость линейного отступления берегов изменяется от 1-5 до 10-30 м в год. Суммарный среднесрочный экономический ущерб в России от разрушений берега на всех водохранилищах и морях составляет по экспертным оценкам около 2-2,5 млрд. США в год.

В полной мере это касается и Черного моря – например, из 104 км береговой линии г. Сочи пляжи полностью отсутствуют или имеют недостаточную ширину на 56 км, и только на 48 км пляжи имеют ширину более 15 м. Упор в берегозащите сделан там на строительстве бетонных волнорезов и подсыпку гальки, которую море вымывает и её приходится регулярно добавлять.

Сложная обстановка также в Крыму (*сборники ежегодных научно-практических конференций Морского гидрофизического и института, Севастополь*) 6.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель – обоснование подхода к снижению береговой эрозии с использованием эффективных биопозитивных решений берегозащитных сооружений.

Задачи:

- рассмотреть основы процесса влияния берегозащиты на береговую эрозию. Поскольку главным фактором береговой эрозии (наиболее заметной для песчаного побережья) являются штормовые волны, то главной задачей берегозащитных мероприятий становится снижение высоты и энергии волны с тем, чтобы ослабить её воздействие на коренной пляж и берег, уменьшить вынос песка в море. При этом борьба с волнами уже на берегу (с помощью волноотбойных стенок, каменных набросок, опоясок, габионов и пр.) даёт результат лишь для территории, находящейся за этими сооружениями, а естественный пляж как основной элемент защиты берега не только остается незащищенным, но и наоборот подвергается усиленному размыву в результате волноотбойного эффекта таких ГТС. Поэтому необходимый результат для сохранения пляжа будет достигаться при условии выноса волногасящих ГТС в море, где они будут защищать пляж в так называемом заволноломном пространстве.

В то же время традиционные сплошные волноломы и волнорезы, как показывает мировой опыт (см. выше), зачастую создают не меньше проблем, чем решают в данном конкретном месте, прерывая естественный водообмен и течения, транспорт наносов. Серьезным сдерживающим фактором для их применения остаются очень высокая стоимость и длительные сроки установки, когда темпы разрушения берегов опережают темпы осуществления берегозащитного строительства. Более щадящий режим защиты пляжа обеспечивают проницаемые свайные волноломы, т.к. они сохраняют водообмен, не мешают течениям и переносу песка. Но и они в традиционном исполнении из камня, стали, бетона обходятся дорого, а сооружаются долго. При этом традиционные материалы подвержены коррозии и разрушаются в агрессивной морской среде.

-рассмотреть конструкцию модульного волнолома. В то же время современные технологии дают доступ к материалам, превосходящим традиционные аналоги по прочности и долговечности и создающим возможности для новых конструктивных решений. При этом такие новые материалы имеют преимущество еще и за счет их экологически-дружественных характеристик. Объединение этих параметров позволяет работать над созданием как отдельных ГТС, так и целых берегозащитных систем в виде биопозитивных искусственных рифов, причем с заданными эксплуатационными свойствами.

Одним из таких решений стала разработка конструкции модульного свайного волнолома в футеровке из композитных материалов, которая сможет защитить бетонное тело волнолома от агрессивной морской среды и разрушительного волнового воздействия. Для конкретного решения в качестве материала был выбран стеклобазальтопластик СБП, который существенно превосходит обычные стеклопластики по прочности и долговечности, более удобен в монтаже. Имея вес до 10 раз меньше стали и до 20 раз меньше бетона, СБП подсказал и более быструю и удобную технологию монтажа, которая в несколько раз опережает скорость сооружения традиционных волноломов и позволяет создавать из модулей любые конфигурации, оптимальные для решения задач по противодействию береговой эрозии в том или ином районе;

