

УДК 627.5:625.122

В. А. Петров, Г. В. Тлявлиина

ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“»

РАСЧЕТ ВОЛНОГАСЯЩЕГО ПЕСЧАНОГО ПЛЯЖА КАК ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматриваются вопросы расчета песчаных пляжей, проектируемых для инженерной защиты транспортных сооружений (автомобильных, железных дорог и т. п.) и берегов от размыва морскими волнами. Предлагается метод расчета песчаного пляжа, разработанный на основании многолетних натурных наблюдений, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Результаты исследований предназначены для актуализации нормативных документов в области морской берегозащиты.

Ключевые слова: берегозащита, инженерная защита, морские волны, песчаный пляж, проектирование, расчет.

Введение

Объектом исследования являются песчаные пляжи, проектируемые в качестве защитных сооружений для объектов транспортной инфраструктуры (автомобильных, железных дорог и т. п.), а также берегов в целом.

Цель настоящего исследования — разработка нормативного метода расчета песчаного пляжа.

Песчаные пляжи, сложенные мелкими наносами, легко приходящими в движение под воздействием волн и течений, представляют собой наиболее изменчивые аккумулятивные формы береговой зоны, морфология которых существенным образом отличается от галечных пляжей [1].

Морфодинамика песчаных пляжей определяется сложным комплексом изменяющихся во времени гидродинамических процессов, оказывающих влияние на переотложение наносов. Во многих случаях эти процессы недостаточно изучены.

При проведении берегозащитных мероприятий под песчаным волногасящим пляжем полного профиля понимается аккумулятивное образование, сформированное волнами от места их первого обрушения до вершины наката. Волногасящие пляжи полного профиля, природные или созданные в результате отсыпок пляжеобразующего материала, исторически в нормативных документах назывались свободными¹, по аналогии с природными свободными аккумулятивными береговыми формами [2]. Под «свободным» понимается пляж, созданный как самостоятельное волногасящее сооружение без возведенных на нем пляжеудерживающих конструкций [3], т. е. в зоне волнового воздействия отсутствуют любые берегозащитные сооружения.

¹ ВСН 183—74. Технические указания по проектированию морских берегозащитных сооружений. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293779/4293779996.htm>.

СП 32-103—97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030723>.

СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

Восстановление утраченных природных или создание новых волногасящих песчаных пляжей в полной мере отвечает сохранению береговых ландшафтов и требованиям охраны окружающей среды [4—6].

Свободные песчаные пляжи в СП 277.1325800.2016 авторами рассматриваются как деформируемые волногасящие сооружения. Здесь подразумеваются знакопеременные изменения профиля и объема пляжа под воздействием штормов разных направлений и силы. Сложность природных процессов, протекающих в береговой зоне песчаных пляжей во время прохождения штормов и обусловленных одновременным влиянием многих факторов, не всегда позволяет установить надежные зависимости между ними. Не претендуя на всю полноту учета влияния внешних факторов на гидродинамические процессы, протекающие в береговой зоне песчаных пляжей во время прохождения волнений, в основу инженерных обоснований берегозащитных мероприятий должны быть положены относительно простые зависимости. Отчасти такие зависимости использованы авторами в существующих СП².

Актуальность исследования обусловлена тем, что в имеющихся нормативных документах для песчаных пляжей не приводятся формулы по расчету высоты наката волн в зависимости от их параметров. Приведенный в СП 38.13330.2018 (приложение Д) алгоритм определения высоты наката волн на откос сооружения не подходит для расчета песчаных пляжей.

Работ российских ученых, посвященных исследованию в природных условиях высоты наката (заплеска) волн на песчаные пляжи, крайне мало. Следует выделить работы Р. Д. Косьяна, Б. В. Дивинского и др. [7—10], где рассмотрены вопросы моделирования движения песчаных наносов в береговой зоне моря. Также необходимо особо отметить работы И. О. Леонтьева, в которых приводится обзор зарубежной литературы по морфодинамике песчаных пляжей, и рассматривается формирование штормового профиля песчаного пляжа [11—14]. Однако следует отметить, как у И. О. Леонтьева, так и у зарубежных авторов [15, 16] в основном приводятся результаты теоретических обобщений, которые затруднительно использовать при инженерных расчетах.

