

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ  
КОМПЛЕКСА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
ВОЛНОЛОМА И ВОЛНООТБОЙНОЙ СТЕНКИ НА ОТКОСЕ ИЗ  
КАМЕННОЙ НАБРОСКИ**

**Польвяный Н.**, *зр. ГС-6м*

**Лабузько Р.**, *зр. ОТНБ-5м*

**Давидчук В.**, *зр. ГС-5м*

*Научный руководитель – Дмитриев С., к.т.н. доцент  
(кафедра Гидротехнического строительства, ОГАСА)*

**Аннотация.** Защита береговой линии от опасных гидрологических и геологических процессов является важной задачей для Одесской области. Устаревший существующий комплекс берегозащитных гидротехнических сооружений приводит к повреждениям, как самих сооружений, так и к негативным последствиям для защищаемой инфраструктуры. Поэтому на сегодняшний день актуальным является вопрос реконструкции защитных сооружений. Существующие нормативные методы расчета таких сооружений не могут в полной мере учитывать совместную работу всего комплекса берегозащитных сооружений и мероприятий, природных факторов рельефа, топографии, гидрологии, метеорологии. Продвинуться в направлении достоверного математического обоснования необходимости и достаточности принятых инженерных решений позволяют расчетные программные комплексы, основанные на методе конечных элементов. В статье рассмотрены вопросы гидравлического математического моделирования комплекса берегозащитных сооружений волнолома и волноотбойной стенки на откосе из каменной наброски с защищаемой территорией за волноотбойной стенкой.

**Актуальность.** Одним из целевых назначений берегозащитных гидротехнических сооружений является защита берега от опасных волновых процессов и течений, которые могут приводить к негативным последствиям для сооружений, располагаемых на береговой линии, либо на некотором удалении от нее на защищаемой территории (рис. 1).



Рис. 1. Примеры повреждений берегозащитных гидротехнических сооружений и защищаемой территории г. Одессы и г. Черноморск

Защита побережья имеет очень большое значение для приморского города Одесса. Берегоукрепительные работы являются дорогостоящим, ответственным и важным делом. История знает немало примеров мелких ошибок проектирования, халатности при возведении сооружения или попыток сэкономить, которые повлекли за собой огромный ущерб, как для экологической ситуации, так и материальный.

Точное следование действующим нормам проектирования [1, 2, 3] значительно снижает риск возникновения аварийных ситуаций, однако, методы расчетов, заложенные в существующих нормативных документах, не могут в полной мере учесть совместную работу комплекса гидротехнических сооружений, включающих в себя, например: волнолом-пляж, волнолом-откос, буна-пляж, волнолом-откос-пляж-волноотбойная стенка и пр. Также, сложно учитываемыми при этом, являются природные факторы: высота и длина волны, направление ветра, рельеф дна и поверхности. Когда неэкстремальные значения каких-либо природных факторов (например, высота волны, направление ветра) могут приводить к худшим значениям эффективности берегозащитных сооружений работающих в комплексе.

В связи с этим, актуальными становятся вопросы способов учета максимально возможного числа факторов искусственного и природного происхождения при выборе типов и компоновки берегозащитных сооружений.

**Основной текст.** В рамках настоящей работы рассматривается задача комплексной работы берегозащитных сооружений типа волнолом – защищаемый каменной наброской откос – волноотбойная стенка в верхней части защищаемого откоса. Исходными данными для моделирования служат геометрические размеры берегозащитных сооружений, промеры глубин и расчетные значения параметров ветровых волн (рис. 2). Общий вид модели представлен на рис. 3.



Рис. 2. Расчётная волна 1% обеспеченности

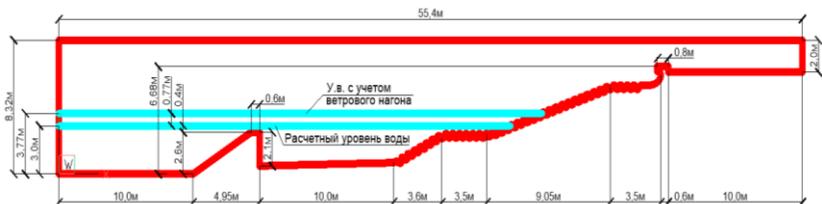


Рис. 3. Геометрическая модель с уровнями воды с учётом ветрового нагона и без него

Размеры модели – 55,4x8,32м.

В прибойной зоне на откосах и бермах каменная наброска моделировалась шероховатостью в соответствии с принятой проектной крупностью камня.

Основной задачей являлось оценить эффективность принятых типов, размеров и расположения берегозащитных сооружений (существующих и проектируемых) из условий гашения волновой энергии, неразрываемости откоса и недопущения попадания воды на защищаемую территорию за волноотбойной стенкой. Для решения задачи использовалась математическая модель, выполненная в программном комплексе Ansys Fluent, реализующем метод конечных элементов в гидравлических задачах.

Общий алгоритм создания модели представляется следующим образом:

- задание геометрии конструкции;
- разбивка модели сеткой конечных элементов;
- назначение граничных условий;
- выбор расчетных моделей [4];
- инициализация начальных условий;
- назначение параметров расчета;
- расчет и анализ результатов.

