

УДК 627.52

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОБЕРЕЖЬЯ КУРШСКОЙ КОСЫ ОТ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2012 г. Л.А. Терещенко^{1,2}, Н.Р. Ахмедова¹, А.С. Ведяшкин¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград

²Муниципальное унитарное предприятие коммунального хозяйства «Водоканал» городского округа «Город Калининград», г. Калининград

Ключевые слова: волновое воздействие, оболочки из мягких материалов, защита морского побережья, энергия прибойного потока.



Л.А. Терещенко



Н.Р. Ахмедова



А.С. Ведяшкин

Статья посвящена разработке легко устанавливаемых переносных гидротехнических сооружений, в виде заполняемых водой оболочек из мягких материалов, которые рекомендуется временно устанавливать на проблемных участках Куршской косы для защиты морского побережья от размыва прибойными волнами при штормовых явлениях с ветровым нагоном.

В последние годы на побережье Куршской косы (Калининградское побережье Балтики) резко активизировались оползневые и берегоразрушительные процессы, что привело побережье к разрушению защитного вала (авандюны), к размыву пляжа и значительному уменьшению его ширины, к большим потерям береговой территории.

Для защиты морского побережья Куршской косы от размыва прибойными волнами разрабатывается множество способов, в т. ч. предлагается использовать нестационарные гидротехнические сооружения, представляющие собой оболочки из водонепроницаемых мягких материалов, запол-

Водное хозяйство России № 5, 2012

Водное хозяйство России

ненные водой. Такие конструкции не решают всей проблемы защиты побережья, но в сочетании со стационарными сооружениями, отвечающими требованиям по экологии, призваны обеспечить сохранность Куршской косы, как уникального природного образования.

Известны несколько защитных устройств, одно из которых [1] выполнено в виде плотины из тканевых материалов в форме замкнутой цилиндрической оболочки, наполненной водой и воздухом. Недостатком данного устройства является то, что оно может гасить лишь энергию прибойной волны и не приспособлено для совершения полезной работы по укреплению берега.

Устройство для защиты песчаных пляжей от размыва прибойными волнами [2], состоящее из оболочки, выполненной из тканевых материалов в форме цилиндра и наполненной жидкостью и воздухом. Оболочка снабжена крепежными элементами и установлена с возможностью перекачивания в зоне действия обрушающейся на напорный откос песчаного пляжа прибойной волны. Недостатком устройства является то, что при перекачивании оболочки с большим объемом воды возникают значительные напряжения в местах крепления к ней канатов, а также в анкерах, точно закрепленных в песчаном грунте пляжа. В результате этого снижается надежность крепления оболочки на напорном откосе пляжа.

Авторами разработаны устройства (рис. 1, 2), которые позволяют устранить недостатки вышеотмеченных устройств и решить задачу повышения надежности крепления защитной оболочки на напорном откосе пляжа.

Основным конструктивным элементом предлагаемых гидротехнических сооружений является оболочка из мягких материалов, которая заполняется водой и частично воздухом. Для удержания оболочки на напорном откосе песчаного пляжа предложены различные варианты: с помощью анкеров и удерживающих тросов; подпорных стенок из мешков с пляжным грунтом, заполняемых водой опорных пустотелых блоков из твердых оболочек, заполняемых водой опорных призм из мягких материалов.

Вместо подпорных стенок, инвентарных блоков и опорных призм в следующем предложенном устройстве используются протяженные опорные оболочки, что позволяет производить механизированное заполнение водой не только основной, но и опорных оболочек. В результате снижаются трудовые затраты, экономится время на установку гидротехнического сооружения и обеспечивается надежность крепления основной оболочки на пляже.

На рис. 1 приведена схема установки трехкамерной оболочки на напорном откосе песчаного пляжа.

На напорном откосе 1 (рис. 1а) песчаного пляжа 2, наклоненного к горизонту под углом α , устанавливают основную 3 и опорные 4 и 5 оболочки,