Материалы и методы

В настоящей работе использованы материалы режимных наблюдений (мониторинга) литодинамических процессов на участке берега протяженностью более 60 км от мыса Панагия до мыса Анапский³, материалы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в волновых бассейнах⁴ по объектам Анапской пересыпи, Самбийского и Таманского полуостровов, а также результаты исследований [17—20].

Результаты и обсуждение

Основными параметрами, характеризующими создаваемый свободный песчаный пляж полного профиля, которые необходимо определить при разработке берегозащитных мероприятий, являются:

² СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

СП 416.1325800.2018. Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403251>.

³ ФГУП «ГУБПР». Краснодар, 2002.

⁴ ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега». Сочи, 2008—2022.

- профиль относительного динамического равновесия подводного берегового склона от глубины первого обрушения расчетной волны до расчетного уровня моря;
- отметка вершины наката (заплеска) волн на надводную часть создаваемого пляжа;
- длина наката волн на надводную часть создаваемого пляжа;
- объем пляжеобразующего материала, необходимый для формирования волногасящего свободного песчаного пляжа, с учетом его уплотнения при воздействии волн;
- строительный профиль исходной отсыпки пляжеобразующего материала;
- объем пляжеобразующего материала, который может быть вынесен во вдольбереговом потоке за пределы создаваемого волногасящего пляжа;
- объем и места эксплуатационных пополнений созданного песчаного пляжа, а также их периодичность;
- оценка влияния создаваемого свободного песчаного пляжа на прилегающие участки берега и дна.

Одним из понятий, используемых при оценке объема отсыпаемого песчаного материала, достаточного для создания волногасящего пляжа полного профиля, является «расчетный профиль относительного динамического равновесия», под которым понимается профиль, формируемый волнами расчетного шторма, т. е. шторма с максимальными волновыми параметрами, возможными в расчетный период. При этом расчет подводной и надводной частей профиля относительного динамического равновесия песчаных пляжей существенно отличается от галечных.

В СП 277.1325800.2016 приводится расчет профиля относительного динамического равновесия подводной части песчаного пляжа, который от места первого обрушения волн до уреза моря аппроксимируется зависимостью:

$$d = AX^{2/3}, \quad (1)$$

где X — расстояние от берега; A — параметр, зависящий от крупности наносов.

Д. Крибель [12] установил, что параметр A можно выразить в форме:

$$A = 2,25 \left(\frac{\omega_s^2}{g} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

где ω_s — гидравлическая крупность песка, м/с.

Для берегов, сложенных мелкозернистым песком, параметр A часто принимают равным 0,1 [14].

Представляется, что подводная часть профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа должна строиться от места расположения первого обрушения волн до «нулевой» линии (рис. 1), относительно которой при построении планов по результатам гидрографических работ строится батиметрический план. Таким образом, на плане нанесены отметки дна, а не глубина, которая от отметок будет отличаться на величину уровня моря на момент проведения промеров глубин.

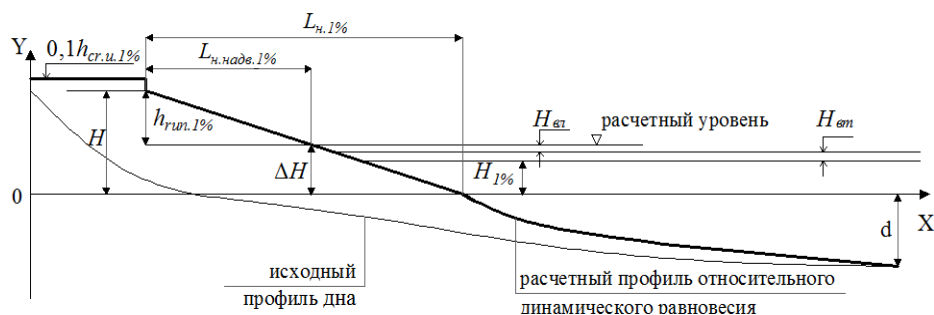


Рис. 1. Расчетный профиль относительного динамического равновесия песчаного пляжа