-представить результаты исследования предлагаемой конструкции. Конструкция модульного свайного волнолома в футеровке из композитных материалов, получившая название «Гребенка», была предварительно оценена специалистами ряда научных учреждений (Морской гидрофизический институт, Институт биологии южных морей, Институт природных систем в Севастополе, Балтийский федеральный институт им. Канта, Санкт-Петербургский политехнический институт им. Петра Великого), работниками организаций, профессионально занимающихся берегоукреплением. Опытная модель была исследована в специализированной лаборатории НИЦ «Морские берега» АО ЦНИИС, г. Сочи – разработчика основополагающих нормативных документов по берегозащитным ГТС. В частности, в апреле-июле 2019 г. было проведено два цикла многоступенчатых лотковых испытаний с целью определения волногасящих показателей волнолома «Гребенка» при различных условиях волнового воздействия на разных глубинах. В ходе них подбирались оптимальная конструкция нескольких типов волнолома (донного, плавучего, комбинированного). Были получены результаты, подтверждающие высокую эффективность ГТС «Гребенка». Это позволило перейти к полномасштабным полевым испытаниям «Гребенки», о чем предполагается рассказать в последующих статьях.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В ситуации, когда традиционные сооружения не справляются, имеется объективная потребность в новых решениях по берегозащите, их появление – вопрос времени при правильном выборе концепции и подборе подходящих для этого материалов. Наибольший эффект может дать сочетание традиционных конструктивных подходов, учитывающих длительный как положительный, так и отрицательный опыт защиты берегов от размыва, и новых биопозитивных технологий/материалов. Один из вариантов такого нового решения – модульный мобильный волнолом «Гребенка» с применением экологически дружественных композитных материалов.

Концепция и техническое воплощение «Гребенки» появились в ходе проработки конкретной локальной задачи – быстро и эффективно остановить размыв волнами участка берега, при этом сохранить внешний вид и рекреационную ценность как самого этого участка (не допустить его превращения в строительную площадку с длительными бетонными работами), так и акватории перед ним (чтобы из воды не торчали бетонные массивы, уродующие пейзаж). Характеристики участка – глубины до 10-15 метров на расстоянии 50-70 метров от берега, практически отсутствует надводный пляж и есть остатки подводного пляжа, волны преимущественно «лобового» направления, т.е. перпендикулярно к берегу, высотой в среднем 2-4 метра, в сильные штормы до 6-7 метров (хотя возможные крайне редкие показатели до 10 метров). Традиционные сооружения эту задачу не решают. Размещение на берегу габионов, каменной наброски, отмостки и пр. не даст эффекта против высоких волн, приведет к разрушению остатков подводного пляжа перед ними, а сами эти сооружения проработают недолго (западные исследователи оценивают срок службы габионов в 1-3 года) [7]. Немного дольше простоит забетонированная в стенку кромка берега, а её усиленный волноотбойный эффект еще быстрее будет разрушать остатки подводного пляжа,

который пока хоть как-то гасит подводную часть волны на подходе к берегу. Волнорезы-буны ничего не дадут для накопления пляжа (вдольберегового переноса песка здесь нет), а против лобовых волн они бесполезны, т.к. не относятся к волногасящим сооружениям, и в итоге только испортят внешний вид (СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений, СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования») [8], [9].

Местные специалисты предложили строительство бетонных подводных волноломов в двух вариантах – погруженном (но тогда вся наиболее разрушительная верхняя часть волны будет свободно проходить до берега и бить в него) или выступающим из воды на 1 метр (но это портит внешний вид, и главное – тоже лишь незначительно ослабит верхнюю часть волны, учитывая указанные выше волновые параметры). А затраты на бетонные волноломы при таких глубинах будут очень велики. При этом сплошная стена волноломов прервет водообмен и создаст «мертвую» зону в заволноломном пространстве у берега, что крайне негативно скажется на зажатых в необновляемой воде живых организмах. В попытке хоть каким-то образом обеспечить ограниченный водообмен предлагалось установить сплошные волноломы с промежутками между ними – но тогда существенно снижается общий волногасящий эффект, штормовые волны будут через эти проемы без препятствий проникать к берегу и разрушать его.

Негативное воздействие для экологии могли бы снять свайные проницаемые волноломы, но на таких глубинах их сооружение сложно и тоже очень затратно (СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений») [10]. Различные варианты плавучих волноломов малоэффективны, поскольку верхнюю часть волны гасят очень слабо, а подводную часть вообще не затрагивают. Следовательно, нужно было другое решение, которое снимало бы все вопросы.