Основное достоинство математического моделирования состоит в достаточной простоте и скорости изменения исходных параметров модели с целью ее оптимизации с точки зрения конечного результата. Рассматриваемая задача является динамической. Выборочные результаты моделирования волнового наката с учетом ветрового нагона для разных временных отрезков от начала моделирования представлены на рис. 4. Также, оценивались значения придонных скоростей движения воды и уровни свободной поверхности в различные моменты времени.

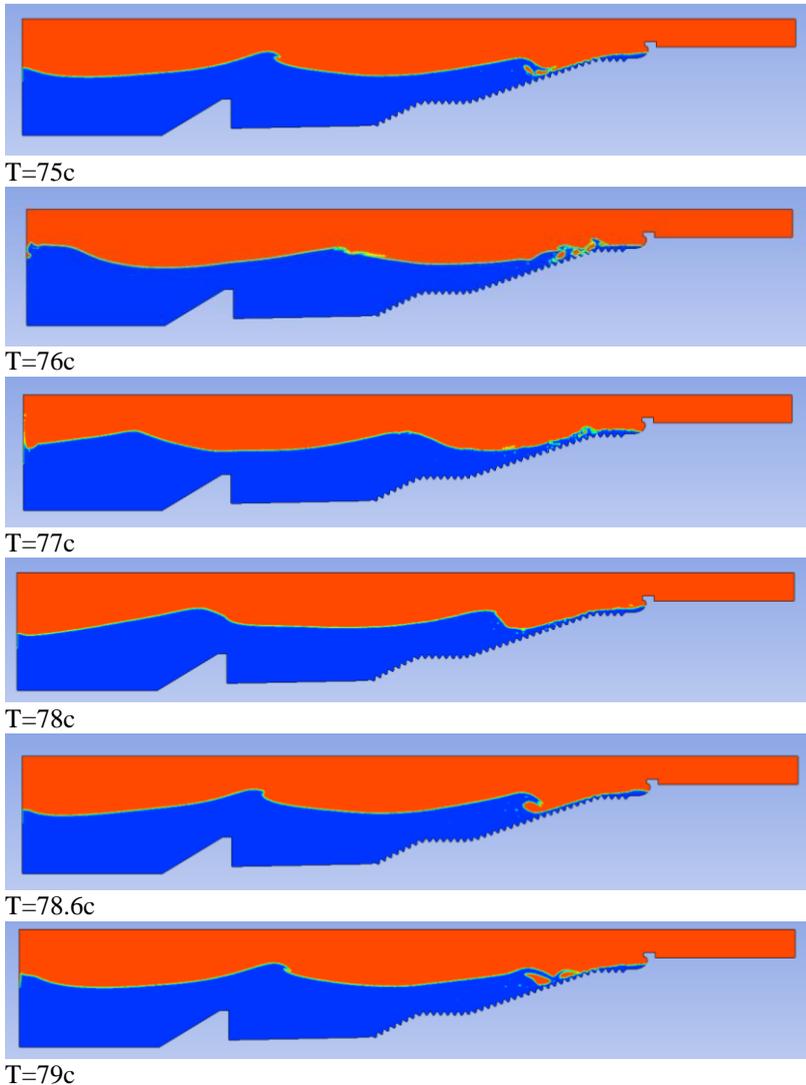


Рис. 4. Положение свободной поверхности через 75, 76, 77, 78, 78.6, 79, 80сек. от начала моделирования

**Выводы и результаты.** На основании проведенных расчетов была дана оценка принятого заложения откоса, крупности камня, высоты наката волны на откос и эффективности назначенных параметров

волноотбойной стенки:

4. На существующем волноломе происходит трансформация расчетной волны 1% обеспеченности с незначительным понижением ее высоты.
5. При подходе к защищенному каменной наброской откосу происходит диссипация волновой энергии за счет шероховатости и проницаемости откоса.
6. Внутри акватории, ограниченной волноломом, происходит подъем уровня воды, что приводит к повышению высоты наката волны на береговой откос.
7. Размещение волноотбойной стенки с принятыми размерами в тылу бермы позволяет избежать значительного всплеска при соударении со стенкой, что снижает забрызг на защищаемую территорию.
8. Принятая крупность камня на откосе с подводной бермой обеспечивает надежную защиту откоса от размыва в переменном уровне.
9. Выбранные параметры берегоукрепления обеспечат защиту территории на период эксплуатации объекта.
10. Принятый алгоритм математического моделирования может быть использован для широкого спектра гидротехнических задач, связанных с компоновкой берегозащитных сооружений.
11. Математическое моделирование является уточняющим и не исключает гидравлического физического моделирования и расчетов по действующим нормативным документам.

#### **Литература:**

3. СНиП 2.06.04-82\* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). ГУП ЦПП. М., 1986: введен 12 марта 1986. 46с.
4. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): Министерство регионального развития Российской Федерации. М., 2012. 116 с.
5. РД 31.31.53 – 90. Руководство по определению волновых нагрузок и воздействий на вертикальные и крутонаклонные стенки, имеющие в основании высокую каменную постель: введен 01 октября 1990 г. Москва, 1990. 29 с.
6. [Электронный ресурс]. URL: <http://cadsolutions.narod.ru/Cfd/pages/fluentdoc/userguid/p1/p1.html> (Модели турбулентности, реализованные в программе Ansys Fluent) (дата обращения 6.12.2019)