Надводная часть профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа формируется накатом волн. Положение на профиле вершины наката, т. е. точки в надводной части песчаного пляжа, до которой может достигать накатывающийся волновой поток, определяется двумя основными морфометрическими характеристиками: высотой и длиной наката. Под высотой наката (заплеска) волн понимается превышение над расчетным уровнем места их максимального продвижения по профилю пляжа (вершины наката), а под длиной — горизонтальное расстояние от места пересечения расчетного уровня с берегом до вершины наката. За расчетный уровень при определении высоты наката волн на надводную часть песчаного пляжа ΔH , который в [21] назван уровнем штормового нагона, принимается отметка уровня моря 1 % обеспеченности (возможного один раз в 100 лет) $H_{1\%}$, увеличенная на сумму высот волнового $H_{вл}$ и ветрового нагонов $H_{вт}$.

$$\Delta H = H_{1\%} + H_{вл} + H_{вт}. \quad (3)$$

Величины волнового и ветрового нагонов над уровнем моря 1 % обеспеченности определяются по СП 38.13330.2018 (приложении Б)⁵ или рассчитываются по рекомендациям, изложенным в [22].

На основании многочисленных измерений штормовых профилей галечных пляжей, выполненных с причалов [23], получена зависимость высоты наката волн на его надводную часть от уклона пляжа и энергии подходящих волн, выраженная через их основные параметры, такие как высота, период и крутизна. Для определения высоты наката волн 1 % обеспеченности $h_{run1\%}$ волн на надводную часть песчаного пляжа относительно расчетного уровня предлагается зависимость:

$$h_{run1\%} = 0,006 h_{cr.u13\%} \sqrt{\frac{gT^2}{h_{cr.u13\%}}} \cos \alpha \sqrt{\frac{\pi}{2\beta_{cp}}}, \quad (4)$$

где $h_{cr.u13\%}$ — высота волн 13 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения, м; T — средний период волн, с; α — угол

⁵ СП 38.13330.2018. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18063>.

подхода волн к берегу; β_{cp} — среднее значение угла наклона поперечного профиля пляжа в пределах прибойной зоны.

Последнее обрушение волн выбрано, исходя из предположения, что непосредственно энергия этой волны, основной характеристикой которой является ее высота, определяет волновой поток, накатывающийся на пляж. Для определения высоты наката волн на песчаный пляж использована высота волн 13 % обеспеченности, так называемая «значительная» высота, являющаяся средним значением из 1/3 наиболее высоких волн [14], которая наиболее достоверно характеризует волновое поле нерегулярного волнения.

Угол наклона пляжа в пределах прибойной зоны β_{cp} может быть определен из соотношения крупности песка, слагающего надводную часть песчаного пляжа, и ее крутизной, представленной в таблице⁶.

Зависимость средних уклонов надводной части песчаного пляжа i_n от медианной крупности пляжеобразующего материала D_{50} %

D_{50} %, мм	i_n
0,2...0,3	0,03
0,3...0,4	0,06
0,4...0,5	0,07
0,5...0,6	0,09
0,6...0,8	0,11
0,8...2,0	0,12

По высоте наката волн $h_{run1\%}$ и углу наклона пляжа в пределах прибойной зоны β_{cp} определяется длина наката волн на надводную часть пляжа $L_{н.надв.1\%}$ относительно расчетного уровня:

$$L_{н.надв.1\%} = \frac{h_{run1\%}}{i_n}. \quad (5)$$

Отметка верха надводной части профиля относительного динамического равновесия создаваемого песчаного пляжа H над нулевой линией, на которой заканчивается профиль подводной части пляжа, принимается равной сумме величины расчетного уровня ΔH и высоты наката 1 %, обеспеченности $h_{run1\%}$ волн на надводную часть песчаного пляжа:

$$H = \Delta H + h_{run1\%}. \quad (6)$$

По полученному превышению надводной части профиля относительного динамического равновесия создаваемого песчаного пляжа над нулевой линией H и значению уклона надводной части создаваемого пляжа, определенному с учетом крупности наносов по таблице, вычисляется полная длина наката волн $L_{н.1\%}$ на надводную часть пляжа относительно нулевой линии:

$$L_{н.1\%} = \frac{H}{i_n}. \quad (7)$$

⁶ СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

Соединив окончание подводной части профиля относительного динамического равновесия с точкой, полученной по значениям H и $L_{н.надр.1\%}$, получаем полный профиль относительного динамического равновесия песчаного пляжа, формируемый расчетным волнением при расчетном уровне моря от глубины первого обрушения волн до вершины наката (см. рис. 1).