Параллельно возник вопрос и о материалах. Традиционные имеют свои ограничения, что сказывается и на самом сооружении. Так сталь в морской воде быстро корродирует и в итоге разрушается. Бетон и железобетон нужны коррозионностойкие, но и они тоже не вечны, а работы с ними в море обходятся дорого и занимают много времени. Камни нужного размера далеко не всегда есть в наличии (например, в прошлом году на Бахрейне застопорилась масштабная программа укрепления намывных в море территорий, т.к. закончились местные валуны, и пришлось возить их из соседних стран, на это уже не хватило денег. В одном из «свежих» проектов в Калининграде собираются возить камни из Норвегии). Дерево не годится для применения в теплых морях, где его быстро съедают местные жучки.

Решение возникло на стыке разных отраслей. Специалисты, давно работающие с композитами, предложили материал, решающий все упомянутые выше задачи – стеклобазальтопластик СБП. Это передовой материал, выпускаемый только в России по эксклюзивной технологии. Прочность изделий из него выше рядовой стали и сопоставима с конструкционными марками (на растяжение и на изгиб – до 500 Мпа) (ГОСТ Р 55068-2012) [11], при этом СБП – упругий материал, поэтому знакопеременные нагрузки (в т.ч. сейсмические) он держит лучше жесткой и тяжелой стали и бетона (трубопроводы марки СБПТ разрешены для работы в сейсмоопасных зонах до 9 баллов) (Заключение ЦНИИСК им. Кучеренко от 03.06.2016) [12]. Он не боится перепадов температур (используется от минус 269°С до +170°С). Достаточно стоек к истиранию во взвешенной морской воде, хорошо держит механические нагрузки (на военных полигонах его живучесть проверялась проездом бронетанковой техники весом 47 тонн). Что еще более важно для работы в агрессивной морской среде – он не подвержен коррозии и может служить в ней столетиями. И при всем этом – это биопозитивный продукт – трубы СБПТ применяются для питьевого водоснабжения, не выделяют в морскую или воздушную среду никаких вредных элементов.

СБП очень удобен в конструкционном плане – он поддается обработке в нужные формы, весит в 4-8 раз меньше стальных аналогов, до 20 раз меньше бетона, монтаж конструкций из него ведется просто и быстро, зачастую вообще без грузоподъемного оборудования.

Фактически характеристики материала подсказали и конструкцию нужного сооружения (отображена на рисунке 1) – мобильный модульный быстросборный волнолом в композитном СБП футляре, который заполняется бетоном (для обеспечения веса и устойчивости к сдвигу и опрокидыванию при штормах) прямо на месте применения, легко и быстро устанавливается в море, также просто может быть переставлен, извлечен. Из модулей «Гребенки» может быть составлено берегозащитное сооружение любой конфигурации и протяженности в широком диапазоне глубин – от 2 до 24 метров. По сути это традиционный свайный волнолом, но с надежной защитой бетонного

тела композитным футляром от ударов волн и агрессивного воздействия морской среды и с возможностью оперативной установки и перемещения в сжатые сроки.

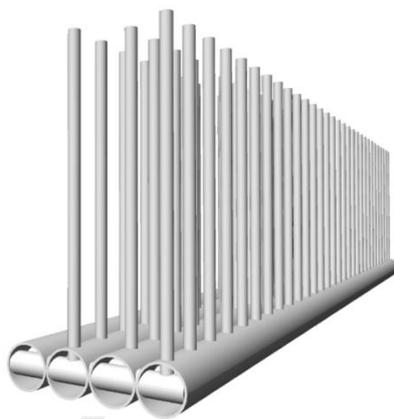


Рис.1. Конструкция модульного быстросборного волнолома

Будучи проницаемым свайным сооружением «Гребенка» гасит энергию и высоту штормовых волн и не дает им уносить песок от берега, но – в отличие от традиционных камнебетонных волноломов – не прерывает естественные течения, не мешает свободному водообмену и не создает «мертвых» зон для морской фауны и флоры. Для её установки нет необходимости вырывать «постель»-фундамент на дне, модуль занимает очень малую площадь, поэтому при размещении «Гребенок» в море не наносится вред бентосу или нересту рыб.

