



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ISSN 0016-9714

ГИДРО- ТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

1 2019
ЭНЕРГОПРОГРЕСС



ГИДРО- ТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Ежемесячный
научно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РФ,

ПАО «РУСГИДРО»,

АССОЦИАЦИЯ «КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК»,

ЗАО НТФ «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»,

НП «НТС ЕЭС»

Основан в 1930 г.

№ 1

январь

2019

Содержание

Проектирование, строительство, эксплуатация

Устинов А. В., Кафтан В. И. Технология мониторинга перемещений гидротехнических сооружений в процессе компенсационного нагнетания 2

Корчагин Е. А., Кузнецова В. Н. Исследование эффективности металлических больверков с замками типа “кулачок в обойме” 8

Безопасность гидротехнических сооружений

Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т., Демнев А. Д., Сединин А. М. Биотехнологический метод подавления метаногенеза в грунтовых плотинах 15

Расчеты, исследования, эксперименты

Болгов М. В., Коробкина Е. А., Филиппова И. А., Осипова Н. В. Об учете оценок предельных значений стока при построении функции распределения максимальных расходов воды 23

Толстикова В. В. Изменение фильтрационного противодавления на подошву бетонной гравитационной плотины при раскрытии контактного шва и разуплотнении скального основания 29

Чернышев С. Н., Зоммер Т. В., Зоммер В. Л. Расчетная методика определения коэффициента фильтрации скального массива с трещинами ограниченной длины 38

Тлявлиева Г. В., Макаров К. Н., Тлявлин Р. М. Обоснование основных положений свода правил по защите берегов приливных морей 42

Из истории гидротехники

Беляков Ю. П. История Ортококойского водохранилища 47

Обоснование основных положений свода правил по защите берегов приливных морей

Тлявлиная Г. В.¹, кандидат техн. наук, зав. лабораторией защиты морских берегов
Научно-исследовательского центра “Морские берега” (филиал АО “ЦНИИС”, г. Сочи),
Макаров К. Н.², доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства Сочинского
государственного университета,
Тлявлин Р. М.³, кандидат техн. наук, директор Научно-исследовательского центра “Морские
берега” (филиал АО “ЦНИИС”, г. Сочи)

В настоящее время разработан и размещен на сайте Минстроя РФ Свод правил по проектированию инженерной защиты берегов приливных морей. В статье дается обоснование основных положений этого СП. Приведен обзор нормативных документов по проектированию берегозащитных мероприятий России и других стран. Установлено, что в настоящее время особенности гидро- и литодинамических характеристик приливных морей в указанных документах не учитываются. В ряде случаев это приводит к принятию неправильных проектных решений. Обоснованы наиболее перспективные типы берегозащитных сооружений для приливных морей, внесенные в свод правил. Эти сооружения исследованы на гидравлических моделях в волновом лотке и бассейне.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, приливные моря, величина прилива, экспериментальные исследования, гидравлическое моделирование, волновые воздействия, устойчивость сооружений.

The rationale for the main provisions of the manual of shore protection in tidal seas

Tyavlina G. V., Research center “Sea coast” (branch of JSC TsNIIS),
Sochi Ph. D., head laboratory of protection of sea shores,
Makarov K. N., Sochi State University, doctor of science,
Professor, head of department,
Tyavlin R. M., Research center “Sea coast” (branch of JSC TsNIIS),
Sochi Ph. D., Director

Currently, a set of rules for the design of engineering protection of the tidal seas coasts has been developed and posted on the website of the Ministry of Construction of the Russian Federation. The article substantiates the main provisions of this set of rules. The review of regulatory documents on the design of coastal protection measures in Russia and other countries is given. It is established that at the present time the features of hydrodynamic and litho dynamic characteristics of tidal seas in these documents are not taken into account. This in some cases leads to the adoption of incorrect design decisions. The most promising types of bank protection structures for tidal seas, introduced in the code of rules, are substantiated. These constructions were investigated on hydraulic models in a wave tray and a basin.

Keywords: coastal protection structures, tidal seas, tidal magnitude, experimental studies, hydraulic modeling, wave effects, stability of structures.