Объем песчаного материала, достаточный для формирования волногасящего песчаного пляжа, определяется по совмещению расчетного профиля относительного динамического равновесия с фактическим. Для этого по береговому окончанию фактического профиля проводится вертикальная линия, на которую наносятся отметки верха существующего профиля и вершины наката расчетного профиля относительного динамического равновесия. Затем совмещаются уровни моря, проведенные через нулевые линии. По площади, заключенной между фактическим профилем пляжа и расчетным, определяется удельный объем песчаного материала, необходимый для отсыпки на 1 п. м берега. Площадь, заключенная между профилем относительного динамического равновесия и существующим на защищаемом участке берега профилем дна, численно равная удельному объему песка отсыпаемого на 1 п. м берега, должна быть увеличена на 12 % для компенсации уменьшения объема рыхлого отсыпаемого материала при уплотнении в процессе его волновой переработки⁷.

С учетом длины защищаемого участка берега определяется и общий объем пляжеобразующего материала, который необходимо отсыпать для формирования волногасящего песчаного пляжа, предохраняющего берег от размыва волнами.

При создании волногасящего пляжа полного профиля, защищающего берег или возведенный объект от воздействия волн, песчаный пляжеобразующий материал отсыпается в тыльной его части в виде бермы. Верх отсыпаемой бермы может быть выполнен в виде горизонтальной или слабо наклоненной в сторону моря площадки. Отметки верха бермы должны превышать верх профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа на расчетную величину H , увеличенную на запас на незатопляемость, который принимается равным $0,1h_{cr.u.1\%}$, где $h_{cr.u.1\%}$ — высота волн 1 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения.

На верховом и низовом участках создаваемого волногасящего песчаного пляжа следует выполнить плавное сопряжение производимой отсыпки с береговой линией, что необходимо учитывать при расчете общего объема отсыпаемого песчаного материала (рис. 2).

Создаваемый в результате отсыпки песчаного пляжеобразующего материала пляж не окажет негативного влияния на протекающие в береговой зоне природные процессы.

Выдвинутая в начальный момент в сторону моря исходная отсыпка, вследствие заполнения входящего угла, отчасти скажется на уменьшении величины существующего вдольберегового потока песчаных наносов. При этом заполнение перемещающимися вдоль берега наносами входящего угла скажется на увеличении ширины пляжей на участке, расположенном выше (относительно направления перемещения наносов) выполненной отсыпки. На

⁷ Там же.

смежном участке пляжа, расположенном ниже по ходу потока, низовых размывов наблюдаться не будет в результате поступления на него наносов, перемещаемых с участка проведения берегозащитных мероприятий. В целом, созданный или восстановленный песчаный пляж воссоздаст природный ландшафт побережья и, наряду с выполнением берегозащитных функций, увеличит его рекреационный потенциал.