КОНСТРУКЦИЯ

Указанные выше достоинства «Гребенки» объясняются как использованным материалом, так и особенностями конструкции. Возможны несколько вариантов волноломов «Гребенка» - донный, плавучий и комбинированный (*Патент РФ 187014, Патент РФ 189520, Патент РФ 189521*) [13], [14], [15].

Конструкция донного модуля (устанавливается на дне) (*Патент РФ 187014*) [13] представлена на рисунке 2 и состоит из:

- базы-решетки (несколько параллельных рядов основных труб большого диаметра, соединенных между собой поперечными трубами меньшего диаметра – образуют решетку, при этом поперечные трубы меньшего диаметра проходят через тело основных труб); база устанавливается на дно. Определенная гибкость базы позволяет устанавливать конструкцию на участках дна как горизонтальных, так и с уклоном. Закрываемая конструкцией (данные на один модуль) ширина по фронту волны составляет до 10-12 метров, по площади участка дна до 100-150 квадратных метров (количество рядов труб в базе может варьироваться).

- вертикально установленных труб-свай малого диаметра (гребенка), которые с определенным промежутком вставляются в основные трубы базы. Высота свай (возможна до 24 метров), плотность установки и возможная ступенчатость гребенки определяется конкретным местом размещения для решения задачи по максимально эффективному разрушению кинетической энергии волн по всей их высоте.

- материал – стеклобазальтопластик, имеющий повышенную прочность и долговечность по сравнению с традиционными материалами, пластиками и композитами из других видов сырья.

В качестве основных труб базы используются трубы диаметром 0,3 м – 2 м, в качестве поперечных труб – диаметром 0,2-0,5 м, в качестве гребенки – диаметром 0,1-0,5 м. С учётом конкретных условий могут применяться другие диаметры – до 4 м. Частота установки вертикальных труб и их высота также определяется местными условиями.

Вес конструкции может быть 20-200 тонн и более.



Рис.2. Конструкция донного модуля

Способ сборки и установки:

- конструкция сборная, собирается на берегу или на судне, ставится в море;
- конструкция мобильна (может устанавливаться в любом месте и перемещаться, устанавливаться в различных конфигурациях и под любым углом к береговой линии);
- вертикальные трубы гребенки после установки фиксируются в основных трубах путём заливки бетона в трубы базы и в нижнюю часть труб гребенки (бетон при этом также является утяжелителем для предотвращения опрокидывания конструкции при шторме и ее сдвига после установки). Заливка бетона может осуществляться как на берегу, так и с плавсредства. После этого конструкция становится неразъемной.

«Гребенка» в варианте плавучего волногасителя (Патент РФ 189520) [14] устанавливается свайной гребенкой вниз и путём придания заданной плавучести размещается на необходимой глубине, позволяющей наиболее эффективно гасить кинетическую энергию волн на всю длину свай (до 12 метров). В этом случае необходима фиксация блоков «гребенки» между собой для охвата максимально широкого фронта и их крепление к заданным участкам дна с помощью якорей. Однако следует отметить, что волногасящая способность плавучей «Гребенки» ниже, чем донного варианта.

Вариант комбинированного волногасителя (Патент РФ 189521) [15], представленный на рисунке 3, в составе соединенной донной и плавучей «Гребенки» (сваи плавучей части ходят как поршень внутри свай донной части) позволяет гасить волны на высоту от дна до 24 метров. В комбинированной конструкции плавучая часть также будет подниматься вместе с волной под поверхностью, не выступая из воды.



Рис.3. Конструкция комбинированного волногасителя – сборка

Вариант комбинированной «Гребенки» позволяет её непрерывную эксплуатацию в морях и водоемах, покрывающихся льдом зимой, без извлечения или демонтажа ГТС (нужно обеспечить плавучей части возможность уходить в сваи донной части ниже глубины ледового промерзания).