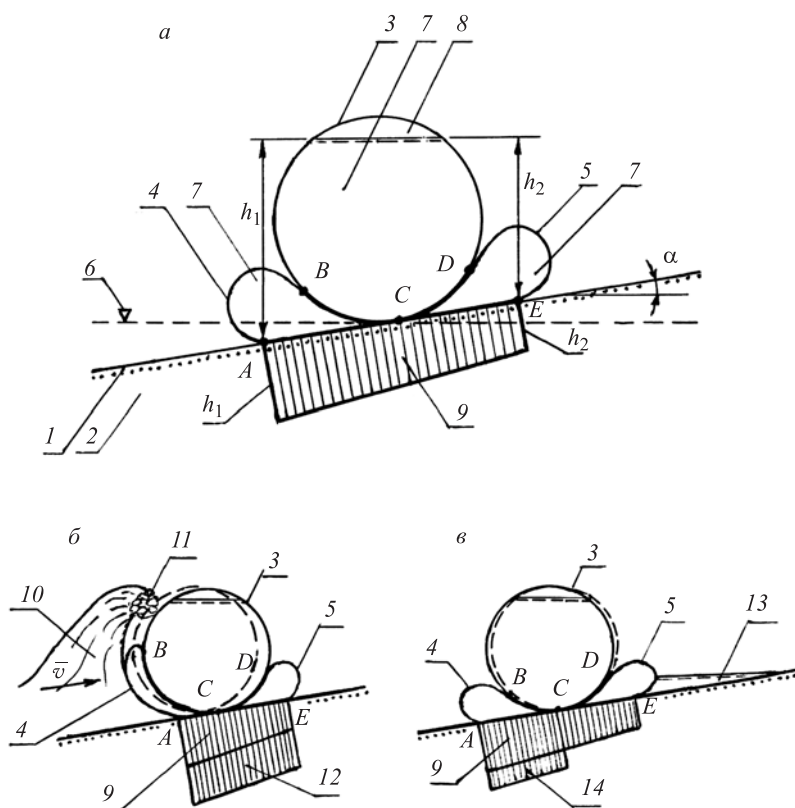


Рис. 1. Трехкамерная оболочка:

a – схема установки оболочки на напорном откосе пляжа; *б* – оболочка при обрушении прибойной волны; *в* – оболочка при откате волны
(1 – напорный откос пляжа; 2 – пляж; 3 – основная оболочка; 4, 5 – опорные оболочки; 6 – уровень спокойной воды при нагонном явлении; 7 – вода; 8 – воздух; 9 – эпюра гидростатического давления; 10 – обрушающаяся волна; 11 – бурун; 12 – эпюра пьезометрического давления; 13 – прудок-отстойник; 14 – эпюра давления от воздействия сил инерции).

выполненные из тканевых материалов в виде легких замкнутых цилиндров, соединенных между собой в точке *C*, расположенной на пересечении уровня спокойной воды *б* (с учетом нагона) при штормовых явлениях и напорного откоса *1*.

Оболочки 4 и 5 выполнены с длиной окружности, равной половине окружности оболочки 3. Их заполняют водой наполовину цилиндрического объема, а оболочку 3 заполняют водой 7 и воздухом 8. После заполнения 3, 4 и 5 гидростатическое давление в оболочке 3 через материал оболочек на участке *BC* передается воде 7 в оболочке 4, а на участке *CD* – воде 7 в обо-

лочке 5. В результате этого эпюра давления (представленная в виде напора) всего устройства на участок AE напорного откоса 1 песчаного пляжа 2 приобретает вид, показанный на рис. 1а.

Обрушающаяся на напорный откос 1 (рис. 1б) пляжа 2 приборная волна 10 и срывающийся с ее вершины бурун 11, деформируют оболочки 3 и 4, положение которых относительно исходного показано пунктирной линией.

Кинетическая энергия приборной волны при этом превращается частично в энергию давления внутри оболочек 3, 4 и 5. Скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$ (где v – скорость, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²) превращается в пьезометрический и частично в геометрический напор, выражающийся в перемещении воды в оболочке 4 вертикально вверх, а воды в оболочке 3 выше по напорному откосу 1 пляжа 2.

Участок AE напорного откоса 1, на который передается нагрузка от веса устройства, уменьшается по длине и перемещается по напорному откосу в сторону берега. Эпюра давления при этом складывается из гидростатического $9(h)$ и пьезометрического $12\left(\frac{p}{\rho g}\right)$ (где p – давление, Па; ρ – плотность

воды, кг/м³) напоров.

Вода, которая в виде брызг перелетает через оболочку 3, формирует за ней прудок-отстойник 13 (рис. 1в) который создает подпор оболочке 5, а при сходе волны – частично фильтруется через грунт пляжа с осадением в массиве грунта взвешенных в воде мелких твердых частиц.

Энергия воды гасится, расходуясь на сжатие воздуха в оболочке 3, на перемещение оболочек, на образование вихрей в объемах воды, замкнутых в оболочках, на упругое растяжение материала оболочек, а в итоге на уплотнение грунта в основании устройства.