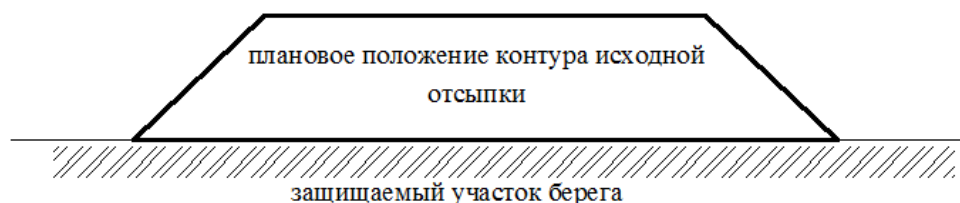


Рис. 2. Плановое положение исходной отсыпки пляжеобразующего материала

При разработке берегозащитных мероприятий по созданию на конкретном участке берега свободного волногасящего песчаного пляжа полного профиля должен быть предусмотрен соответствующий объем песчаного материала, который в период эксплуатации пляжа во вдольбереговом потоке будет выноситься за пределы создаваемого песчаного пляжа, снижая его волногасящие функции. Потери объема пляжа при его эксплуатации могут быть оценены по материалам топо-батиметрических съемок или по результатам расчетов величины вдольберегового потока наносов. Величина вдольберегового потока песчаных наносов определяется по алгебраической сумме расходов наносов, вычисленных по каждой градации высот волн всех волноопасных направлений, с учетом углов их подхода и продолжительности действия. Объем песка, выносимый за год с созданного пляжа по каждой градации волн шторма, может быть определен по зависимости [24]:

$$Q = 0,0023g \left(\frac{v}{D_{50\%}} \right)^{0,5} (h_{cr.13\%} \bar{T})^{1,5} \sin 2\alpha, \quad (8)$$

где Q — объем наносов, перемещаемый вдоль берега за годовой интервал, м³/год; $h_{cr.13\%}$ — высота волн 13 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения, м; $\bar{T}$ — средний период по каждой градации высот волн, с; α — угол подхода волн к берегу, град.; v — кинематический коэффициент вязкости; $D_{50\%}$ — медианный диаметр зерен песка, м.

Для предотвращения снижения во время эксплуатации волногасящих свойств созданных песчаных пляжей необходимо предусмотреть их пополнение песчаным материалом, исходя из годовых объемов, рассчитанных выше. Сроки пополнения определяются в зависимости от интенсивности вдольберегового перемещения наносов, но не реже одного раза в три года. Пополнение наносами созданного волногасящего песчаного пляжа может осуществляться в виде одного или двух отвалов, расположенных в верховой стороне или в виде бермы, отсыпанной на протяжении всей длины защищаемого участка берега.

Восстановление существующих подверженных размыву свободных волногасящих природных песчаных пляжей или создание новых, оканчивающихся со стороны моря на линии первого обрушения волн, сопряжено с отсыпкой большого объема песчаного материала, который не всегда возможно поставить. На практике такие песчаные волногасящие пляжи создать затруднительно. Обычно при проведении берегозащитных мероприятий на песчаных побережьях из отсыпанного песчаного материала при переработке его волнами создаются аккумулятивные формы в виде песчаных пляжей неполного профиля, устойчивость которых от воздействия волн обеспечивается пляжеудерживающими сооружениями, в основном бунами, реже — волноломами. В обоих случаях употребляется термин «пляж». Предлагается волногасящие песчаные пляжи, созданные под защитой пляжеудерживающих сооружений в отличие от волногасящих песчаных пляжей полного профиля, начинающихся на линии первого обрушения волн, в нормативно-технической документации назвать антропогенными волногасящими песчаными пляжами.

Для сохранности создаваемого песчаного пляжа наиболее широко используются буны различных конструкций [5, 13, 25, 26]. Волноломы, выполненные в монолитном исполнении из бетонных элементов, показали свою низкую пляжеудерживающую способность и в настоящее время на песчаных побережьях почти не используются. Буны, как пляжеудерживающие сооружения, предназначены для предотвращения выноса с создаваемого пляжа материала при его вдольбереговом перемещении под воздействием волн. Для галечных пляжей, на которых поперечное перемещение отсыпанного пляжеобразующего материала ограничено последним обрушением волн, головная часть пляжеудерживающих бун располагаться мористее этой линии. При этом эффективность буны по удержанию пляжа, сложенного крупнозернистым материалом, определяется отметками ее гребня и целостностью самой конструкции. Такой же принцип сохранности создаваемого пляжа заложен и при создании песчаных волногасящих пляжей. Однако принципиальным отличием процессов, протекающих во время волнения на песчаных пляжах от динамики галечных пляжей, является существенная роль поперечных перемещений песка, которые могут распространяться вплоть до линии первого обрушения волн. Буны такой длины возможно создать только теоретически. В этом случае «принцип пляжеудержания», заключающийся в сохранности отсыпаемого песчаного материала под защитой пляжеудерживающих сооружений малоэффективен.