Конструкция «Гребенки» по сравнению с традиционными аналогами обеспечивает значительное повышение долговечности в результате стойкости композитов в морской воде, снижение материалоемкости и стоимости сооружения, упрощает, ускоряет и удешевляет монтаж, при этом повышается волногасящая способность за счёт более эффективного разрушения кинетической энергии волн благодаря гибкости и упругости композита. Такая проницаемая конструкция позволяет сохранить водообмен между открытым морем и отгороженной акваторией, создает прибежище морским организмам и позволяет увеличить биоразнообразие акватории.

Достигается ощутимый экономический эффект – конструкция менее материалоемкая и затратная, чем традиционные решения, для ее установки нет необходимости размещать строительный участок на берегу в зоне работ. Период сборки конструкции или комплекса защитного берегового сооружения значительно меньше, чем для бетонных, каменных и стальных аналогов. Всё это снижает инвестиционные расходы и ускоряет решение задачи по берегозащите выделенного участка побережья. Срок службы композитной конструкции в разы более длительный чем для традиционных материалов, она не требует обслуживания и ремонтов, что позволяет снизить также и приведенные затраты за период ее эксплуатации.

Стоимостные показатели волнолома «Гребенка» зависят от параметров сооружения, необходимого для установки в том или ином районе с учётом глубины, высоты и силы волн, ширины защищаемой зоны побережья. Но сравнения с традиционными каменными/бетонными волноломами, применяемыми в настоящее время, в т.ч. на Балтике и на Черном море, показывает, что волнолом «Гребенка» обойдется заказчику до 2-2,5 раз дешевле, чем упомянутые традиционные аналоги. А скорость его модульной установки многократно выше, чем для традиционных сооружений (несколько дней вместо нескольких месяцев).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ «ГРЕБЕНКИ»

Для проверки показателей волногасящей эффективности «Гребенки» были проведены несколько циклов лотковых гидрофизических исследований в НИЦ «Морские берега» АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (АО ЦНИИС) [16], [17].

При этом обрабатывались различные варианты проницаемости свайной конструкции, что позволило определить оптимальное расположение свай и плотность их установки. Серии испытаний проведены на высоту волны до 2-3 метров и до 5-6 метров, глубину установки до 5 метров и до 10 метров. В ходе испытаний был подтвержден следующий эффект «Гребенки», достигнутый в вариантах с максимально эффективной формулой проницаемости, что отражено в Отчетах и Заключение НИЦ «Морские берега» по итогам испытаний:

- коэффициент волногашения составил $k_{вг} = 0,89$;
- высота волн за сооружением снижается до 4 раз;
- коэффициент прохождения волн $k_{п} = 0,25$;
- коэффициент отражения составил $k_{от} = 0,2$;
- заплесков и переливов через сооружение не зафиксировано.

По результатам гидрофизических исследований установлена высокая волногасящая эффективность «Гребенки» (эффект изображен на рисунке 4) и практическое отсутствие волноотбойного эффекта, заплесков и переливов, которые могли бы привести к волновым нагонам в заволноломном пространстве и выносу пляжевого материала, как это происходит на сплошных каменных/бетонных волноломах.



Рис.4. Волногасящая эффективность «Гребенки» при лотковых испытаниях

Исследования в НИЦ «Морские берега» сосредоточились на волногасящей способности «Гребенки» при условии обеспечения её устойчивости к опрокидыванию и сдвигу. По вопросу обеспечения устойчивости расчёт гравитационных параметров ведется согласно действующим СП по проектированию. Также применяются дополнительные конструкционные решения, исключающие отрыв ГТС от дна или его сдвиг (так центр тяжести с 90% веса распластан по дну).

По поводу высоты такого волнолома следует отметить, что также была исследована в НИЦ «Морские берега» комбинированная конструкция «Гребенки» в составе донной части, плотно посаженной на дно, и плавучей части, которая во взаимодействии с донной частью постоянно находится в приповерхностном слое, поднимаясь и опускаясь вместе с волной. И т.о. волнолом перехватывает и гасит волну по всей её высоте (в НИЦ «Морские берега» была исследована работа конструкции с возможностью подъема на высоту до 12 метров от дна). Возможно увеличение зоны действия Гребенки до 24 метров от дна, а при необходимости и более.