В настоящее время в Российской Федерации берегозащитные мероприятия регламентируются нормативным документом [1], введенным в действие в 2017 г. Кроме того, проектирование и строительство гидротехнических, в том числе берегозащитных, и иных сооружений на морских берегах регламентируются еще рядом нормативных документов. Методы расчета берегозащитных и портовых сооружений в этих документах, как правило, не разделяют проектные акватории на приливные или бесприливные. Исключением являются рекомендации по определению

навигационных отметок и возвышений кордонов причалов [2].

Анализ зарубежных (Германия, США, Великобритания, Франция, Австралия, Нидерланды, Испания, Япония) нормативных и методических документов (например [3 – 5]) показал, что при изложении принципов проектирования морских гидротехнических сооружений в них также нет специального разделения на приливные и бесприливные моря.

Однако, берега, развивающиеся в условиях преобладающего воздействия волнения, и берега приливных морей существенно отличаются по морфологии, поэтому становится необходимым их отдельное рассмотрение [6].

Под приливными морями в данной работе понимаются моря, в которых средняя величина прилива

¹ tlyavlinaGV@tsniis.com

² ktk100@mail.ru

³ tlyavlinrm@tsniis.com

составляет 0,5 м и более. В береговой зоне и на шельфе приливного моря существует специфический гидродинамический режим, при котором приливно-отливные течения выступают в качестве основного энергетического фактора совместно с волнением, образуя единое “волноприливное поле”. При этом удельная роль волнения и течений при прочих равных условиях определяется величиной прилива: чем она больше, тем выше скорости приливно-отливных течений и тем большую роль они играют в перемещении обломочного материала. Волноприливное поле определяет большую интенсивность (мощность) литодинамических процессов на приливных морях по сравнению с неприливными.

Примеры разрушения гидротехнических сооружений в приливных морях, запроектированных по нормам для бесприливных морей, приведены в работе [7].

Таким образом, специфические природные условия (своеобразие береговых процессов) приливных морей, обусловленные периодическими колебаниями уровня моря, и образование специфических форм донного рельефа (осушек), а также приуроченность абразионных процессов, приводящих к разрушению берегового уступа, к уровню сизигийных (наибольших) приливов требуют специальных подходов к разработке инженерных решений по защите таких берегов.

Можно выделить следующие особенности гидро- и литодинамических процессов на берегах приливных морей, которые необходимо учитывать при проектировании берегозащитных мероприятий:

1. Приливы представляют собой длинные волны, на распространение и амплитуду которых значительное влияние оказывает контур береговой линии.

2. Подножье берегового клифа на приливных морях располагается вблизи максимального (сизигийного) уровня, а иногда даже и выше его. Следовательно, параметры сооружений, предотвращающих размыв берега, должны рассчитываться относительно этого максимального уровня. Отметки верха сооружений должны задаваться с учетом воздействия волн, распространяющихся при максимальном приливном уровне, который может быть ещё повышен за счет нагона воды под воздействием ветра. В процессе отлива низ таких сооружений будет оголяться, поэтому необходимы меры по его защите от подмыва.

3. В обычных условиях скорости приливных течений преобладают над скоростями во время отливов. Это обуславливает перемещение и расположение крупнообломочного материала в верхней части профиля, вблизи подножья клифа. Поэтому для защиты оснований береговых уступов и возведенных сооружений могут создаваться искусственные галечные пляжи. Песчаные пляжи для этих целей малопригодны, так как во время отливов они могут быть смещены к урезу малой воды, т.е. в нижнюю (морскую) часть осушки.

4. Устойчивость берегозащитных сооружений на приливных морях необходимо рассчитывать с учетом воздействия приливных течений. Как указывалось выше, размыв берегового уступа приурочен к максимальным уровням воды во время приливов. Но в этом месте скорости прилива близки к нулю, как и в наименьшей точке отлива. Максимальные значения приливных и отливных течений достигаются примерно в середине участка, заключенного между положениями уровня воды во время прилива и отлива.

