

УДК 69.05:658.562:728.1

В.А. Гришин

МОРСКИЕ ИСКУССТВЕННЫЕ ОСТРОВА.
ЧАСТЬ 3

Приведены некоторые методы расчета берегозащитных сооружений на морских островах.

Ключевые слова: море, берегозащитные сооружения, методы расчета.

Приведені деякі методи розрахунку берегозахисних споруд на морських островах.

Ключові слова: море, берегозахисні споруди, методи розрахунку.

Some methods of calculation coast-protecting constructions on sea islands are resulted.

Keywords: the sea, coast-protecting structure, calculation methods



Данная статья является продолжением ранее опубликованных работ [1, 2]. В ней будут рассмотрены вопросы берегоукрепления морских островов. Если недалеко друг от друга создается система морских островов, то обычно, как например, в Дубаи и в России [1], для их берегозащиты сооружаются волноломы, окружающие эти острова.

© Гришин В.А, 2013

При возведении одного морского острова очень часто производится его индивидуальная берегозащита, сооружаемая непосредственно на этом острове. Тип берегоукрепления во многом зависит от его назначения. Так, например, если на острове требуется создание обширных пляжей, то сооружение его берегозащиты в виде наброски камня или искусственных массивов, как показано на рисунке 1, не рекомендуется.



Рис. 1. Берегозащита бетонными массивами

Ошибочное проектирование берегозащитных сооружений или нарушение технологии их строительства может привести от динамического воздействия штормовых волн к разрушению возведенных конструкций и размыву самих островов, как показано на рисунке 2. Из всего многообразия берегозащитных сооружений, приведенных, например, в [3, 4], в данной статье будут рассмотрены волноотбойные стенки гравитационного типа, одна из которых во время строительства показана на рисунке 3.

В большинстве случаев в прибойной зоне морские волны воздействуют на волноотбойные стенки в виде динамического импульса, как показано на рисунке 4. Но в нормативных документах [5, 6] такая нагрузка в расчетах приближенно заменяется эквивалентной статической нагрузкой. Такая замена не позволяет учесть некоторые важные реально наблюдаемые факторы, присущие только динамическим воздействиям. Некоторые из этих вопросов рассмотрены в монографии [7]. Наиболее полно динамическое действие морских волн на оградительные сооружения исследовано в работе [8]. В данной работе будет рассмотрено только динамическое воздействие волн на берегозащитные сооружения.



Рис. 2. Разрушение берегозащитных сооружений от штормовых волн



Рис. 3. Сооружение волноотбойной стенки



Рис. 4. Действие прибойных волн на стенку

Определение, исследование и методы решения динамических уравнений при малых и больших деформациях приведены в монографии [9]. При этом волноотбойная стенка, массив грунта и морская вода рассматриваются как единая расчетная система. Для материала стенки и грунтовой среды учитывались их упругопластические свойства. Для преобразования дифференциальных уравнений к системе алгебраических уравнений применялся метод конечных элементов. В окончательном виде эти нелинейные уравнения в матричной форме имеют следующий вид:

$$\left(\mathbf{M} + \frac{1}{\rho}[\mathbf{h}]^T[\mathbf{H}]^{-1}\mathbf{h}\right)\ddot{\boldsymbol{\delta}}_n + \mathbf{C}\dot{\boldsymbol{\delta}}_n + \mathbf{K}(\boldsymbol{\delta}_n)\boldsymbol{\delta}_n = \mathbf{Q}_n.$$

В это уравнение входят матрицы:

$\boldsymbol{\delta}_n$ – узловые перемещения;

$\dot{\boldsymbol{\delta}}_n$ – узловые скорости;

$\ddot{\boldsymbol{\delta}}_n$ – узловые ускорения;

\mathbf{M} – масса системы;
 \mathbf{C} – демпфирования системы;
 \mathbf{K} – жесткости системы;
 \mathbf{Q}_n – поверхностные и объемные силы.