Для применения в реальном проекте на конкретном объекте нужно проводить физическое и/или математическое моделирование в привязке к конкретным условиям этого объекта (батиметрия, роза ветров, данные о штормовой активности, материале пляжа и пр.).

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

На волнолом Гребенка и его разновидности (донный, плавучий, комбинированный) получены патенты РФ 187014, 189520, 189521 дата приоритета с 23.10.2018 комбинированный (*Патент РФ 187014, Патент РФ 189520, Патент РФ 189521*) [13], [14], [15], подана международная заявка. В настоящее время находится на патентовании еще одна – усовершенствованная модель комбинированной Гребенки.

Волнолом «Гребенка» - разновидность проницаемого берегозащитного сооружения, оно предусмотрено СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования», п. 8.2.4 – это подводный волнолом свайный, в п.9.10.2 описан вариант со стеной из цилиндрических свай – приложение Е.2, п. 9.10.2. [18].

Подводный свайный волнолом типа «Гребенка» изготавливается из футляра из СБП с наполнением внутренних полостей бетоном для обеспечения устойчивости сооружения к опрокидыванию и сдвигу. По прочностным характеристикам такая конструкция сопоставима с традиционными камнебетонными и стальными сооружениями, но СБП не подвержен коррозии в морской среде. Использование композитных материалов в качестве силовой оболочки берегозащитных ГТС не противоречит СП 277.1325800.2016, т.к. композиты исключают химическое загрязнение, механическое разрушение или иное вредное воздействие на экологию морской среды, а список возможных к применению материалов указанные СП не лимитируют.

В волноломе «Гребенка» предусмотрена установка нескольких параллельных линий свай со смещением, перекрывающим прямой проход волны, количество рядов свай тоже не нормируется в упомянутом СП 277.1325800.2016.

Отсутствию необходимости в фундаменте лишь отличает Гребенку от основной линейки камнебетонных аналогов, но есть различные виды беспостельных свайных волноломов (*СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений»*) [19].

Согласно СП 32-103-97 и СП 277.1325800.2016 применение гидротехнических сооружений требует проведения испытаний методом физического гидравлического моделирования или математического моделирования. Других условий или ограничений не предусмотрено. По «Гребенке» проведена серия испытаний методом гидравлического моделирования в НИЦ «Морские берега» АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (АО ЦНИИС). Была подтверждена высокая эффективность волногашения, обеспечение свободного прохода воды и отсутствие волноотбойного эффекта, размывающего корень пляжа (*Отчёты АО ЦНИИС от 19.04.2019 и 12.07.2019*) [16], [17]. Т.о. не существует каких-либо нормативных документов, препятствующих применению «Гребенки».

Экологическая экспертиза в рамках проекта относится к компетенции заказчика. Учитывая, что конструкция Гребенка в отличие от традиционных сооружений не наносит никакого вреда окружающей среде, а материал, из которого она изготовлена, разрешен вплоть до питьевого водоснабжения, прохождение экологической экспертизы не представляет проблем.

ВЫВОДЫ

Следовательно, подтвержденные гидрофизическими испытаниями есть основания полагать, что конструкция модульного свайного волнолома «Гребенка» с применением биопозитивных композитных материалов может решать задачи гашения энергии и высоты волн, сохранения пляжа (Отчёты АО ЦНИИС от 19.04.2019 и 12.07.2019) [16], [17]. Использование «Гребенки» позволит избежать негативных последствий для экологии, проявляющихся в ходе применения морально устаревающих традиционных «hard structures».

С 2020 года в Калининградской области проводится практический эксперимент по изучению эффективности волноломов Гребенка для решения указанных задач. Исходя из предварительных итогов работы «Гребенок» на балтийском побережье можно отметить, что практические результаты в целом подтверждают выводы, сделанные на этапе расчетов и научных исследований в НИЦ «Морские берега», об эффективности такой конструкции волноломов (более подробно ход эксперимента и его результаты предполагается рассмотреть в последующих публикациях). А прочностные и коррозионностойкие характеристики материала «Гребенок» позволяют распространить этот опыт на другие моря, в том числе на Черное море.