Министром РФ было принято решение разработать Свод правил по защите берегов приливных морей. Для обоснования основных положений этого нормативного документа были выполнены специальные исследования на гидравлических моделях. В результате анализа опыта проектирования и строительства берегозащитных сооружений, в том числе за рубежом [8], представляются перспективными для применения на берегах приливных морей следующие типы волногасящих сооружений: галечные пляжи (свободные и в комплексе с пляжеудерживающими сооружениями), волногасящие бермы из горной массы, камня и фасонных массивов. Эти типы сооружений и были включены в программу исследований.

Методика исследований

Исследования проводились на экспериментальной базе НИЦ “Морские берега” в г. Сочи. Экспериментальная база позволяет моделировать процессы взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями, проводить измерения и регистрацию элементов волн, волновых нагрузок и скоростей течений. Измерения осуществляются современными, специально разработанными датчиками с записью информации на магнитный носитель, а также с помощью видео — и фотокамер.

Основные размеры волнового лотка, в котором выполнены эксперименты: длина 20 м, ширина 0,6 м, высота стенок 1 м. Волны генерируются щитовым волнопродуктором, установленным в приямке у одной из торцевых стенок (рис. 1).

Основные параметры волнового бассейна (рис. 2): ширина 13 м, длина 19 м, высота стенок 1 м. Бассейн оснащен щитовым волнопродуктором. В бассейне расположен поворотный круг диаметром 12,0 м. Это позволяет разворачивать модель относительно волнопродуктора, изменяя угол подхода волн к ней.

Деформации (размыв) дна вблизи сооружений определялись по данным нивелировок по сгущенной сетке с шагом 5; 10 или 15 см в зависимости от размеров эрозионного углубления. По каждому размыву выполнялись фото — и видеосъемки.

Основным методом исследований устойчивости и эффективности работы волногасящих сооружений на берегах с приливными колебаниями уровня моря являлось сопоставление результатов экспериментов, полученных при постоянном уровне воды, на моделях волногасящих сооружений, возведенных по нормати-



Рис. 1. Волновой лоток

вам для бесприливных морей, с результатами экспериментов, полученными при изменениях уровня воды, т.е. оценке устойчивости сооружений при наличии приливно-отливных колебаний. При этом начальные условия и параметры волн в экспериментах (опытах) сохранялись постоянными.

Моделирование в лотке выполняли в линейных масштабах $m_1 = 1/16$; $1/20$; $1/30$; в бассейне — $m_1 = 1/37$. Продолжительность опытов назначали исходя из того, что прилив в натуральных условиях длится 11 ч, а отлив — 13 ч. По критерию подобия Фруда масштаб времени на модели составляет $m_t = (m_1)^{0,5}$.

Исследования проводили на подводном склоне, имитирующем осушку, образующуюся перед береговым откосом в фазу отлива. Подводный береговой склон длиной на модели 7,3 м был выполнен из фанеры, установленной по уклону 0,005, что соответствовало в природных условиях среднему уклону дна в пределах зоны осушки. Для соблюдения шероховатости дна на фанеру нанесен слой песка. Береговой уступ, перед которым устанавливали различные волногасящие сооружения, был вертикальным.

Исследования проводили в четыре этапа:

- галечный пляж;
- берма из горной массы;
- бермы из камня и фасонных блоков;
- дамба из камня и бетонных блоков.

Результаты исследований

Для исследования эффективности галечного пляжа было выполнено три серии экспериментов. Средняя крупность пляжеобразующего материала в пересчете на натуру составляла 22 и 36 мм. Пляж отсыпался в виде строительного профиля по объему, соответствующему расчетному профилю динамического равновесия с запасом 20 % [1].

В опыте № 1 под воздействием волнения высотой 1,6 м в натуре при уровне, соответствующем максимальному приливу, был сформирован профиль динамического равновесия (рис. 3).



Рис. 2. Волновой бассейн

В опыте № 2 при профиле, выработанном при постоянном уровне воды в опыте № 1, воссозданы условия отлива.

В процессе уменьшения уровня воды наблюдалось смещение зоны обрушения волн на более низкие горизонты. Вслед за смещением зоны обрушения отмечалось оттягивание пляжного материала мористее подводного его окончания на профиле динамического равновесия, выработанного в опыте № 1.