Представляется, что более перспективным является принцип снижения волнового воздействия на создаваемый песчаный пляж в результате возведения сооружений, уменьшающих высоту и угол подхода волн. Такие волногасящие сооружения, выполненные в виде единой конструкции или с разрывами, должны располагаться в море на определенном расстоянии от берега. Отметки их гребней, как и ширина, в зависимости от конкретных условий, могут быть различными. Расчет таких сооружений, основанных не на принципе строительства непосредственно пляжеудерживающих сооружений, а на принципе возведения волногасящих сооружений, которые, в конечном счете, приводят к сохранности создаваемого песчаного пляжа, сложен, и во многих случаях требует проведения гидравлических исследований на волновых установках.

Заключение

Усиливающиеся темпы размыва песчаных побережий предопределяют проведение берегозащитных мероприятий. Эффективным элементом защиты песчаных побережий от воздействия штормов, созданным самой природой, является волногасящий пляж, на надводной части которого происходит полное гашение наката максимальных волн. Уменьшение ширины природных волногасящих пляжей приводит к прогрессирующему со временем размыву песчаного берега и возникновению угроз разрушения хозяйственных объектов. Наиболее перспективным методом защиты песчаного побережья от размывающего воздействия волн является восстановление природных волногасящих пляжей или создание новых, способных полностью гасить накат волн в максимальных штормах. Для этого необходимо выполнение отсыпок песчаного пляжеобразующего материала в объемах, достаточных для восстановления или создания таких волногасящих пляжей.

Предлагаемый авторами подход к проектированию песчаных пляжей рекомендуется использовать при актуализации нормативных документов в области гидротехнического строительства и инженерной защиты транспортных сооружений и берегов от негативного воздействия морских волн⁸.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафьянов Г. А. Геоморфология морских берегов. М. : МГУ, 1996. 400 с.
2. Зенкович В. П., Попов Б. А. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: процессы, понятия, определения. М. : Мысль, 1980. 280 с.
3. Сафьянов Г. А. Инженерно-геоморфологические исследования на берегах морей. М. : МГУ, 1987. 150 с.
4. Иваненко Т. А., Ветрова Н. М., Гайсарова А. А. О целесообразности разработки эколого-инженерных решений противооползневой защиты прибрежных зон Крыма // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 28—37.
5. Тлявлиня Г. В., Ярославцев Н. А., Петров В. А., Тлявлин Р. М. О методах защиты транспортных сооружений на открытых песчаных берегах внутренних морей // Транспортное строительство. 2015. № 6. С. 14—16.
6. Коростелева М. В., Коростелева Н. В. Санитарно-защитные зоны в планировочной структуре городов как специальные территории с особым режимом использования: нормативные правила установления и особенности закрепления в градостроительной документации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 178—187.
7. Косьян Р. Д., Дивинский Б. В. Проблемы моделирования транспорта осадков в береговой зоне моря // Океанологические исследования. 2021. Т. 49. № 1. С. 93—141.
8. Divinsky B. V., Kos'yan R. D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions // Oceanology. 2019. Vol. 59. No. 4. Pp. 482—490.
9. Kos'yan R., Grune J., Divinskiy B., Podymov I. Nowadays Problems of Sediment Transport Modelling in the coastal zone // Proceedings of 34th Conference on Coastal Engineering. 2015. No. 34. DOI: 10.9753/icce.v34.sediment.19.
10. Бондарева Е. В. Калибровка математической модели интегрального вдольберегового переноса неоднородных наносов на основе результатов численного моделирования // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 97-8. С. 47—51.
11. Леонтьев И. О. К оценке параметров искусственного песчаного пляжа // Океанология. 2022. Т. 62. № 3. С. 485—494.

⁸ СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

СП 416.1325800.2018. Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403251>.