ЛИТЕРАТУРА

1. The U.S. Climate Resilience Toolkit / U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion>
2. The European Climate Adaptation Platform Climate-ADAPT / Groynes, breakwaters and artificial reefs // European Commission spotlight on coastal erosion / Press release from Environment DG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/adaptation-options/groynes-breakwaters-and-artificial-reefs>
3. Journal of Coastal Conservation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11852> Journal of Coastal Conservation
4. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/adaptation-options/groynes-breakwaters-and-artificial-reefs>
5. Лента новостей РИА Новости 11.12.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20191211/>
6. Сборники ежегодных научно-практических конференций Морского гидрофизического и института, Севастополь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/assets/files/tezisy_sea_coasts-2015.pdf
7. Wikipedia / Coastal erosion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Coastal_erosion#cite_note-Dean-10
8. СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» / дата введения 1998-01-01; п. 7.10.7 / Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200030723>
9. СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования» / дата введения 2017-06-17; п. 3.16, п. 9.9.1 / Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456055940>
10. СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» / дата введения 1998-01-01; п.7.12.2, п.8.5.1
11. ГОСТ Р 55068-2012. Национальный стандарт Российской Федерации «Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и базальтоволокнами. Технические условия» / дата введения 2014-01-01 / - стр. 21-22.
12. Заключение ЦНИИСК им. Кучеренко от 03.06.2016 / <http://tsniisk.ru/>
13. Волногаситель: пат. 187014 Рос. Федерация: МПК E02B 3/06(2006.01); заявитель и патентообладатель Ефремова Марина Владимировна. – № 2018137512, 2018.10.23; заявл. 23.10.18; опубл. 13.02.19
14. Волногаситель: пат. 189520 Рос. Федерация: МПК E02B 3/06(2006.01); заявитель и патентообладатель Ефремова Марина Владимировна. – 2018141318, 2018.11.23; заявл. 23.11.18; опубл. 24.05.19

15. Комбинированный волногаситель: пат. 189521 Рос. Федерация: МПК E02B 3/06(2006.01); заявитель и патентообладатель Ефремова Марина Владимировна. – 2018144053, 2018.12.12; заявл. 12.12.18; опубл. 24.05.19
16. Отчёт НИЦ «Морские берега» АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (АО ЦНИИС) от 19.04.2019 / <https://tsniis.com/>
17. Отчёт НИЦ «Морские берега» АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (АО ЦНИИС) от 12.07.2019 / <https://tsniis.com/>
18. СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования» / дата введения 2017-06-17; п. 8.2.4, приложение Е2, п. 9.10.2
19. СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» / дата введения 1998-01-01; п. 7.12, п.

APPROACH TO REDUCING SHORE EROSION BASED ON APPLICATION OF COMPOSITE PILE BREAKWATER “COMB”

Bass O.V.¹, Vasutkin E.S.², Efremov B.I.³

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

² Ltd «Composite Technologies and Equipment», Moscow

³ Ltd «ТН «Basalt pipes», Moscow Moscow

Annotation. The article stresses actual importance of protection against coastal erosion almost all over the world, gives short overview of hydraulic structures traditionally used to combat erosion. The problems arising during the operation of such hydraulic structures, the restrictions imposed on them in various countries, are noted, which raises the question of the need to search for new solutions based on modern materials that surpass traditional analogues in strength and durability and create opportunities for new design solutions. One of such solutions is the modular pile breakwater “Comb” in the cover of composite materials, which protects the concrete body of the breakwater from the aggressive marine environment and destructive wave impact. “Comb” provides fast and convenient installation technology, which is several times faster than the speed of construction of traditional breakwaters and allows creating from modules any configuration that is optimal for solving problems of counteracting coastal erosion in a particular area. The design was investigated during several cycles of flume tests in one of the leading Russian specialized laboratories; results were obtained confirming the high efficiency of the Comb structure. This allowed the transition to full-scale field tests of the breakwater.

Keywords: coastal erosion, pile breakwater, modular structure, glass-basalt plastic, Comb