После завершения воздействия приборного потока оболочки 3, 4 и 5 возвращаются в исходное положение (пунктирные линии на рис. 1в), предварительно пройдя по инерции и за счет упругого восстановления материала оболочек в положение ниже по откосу 1, показанное сплошными линиями (эпюра напора за счет сил инерции обозначена цифрой 14).

Закрепление основной оболочки посредством установки по бокам дополнительных опорных оболочек, заполненных наполовину их цилиндрического объема, обеспечивает устойчивое положение на напорном откосе песчаного пляжа всего гидротехнического сооружения при воздействии штормовых волн.

Для обеспечения устойчивости наполняемой водой оболочки из мягких материалов предлагается оболочку с внутренней стороны оборудовать не менее чем двумя перемычками, за счет которых она приобретает форму,

близкую к равнобедренной трехгранной призме с углом при вершине не менее 60° . Внутренние перемычки выполняются параллельно основанию и перфорируют. Ширину каждой перемычки находят из соотношения:

$$L = \frac{Lh}{H}, \quad (1)$$

где L – ширина основания трехгранной призмы, м;
 h – нормаль из вершины призмы на внутреннюю перемычку, м;
 H – высота призмы, м.

Предлагаемая конструкция водонаполняемой перемычки с внутренними перфорированными перемычками показана на рис. 2.

На напорном откосе 3 (рис. 2а), песчаного пляжа перед наступлением штормового периода размещают оболочку 5, соединенную посредством усиленных лентами швов 7 с внутренними перемычками 6, выполненными с перфорацией. После заполнения водой оболочка 5 приобретает форму, близкую к форме трехгранной призмы благодаря внутренним перемычкам 6, параметры которых определяются по формуле (1).

Прибойный поток 1 разбившейся волны, имеющий эпюру 2 распределения скоростей движения, набегают на наклонную грань AB оболочки 5. Часть кинетической энергии прибойного потока превращается в потенциальную энергию подъема воды вверх по напорному откосу 3 и вдоль грани $A-B$ оболочки.

Верхние слои прибойного потока 1, обладающие более высокой скоростью и соответственно большей кинетической энергией достигают вершины оболочки 5 (точка B) и переливаются по грани BC , формируя прудок-отстойник 8 с уровнем 9 воды, которая фильтруется (на рисунке показано стрелками) через песок под гранью AC в период отката волны. В пруде-отстойнике кинетическая энергия верхних слоев потока от последующих волн окончательно расходуется на вихреобразование на пути движения к защищаемому от размыва береговому склону. Энергия прибойного потока тратится также на изменение формы оболочки и преодоление сопротивления отверстий при движении воды внутри оболочки через перфорированные перемычки.

Благодаря большой площади опоры (грань AC) оболочки на напорный откос песчаного пляжа и наклону боковых граней в сторону от центра тяжести воды, заключенной в оболочке, обеспечивается устойчивое положение конструкции без ее крепления на напорном откосе.

Таким образом, для проектирования мер защиты морского побережья от размыва прибойными волнами рекомендуются следующие легко возводимые переносные конструкции:

- цилиндрические оболочки, из мягких материалов наполняемые водой и воздухом с креплением на напорном откосе пляжа с помощью 1) подпорных