При понижении уровня воды в процессе опыта на поверхности пляжа сформировалась серия валов. Общее понижение уровня воды по сравнению с началом опыта составило 3,0 м в пересчете на натуру. Вид пляжа, сформировавшегося в опыте № 2, представлен на рис. 4.

В опыте № 3 на профиле, сформированном при отливе в опыте № 2, воспроизведены условия прилива. Общее повышение уровня воды составило 3,0 м в пересчете на натуру.

В процессе опыта при повышении уровня воды не отмечено смещения подводной границы пляжа, выработанной при понижении уровня в опыте № 2 в сторону берега, т.е. пляжный материал, сместившийся вниз при отливе, не вернулся назад при приливе. При волновом воздействии в условиях повышения уровня воды наблюдался размыв аккумулятивных валов, сформировавшихся в опыте № 2, что привело к сглаживанию поверхности пляжа. Общий вид модели в конце опыта № 3 показан на рис. 5.

Выполненная серия экспериментов свидетельствует о том, что при отливе часть материала уходит мористее подводной границы профиля динамического равновесия, рассчитанного по нормативным документам для бесприливных морей, что необходимо учитывать при определении объемов отсыпок искусственных пляжей, возводимых на приливных морях.

Во второй серии экспериментов, состоящей из шести опытов, исследовалось влияние неоднократной смены приливно-отливных циклов на формирование профиля пляжа.



Рис. 3. Профиль динамического равновесия галечного пляжа при максимальном приливе

В третьей серии экспериментов, состоящей из десяти опытов, исследовалась устойчивость галечного пляжа при воздействии волн в сочетании с приливно-отливными колебаниями уровня воды.

В опытах определялись деформации профиля пляжа относительного динамического равновесия, выработанного при постоянном уровне воды, соответствующем максимальной фазе прилива при воздействии волн в сочетании с приливно-отливными колебаниями.

Основной вывод по результатам экспериментов с пляжем заключается в том, что под действием отлива часть пляжного материала оттягивается на глубину, с которой при приливе на профиль он не возвращается. Это приводит к сокращению ширины надводной части пляжа, тем самым снижается его волногасящая эффективность.

Исследования эффективности берм из горной массы выполнено в волновом бассейне. В качестве природного объекта для модели был выбран участок Баренцева моря, характеризующийся следующими природными условиями:

отметка максимального уровня моря во время прилива в Балтийской системе высот повторяемостью 1 раз в 50 лет — минус 1,80 м;

минимальный уровень — минус 2,68 м;

величина прилива — 4,48 м.

Наибольшее воздействие на берег оказывают волны штормов северо-западного направления, высота которых по линии обрушения составляет 4,39 м при периоде — 8,6 с. Берег и прибрежное дно сложены песком с примесью гальки.

На модели был воспроизведен рельеф береговой зоны в масштабе 1:37 с берегозащитным сооружением в виде бермы из горной массы со средней крупностью материала 4 мм (150 мм в пересчете в натуру) (рис. 6).

Вначале при уровне воды, соответствующем максимальному приливу, из исходной отсыпки был выработан профиль относительного динамического равновесия бермы. Затем на модели создавались условия отлива и прилива.

При отливе произошло уположение фронтальной части профиля бермы. Подводная его граница сместилась в море. Под воздействием волнения в процессе



Рис. 4. Профиль пляжа в конце отлива

прилива никаких изменений профиля бермы, выработанного при отливе, не произошло.

Исследования эффективности берм из камня и фасонных блоков (тетраподов) выполнены в волновом лотке по методике, аналогичной исследованиям галечного пляжа.

Предварительно по нормативной методике [9] рассчитывалась масса камня (блока), соответствующая его предельному равновесию на откосе с заданным уклоном и расчетными параметрами волнения.

В процессе опыта с каменной бермой в условиях максимального приливного уровня в начальный период наблюдался сброс нескольких мелких слабозащемленных камней с верхней части откоса в нижнюю. В дальнейшем наблюдались колебания отдельных камней несколько мористее приурезовой зоны в месте окончательного разрушения волн.

При отливе по мере уменьшения глубины воды хотя и происходило снижение высоты волн, но наблюдалось смещение зоны колебания камней вниз по профилю сооружения, вслед за смещением места окончательного опрокидывания гребня волн.