$\frac{1}{\rho}[\mathbf{h}]^T[\mathbf{H}]^{-1}\mathbf{h}$ называется матрицей присоединенных масс, учитывающей влияние водной среды на сооружение. Обозначим ее сумму с матрицей \mathbf{M} через $\overline{\mathbf{M}}$ и назовем приведенной массой. В этом случае указанное выше уравнение запишется как

$$\overline{\mathbf{M}}\ddot{\delta}_n + \mathbf{C}\dot{\delta}_n + \mathbf{K}(\delta_n)\delta_n = \mathbf{Q}_n.$$

Для решения полученных нелинейных уравнений использовался прямой пошаговый неявный метод в приращениях, не требующий предварительных их преобразований перед вычислениями на ЭВМ по разработанному программному комплексу [9]. Некоторые динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений приведены в монографии [10].

Методику расчета покажем на приведенном ниже примере. Его расчетная система показана на рисунке 5.

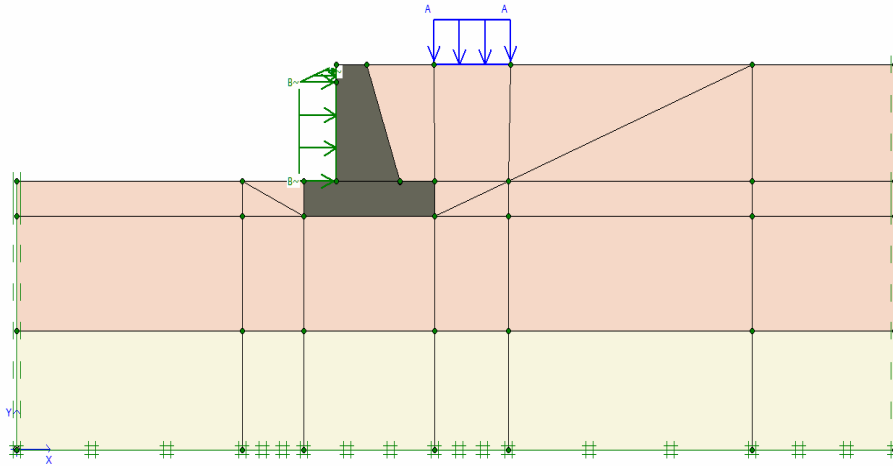


Рис. 5. Расчетная схема системы

Грунтовый массив состоит из двух слоев. Вертикальная распределенная нагрузка является статической. Горизонтальная нагрузка, приложенная к стенке, является динамической и определяет действие морских волн. Расчет выполняется поэтапно соответственно процессу технологии

строительства и эксплуатации берегозащитного сооружения. Это вызвано тем, что возникающее в системе напряженно-деформированное состояние существенно зависит от порядка ее нагружения. Рассмотрено шесть этапов расчета. На первом этапе выполняется расчет только грунтового массива перед началом строительства стенки от действия его собственного веса и морской воды. Расчетная схема этого этапа показана на рисунке 6.

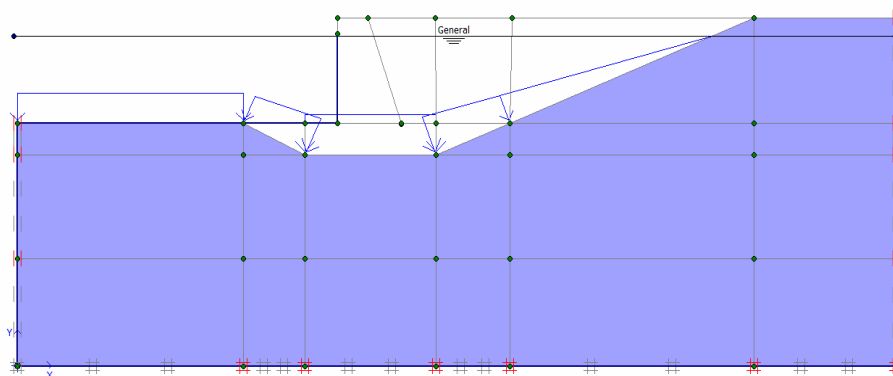


Рис. 6. Расчетная схема первого этапа расчета

На втором этапе выполняется расчет системы от действия плиты под стенку и самой стенки. При этом полученные на первом этапе расчетные напряжения в грунте сохраняются, а перемещения обнуляются, т.е. отсчет перемещений на дальнейших этапах производится от начала строительства плиты. Схема деформирования системы в увеличенном масштабе показана на рисунке 7. Наибольшее полное перемещение, расположенное под левым краем плиты, равно 2,53 см.