12. Леонтьев И. О. Абразия берега, сложенного рыхлым материалом // Океанология. 2022. Т. 62. № 1. С. 125—134.
13. Леонтьев И. О., Аквис Т. М. О воздействии системы бун на песчаный берег // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 474—484.
14. Леонтьев И. О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М. : ГЕОС, 2001. 272 с.
15. Dohmen-Janssen C., Hanes D. Sheet flow and suspended sediment due to wave groups in a large wave flume // Continental Shelf Research. 2005. No. 25. Pp. 333—347.
16. Dean R. G. Beach nourishment: theory and practice. World Scientific Inc., 2002. 399 p.
17. Айбулатов Н. А. Исследование вдольберегового перемещения песчаных наносов в море. М. : Наука, 1966. 159 с.
18. Корзинин Д. В., Штрель М. Н. Динамика подводного вала песчаного берега под воздействием штормового волнения по данным мониторинговых наблюдений // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 4(214). С. 424—436.
19. Косьян Р. Д., Крыленко В. В. Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
20. Leont'yev I. O. Evaluation of depth of closure on a sandy coast // Oceanology. 2022. Vol. 62. Iss. 2. Pp. 258—264.
21. Leont'yev I. O. Artificial beach as a structure for protecting a seacoast from storm surge impact (based on the example of the eastern gulf of Finland) // Oceanology. 2019. Vol. 59. Iss. 2. Pp. 267—275.
22. Лаппо Д. Д., Стрекалов С. С., Завьялов В. К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты. Л. : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1990. 432 с.
23. Петров В. А. Волногасящие галечные пляжи. М. : Экон-Информ, 2021. 295 с.
24. Шахин В. М. Эволюция прибрежной зоны моря в окрестности стока наносов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1992. Т. 226. С. 64—67.
25. Noujas V., Thomas K. V., Ajeesh N. R. Shoreline management plan for a protected but eroding coast along the south-west coast of India // International Journal of Sediment Research. 2017. No. 2. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2017.02.004i.
26. Süme V. Shoreline changes in three groin fields on the eastern Black Sea coast // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. Vol. 28. Iss. 1. Pp. 125—131.

© Петров В. А., Тлявлиная Г. В., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Петров В. А., Тлявлиная Г. В. Расчет волногасящего песчаного пляжа как защитного сооружения для объектов транспортной инфраструктуры // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 79—89. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_79.

Об авторах:

Петров Виктор Алексеевич — канд. географ. наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“». Российская Федерация, 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1; demmi8@mail.ru; Author ID 71251; SPIN-код: 9421-9889; Scopus ID: 7402842652

Тлявлиная Галина Вячеславовна — канд. техн. наук, зав. лабораторией моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“». Российская Федерация, 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1; TlyavlinaGV@Tsniiis.com; ORCID: 0000-0003-4083-9014, AuthorID: 604630; SPIN-код: 5516-9241; Scopus ID: 57215131371

Viktor A. Petrov, Galina V. Tlyavlina

JSC TsNIITS "Research Center "Sea Coasts"

CALCULATION OF A WAVE-EXTINGUISHING SANDY BEACH AS A PROTECTIVE STRUCTURE FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES

The issues of designing sandy beaches as structures for engineering protection of transport structures (roads, railways, etc.) and shores from erosion by sea waves are considered. A method for calculating a sandy beach is proposed, developed on the basis of field long-term observations, research and development work. The research results are intended to update regulatory documents in the field of marine coastal protection.

Key words: calculation, coastal protection, design, engineering protection, sandy beach, sea waves.

For citation:

Petrov V. A., Tlyavlina G. V. [Calculation of a wave-extinguishing sandy beach as a protective structure for transport infrastructure facilities]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 79—89. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_79.

About authors:

Viktor A. Petrov — Candidate of Geographical Sciences, JSC TsNIITS "Research Center "Sea Coasts". 1, Iana Fabritsiusa st., Sochi, 354002, Russian Federation; demmi8@mail.ru; Author ID 71251; Scopus ID: 7402842652

Galina V. Tlyavlina — Candidate of Engineering Sciences, JSC TsNIITS Research Center "Sea Coasts". 1, Iana Fabritsiusa st., Sochi, 354002, Russian Federation; TlyavlinaGV@Tsnis.com; ORCID: 0000-0003-4083-9014; AuthorID: 604630; Scopus ID: 57215131371