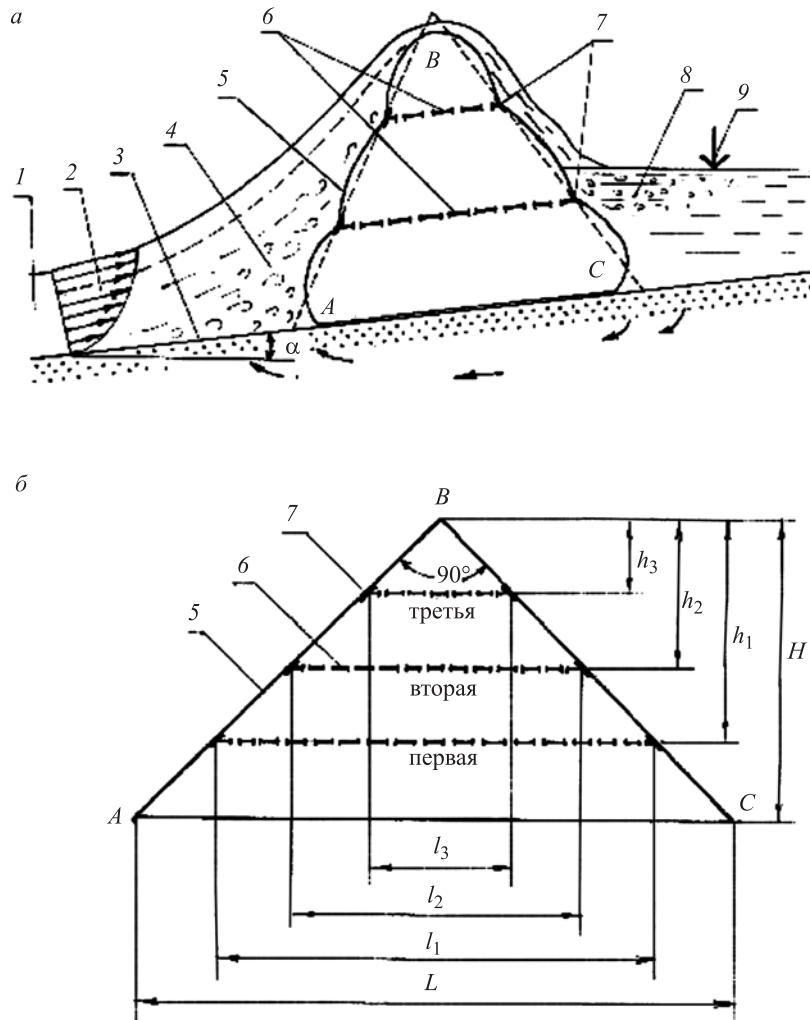


Рис. 2. Оболочка с внутренними перфорированными перемычками:
a – поперечный разрез перемычки с углом 60° при вершине; *б* – схема для расчета параметров перемычки (*1* – прибойный поток; *2* – эпюра скоростей; *3* – напорный откос; *4* – зона вихреобразования; *5* – оболочка; *6* – перфорированная перемычка; *7* – швы с лентами усиления; *8* – прудок-отстойник; *9* – уровень воды в прудке-отстойнике).

стенки из мешков с пляжным грунтом; 2) жестких пустотелых заполняемых водой блоков; 3) мягких заполняемых водой призм;

- трехсекционные цилиндрические оболочки из мягких материалов, наполняемые водой и воздухом, в которых роль опорных элементов выполняют две, меньшие по размеру, в сравнении с основной, оболочки;

• оболочки с внутренними перфорированными перемычками позволяют полностью механизировать процесс их установки на напорном откосе песчаного пляжа с помощью одной мобильной насосной установки.

Преимуществом новых разработок является то, что устройства одновременно гасят энергию прибойной волны и совершают работу по укреплению берега. Известные защитные устройства песчаных пляжей от размыва прибойными волнами имеют ряд недостатков, которые проявляются при их эксплуатации, это – снижение надежности устройств на напорном откосе пляжа, значительные трудовые затраты, длительное время на установку гидротехнического сооружения. Предлагаемые авторами новые устройства устраняют все перечисленные недостатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтин Б.М., Корюкин С.Н. Гидротехнические сооружения. М.: Агропромиздат, 1991. 351 с.
2. Патент 2287636 РФ. Способ защиты песчаных пляжей от размыва и устройство для его осуществления / А.С. Ведяшкин; опубл. 20.11.2006. Бюл. № 32. 5 с.
3. Болдырев В.Л. Экология берегозащиты // Проблемы физической и экономической географии Калининградского региона. Сб. тр.1995. С. 58–64.
4. Лымарев В.И. Морские берега и человек. М.: Наука, 1986. 159 с.
5. Терещенко Л.А. История берегозащиты Куршской косы. Часть 1. Довоенные годы // Проблемы развития водохозяйственного комплекса Калининградской области. Сб. научн. тр. 2010. С. 87–89.
6. Ведяшкин А.С., Афанасьев В.В., Терещенко Л.А. История берегозащиты Куршской косы. Часть 2. Послевоенные годы // Проблемы развития водохозяйственного комплекса Калининградской области. Сб. научн. тр. 2010. С. 29–33.

Сведения об авторах:

Терещенко Людмила Александровна, аспирантка, кафедра Водных ресурсов и водопользования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, Советский проспект, 1; инженер, отдел реализации программ развития, Муниципальное унитарное предприятие коммунального хозяйства «Водоканал» городского округа «Город Калининград», г. Калининград, ул. Комсомольская, 12; e-mail: lusi1011@mail.ru

Ахмедова Наталья Равиловна, к. б. н., доцент, кафедра Водных ресурсов и водопользования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, Советский проспект, 1

Ведяшкин Анатолий Сергеевич, д. т. н., профессор, кафедра Водных ресурсов и водопользования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, Советский проспект, 1