На третьем этапе выполняется расчет после засыпки грунта за стенкой. Эпюра полных перемещений системы приведена на рисунке 8. Наибольшее полное перемещение, равное 5 см, находится на верхней грани грунтового массива. Полные перемещения в любой точке системы можно определить по масштабной линейке, показанной в правой части рисунка 8.

На четвертом этапе выполняется расчет от действия вертикальной распределенной нагрузки. Эпюра касательных напряжений, возникающих в системе, показана на рисунке 9. Наибольшее касательное напряжение расположено в грунтовом массиве под левым краем плиты и равно $-37,58 \text{ кН/м}^2$.

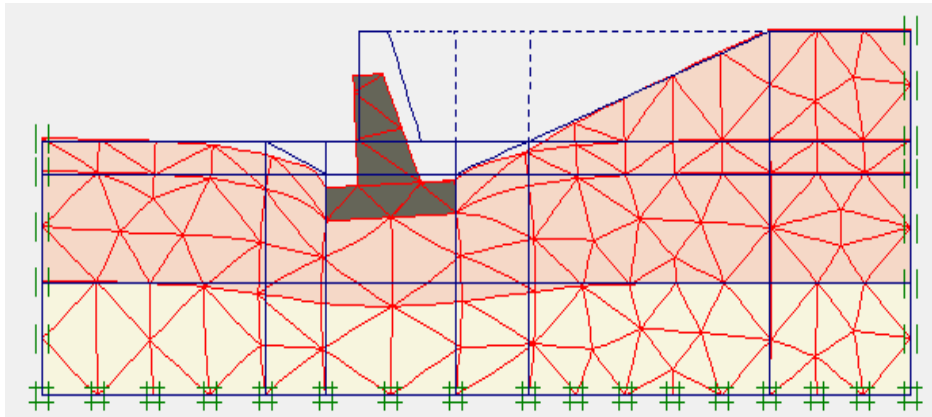


Рис. 7. Схема деформирования системы после второго этапа расчета

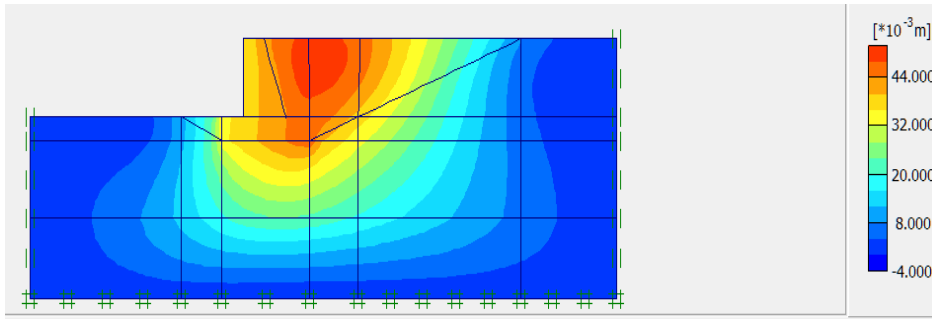


Рис. 8. Эюра полных перемещений системы после третьего этапа расчета

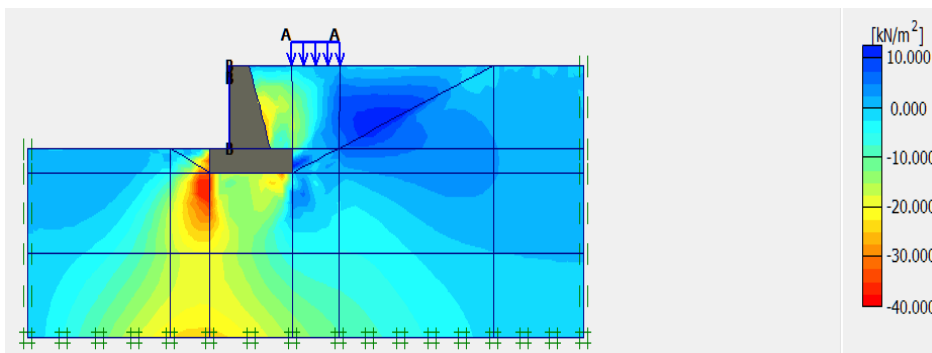


Рис. 9. Эюра касательных напряжений системы после четвертого этапа расчета