Дальнейшие исследования проводились с увеличением уклона дна и глубины перед бермой. Было установлено, что при крутых уклонах дна во время отлива усиливается волновое воздействие на нижнюю часть сооружения, приводящее к потере устойчивости отдельных камней, чего не наблюдалось при волновом воздействии при неизменном уровне, соответствующем максимальному уровню воды во время прилива.



Рис. 5. Профиль пляжа в конце прилива



Рис. 6. Берма из горной массы в начале опыта в бассейне

Результаты опытов с бермой из фасонных блоков в волновом лотке были аналогичны результатам опытов с бермой из камня.

Далее были выполнены исследования устойчивости дамб из камня и бетонных блоков в волновом бассейне (рис 7.).

Фронтальный откос дамбы имел уклон 1:2, а тыльный — 1:1. Масса камня, изменяющаяся от 4 до 7 т, по всей высоте сооружения, от подошвы до гребня, была одинаковой.

Масса бетонных кубов составляла 6 т. Гребень дамбы возвышался над максимальным уровнем на 3,0 м.

В опытах были выполнены исследования устойчивости сооружения при постоянном уровне воды, равном максимальному приливному уровню. Это дает возможность оценить влияние отливов на устойчивость исследуемых сооружений. В ходе экспериментов с постоянным уровнем деформаций сооружения и смещения отдельных блоков не зафиксировано.

При экспериментах с понижением уровня воды от максимального до минимального деформаций сооружения и смещения отдельных камней и бетонных блоков также не зафиксировано.

Выводы

1. Параметры волн для расчета берегозащитных сооружений на приливных морях необходимо определять с учетом глубины перед сооружением, соответствующей отметке максимального уровня моря во время прилива, имеющего 1 %-ную обеспеченность.

2. Для формирования волногасящего галечного пляжа, обеспечивающего полное гашение волн, расчетный объем исходной отсыпки с учетом компенсации на уплотнение пляжного материала при его волновой переработке и выноса на глубину во время отлива должен быть увеличен на 25 % по отношению к профилю динамического равновесия, определяемого согласно [1].



Рис. 7. Воздействие волн на каменнонабросную дамбу

3. Объем берм из горной массы, рассчитанный согласно [10], для морей с приливами следует увеличивать не менее чем на 5 %.

4. При проектировании берм из камня или фасонных блоков на приливных морях следует предусматривать расположение элементов расчетной массы по всему фронту откоса от гребня сооружения до дна.

5. Сопряжение волногасящей бермы из камня или фасонных блоков с размываемыми грунтами береговых откосов и дна необходимо выполнять в виде непроницаемого двухслойного фильтра.

6. Проектирование защитных дамб может выполняться по нормативным документам для бесприливных морей.

Список литературы

1. СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. — М.: Минстрой РФ, 2016. — 113 с.
2. РД 31.3.05-97. Нормы технологического проектирования морских портов. — М.: Минтранс РФ, 1997. — 104 с.
3. ISO 21650:2007. Actions from waves and currents on coastal structures.
4. BS 6349-2:2010. Maritime works. Code of practice for the design of quay walls, jetties and dolphins.
5. Coastal Engineering Guidelines / The National Committee on Coastal and Ocean Engineering Australia, 2012. — 160 p.
6. Сафьянов Г. А. Геоморфология морских берегов. — М.: Изд-во МГУ, 1996. — 400 с.
7. Тлявлиня Г. В., Петров В. А., Тлявлин Р. М. Особенности проектирования морских берегозащитных сооружений на приливных морях // Транспортное строительство. 2016. № 4. С. 4 – 6.
8. Тлявлиня Г. В., Макаров К. Н., Тлявлин Р. М. Новые своды правил по проектированию морских берегозащитных сооружений // Гидротехника. 2017. № 4 (49). С. 50 – 53.
9. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). — М.: Минрегионразвития РФ, 2012. — 142 с.
10. Методические рекомендации по проектированию и строительству земляного полотна железных дорог с волногасящими бермами из горной массы. — М.: Минтрансстрой СССР, 1984. — 74 с.