На пятом этапе выполняется расчет от действия динамической нагрузки морских волн. Время действия волны равно 0,01с. В дальнейшем рассмотрим результаты, полученные от действия только этой волны. Эпюра полных напряжений через 0,01с после начала приложения волновой нагрузки показана на рисунке 10. Схема образования пластических зон (квадратики) приведена на рисунке 11.

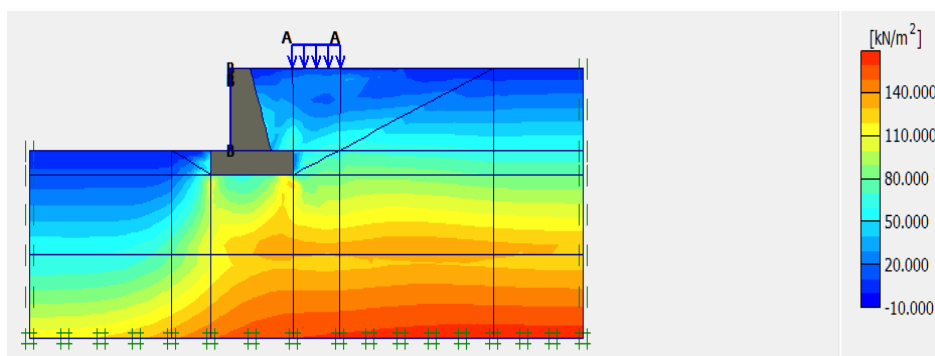


Рис. 10. Эпюра полных напряжений после пятого этапа нагружения

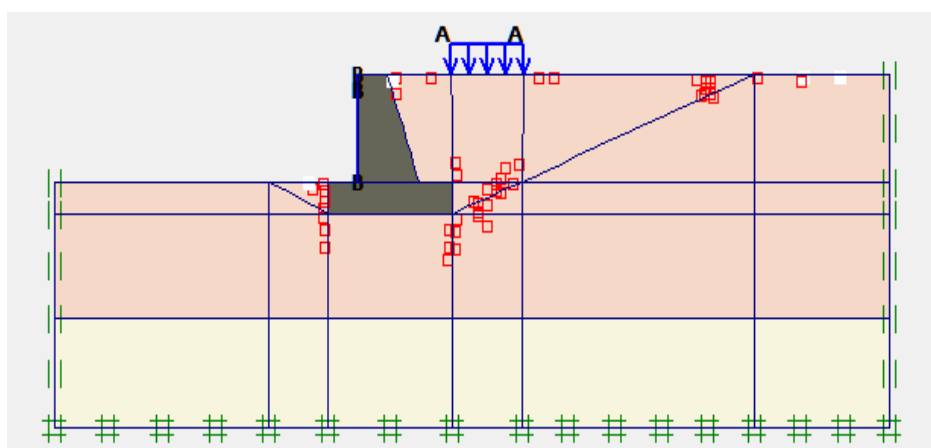


Рис. 11. Схема образования пластических зон после пятого этапа нагружения

На шестом этапе выполняется расчет после снятия нагрузки от действия морской волны. Система начнет колебаться. На рисунке 12 приведено в увеличенном масштабе одно из возможных положений системы в процессе ее колебания. На рисунке 13 в масштабе стрелками показана эпюра изменения ускорений системы в один из моментов ее колебания. Наибольшее ускорение равно $2,76 \cdot 10^{-3} \text{ m/day}^2$. В процессе решения принималось, что волны колебаний на границах грунтового массива не отражались, а полностью поглощались.

Обозначим верхнюю левую точку стенки через А. Ее колебания на шестом этапе расчета, после воздействия морской волны, изображены на графике рисунка 14, где по горизонтали отложено время в секундах, а по вертикали перемещения в метрах. Аналогичные графики можно получить для любых узловых точек системы. Программа также допускает построение графиков колебаний скоростей, ускорений и напряжений для любой узловой точки системы.

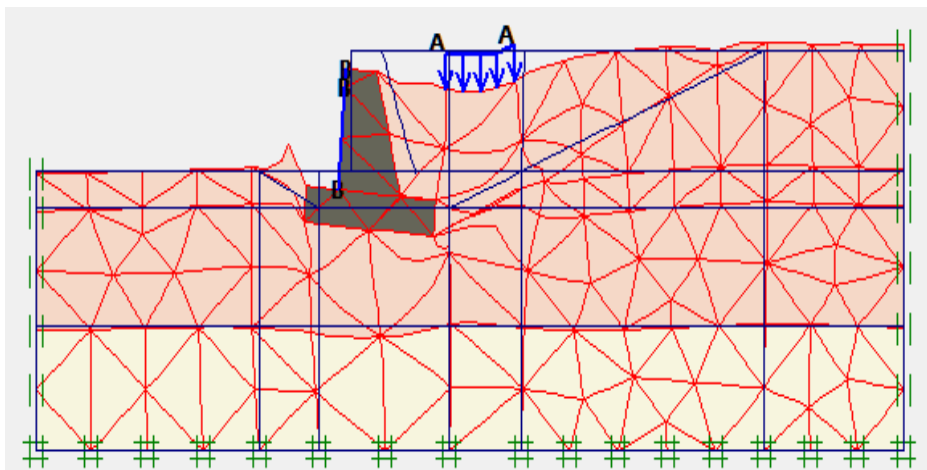


Рис. 12. Одно из положений системы в процессе ее колебаний

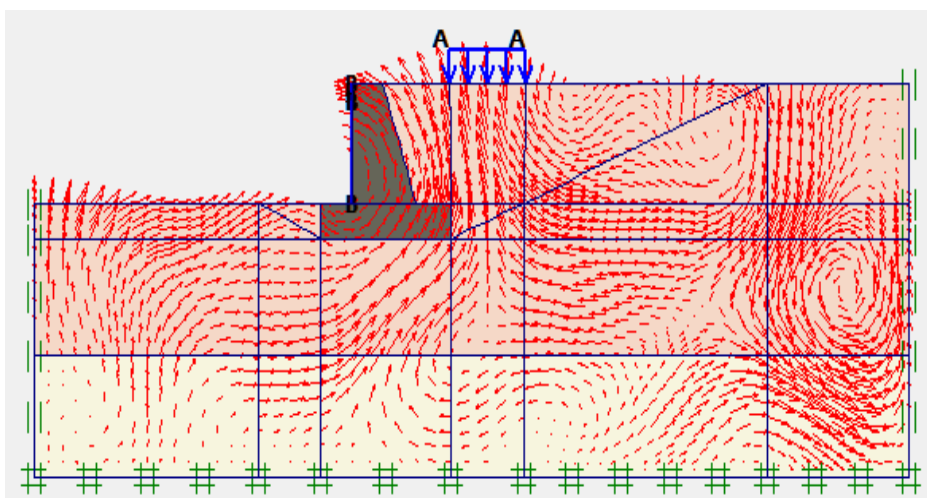


Рис. 13. Эюра изменения ускорений в системе

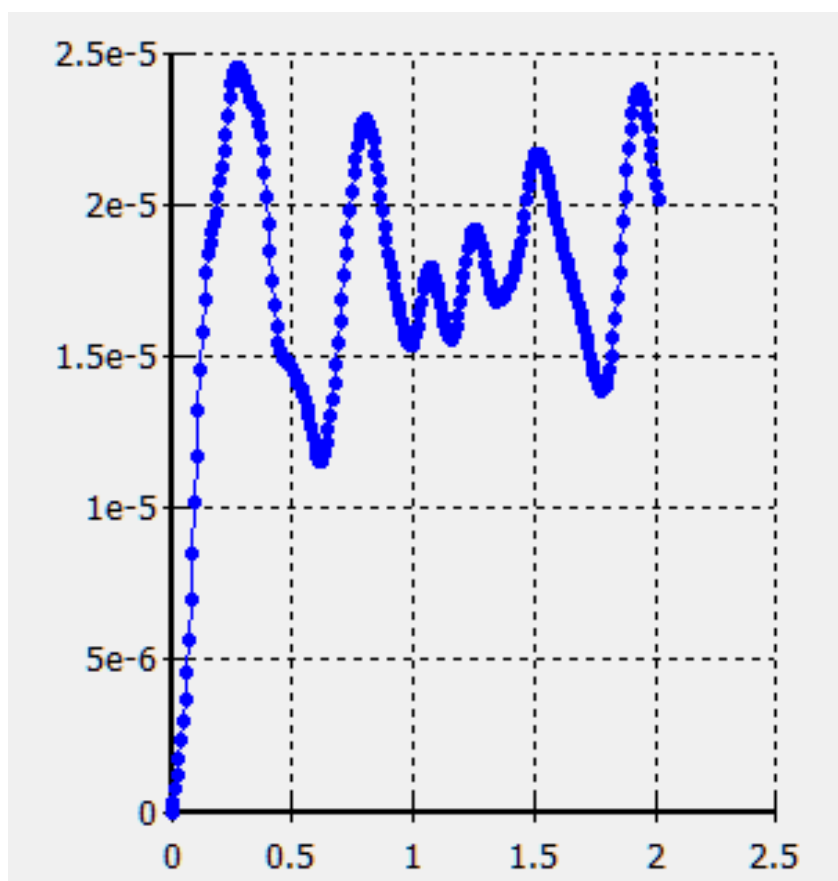


Рис. 14. Колебания точки А

В последующих статьях будут рассмотрены расчеты других типов берегозащитных сооружений применительно к искусственным морским островам.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришин В.А. Морские искусственные острова. Ч. 1) // Вісник ОНМУ. – № 36. – 2012. – С. 54.
2. Гришин В.А. Морские искусственные острова. Ч. 2) // Вісник ОНМУ. – № (2)38. – 2012. – С. 41.
3. Гришин В.А., Снисаренко В.И. Нелинейные модели берегоукрепительных сооружений. – К.: МП Леся, 2007. – 272 с.
4. Смирнова Т.Г. и др. Берегозащитные сооружения. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2002. – 303 с.

5. *СниП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 40 с.
6. *Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К.* – Л.: Научно-исследовательский институт гидротехники им. В.Е. Веденеева, 1990. – 432 с.
7. *Бигелоу Г., Эдмондсон В.* *Морские ветровые волны и прибой*. – М.: Изд. Иностранной литературы, 1951. – 212 с.
8. *Гришин А.В., Федорова Е.Ю.* *Нелинейная динамика ограждающих сооружений*. – Одесса: Изд-во ОНМУ, 2002. – 239 с.
9. *Гришин В.А., Дорофеев В.С.* *Нелинейные модели конструкций, взаимодействующих с грунтовой средой*. – Одесса: Внеширрекламсервис, 2006. – 242 с.
10. *Гришин В.А. и др.* *Расчет гидротехнических сооружений в системе PLAXIS*. – К.: Издательский центр Азбука, 2011. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2013

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, генеральний директор
Морського інженерного бюро **Г.В. Єгоров**

доктор технічних наук, професор, науковий консультант
Морського інженерного бюро **В.В. Козляков**