

МОРСКИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ

УДК 626/627.03.042.019.3

П. А. Гарибин,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

М. В. Субботин,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

СКВОЗНОЕ ВОЛНОЗАЩИТНОЕ СООРУЖЕНИЕ С КАМЕРОЙ ГАШЕНИЯ

THROUGH THE BREAKWATER STRUCTURE WITH DAMPING

Используя метод системного анализа, определены ценности и критерии оценки объекта исследования — оградительного сооружения. Выбор типа конструкции (метод принятия технических решений) выполнялся с использованием топологических схем — дерева целей; и для отдельных этапов процесса — матриц решения. Рассмотрены преимущества и недостатки основных видов оградительных сооружений при конкретных условиях строительства. Приведены описание и принцип взаимодействия с волновым воздействием нового типа проницаемого свайного сооружения с камерой гашения.

Using the method of system analysis, defined the values and criteria for evaluating the research object — the protective structure. Select the type of construction (technical decisions method) was performed using topologies — objectives tree, and for the individual steps of the process — the decision matrices. In the article adduced different types of the wave protective structures, performed method of selection between different types of breakwaters depending on natural conditions, wave high etc. Author describes the new type of the wave protection structures, fundamental methods of calculations and features of working process with extremely high waves.

Ключевые слова: оградительное сооружение, гашение энергии волн, критерий, ценность, камера гашения, проницаемость.

Key words: protective structure, wave protective structure, breakwaters, energy dissipation of waves, criterion, value, wave chamber, permeability.

Введение

На современном этапе развития увеличение грузооборота действующих портов достигается за счет таких мероприятий, как совершенствование оборудования и системы управления, автоматизация перегрузочного процесса и расширение складских мощностей, устройство новых глубоководных причалов для приема крупнотоннажных судов.

Строительство глубоководных причалов обуславливает выход на большие естественные глубины и соответственно смещение на большие естественные глубины волнозащитных сооружений. Это требует разработки и применения быстровозводимых и менее материалоемких оградительных сооружений (ОС) по сравнению с известными откосными и гравитационными типами конструкций.

Одновременно с этим ОС должны обладать нормированной степенью гашения волновой энергии и отвечать экологическим требованиям к современным природно-техническим системам [1].

Для минимизации субъективного подхода при определении приоритетности инвестирования строительных объектов, выборе их типа, а также производства и технологии работ на них необходимо, используя аппарат метода системного анализа, применить научно обоснованную методику принятия технического решения на основе значимости объекта [2].

Ценности и критерии оценки объекта исследования

Оградительное сооружение является конструкцией, предназначенной для отражения и (или) поглощения волн в целях обеспечения безопасности маневрирования и стоянки пришвартованных у причалов судов.

В общем виде ОС (мол, волнолом) устроено так, что его конструкция является одновременно наиболее ответственным и дорогостоящим элементом портовой инфраструктуры. Качество гашения энергии волн в первую очередь зависит от гидравлических явлений, происходящих на (в) ОС при воздействии волн. Мера значимости оградительного сооружения характеризуется несколькими видами *ценностей*: функциональной, инженерно-конструктивной, архитектурно-эстетической, экологической.

Функциональная ценность обуславливается тем, что любое ОС является *подсистемой* портовой системы (инфраструктуры), которая, в свою очередь, входит подсистемой в *глобальную транспортную систему страны*, являясь тримодальным логистическим терминалом.

Основным *критерием* функциональной ценности ОС является *степень гашения волны определенных параметров*. Вопрос о модернизации, реконструкции или строительстве нового ОС решается в первую очередь в зависимости от волновой обстановки прибрежной зоны.

Под *модернизацией* понимается комплекс мероприятий по введению различных усовершенствований, которые изменяют объект, приводя его в соответствие современным требованиям, например устройство волноотбойной стенки для предотвращения переливов через ОС.

При *реконструкции* происходит или коренная перестройка объекта, например изменение габаритов фасонных блоков, или восстановление утраченных в процессе эксплуатации свойств.

Исключительное значение для создания и функционирования ОС имеет его *инженерно-конструктивная ценность*, определяющая внутреннее содержание и строение и отражающая особенности ОС как единой системы «основание–фундамент–сооружение» [3].

Комплексным *критерием* инженерно-конструктивной ценности следует считать *надежность*, так как она является универсальной характеристикой качества любого объекта.

Второй определяющий *критерий* инженерно-конструктивной ценности — *материалоемкость* — количественно выражается через такой показатель, как *стоимость* объекта. Характерная особенность ОС проявляется в том, что для поддержания его в нормальном функциональном состоянии постоянно необходимо затрачивать материальные средства — *эксплуатационные издержки*.

Причем величина отчислений непосредственно обусловлена принятыми инженерно-конструктивными решениями. Поэтому наряду с уже рассмотренными показателями к определяющим критериям следует отнести и такой критерий, как *ресурсосбережение*.

На современном этапе развития начинает играть роль такая ценность ОС, как *архитектурно-эстетическая*, например ОС портовых районов г. Сочи, входившие в «Программу строительства олимпийских объектов и развития города Сочи как горноклиматического курорта», рассматривались как сооружения, определяющие архитектурный вид города и прилегающей местности [4].

Немаловажную роль в современном строительстве играет *экологическая* ценность сооружения [1; 4], критерии для оценки которой применительно к ОС приведены в работе [5].

Остановимся подробнее на рассмотрении инженерно-конструктивной ценности ОС и вопросах, связанных с выбором типа его конструкции.

Оградительное сооружение — это сложная инженерная система, для создания которой часто приходится принимать технические решения в ситуации отсутствия необходимого комплекта исходных данных, а также прогноза последующего влияния сооружения на природную среду.

Как известно, кроме положительных моментов, гидротехническое строительство сопряжено и с нежелательными эффектами для окружающей среды и человека (табл. 1).

Таблица 1

Нежелательные эффекты от гидротехнического строительства и эксплуатации ОС

При строительстве ГТО	При эксплуатации ГТО
— Инженерно-геологические изменения; — разрушение естественных социумов и гибель этносов; — разрушение экосистем; — профессиональные опасности строительного производства; — большие сроки строительства объекта; — аварии	— Инженерно-геологические изменения; — климатические изменения; — аккумуляция наносов и загрязнений на акватории; — разрушение экосистем; — профессиональные опасности эксплуатации ГТО; — снижение надежности и эффективности ГТО со временем; — аварии

Отрицательные эффекты, сопровождающие строительство и эксплуатацию гидротехнического объекта (ГТО), на практике могут существенно различаться по степени и спектру их проявления в каждом конкретном случае.

Неудовлетворительное решение многих социально-экологических проблем при внедрении ГТО часто обуславливалось объективными обстоятельствами. При принятии инженерных решений по гидротехническому проекту с учетом социально-экологических требований задача оптимизации существенно усложняется и нередко не находит разрешения в рамках известных моделей. Это объясняется следующими основными причинами:

— используемые в настоящее время *критерии оптимизации* в гидротехнике имеют стоимостной, экономический характер. В то же время корректный учет социально-экологических последствий строительства (которые не всегда поддаются строгому экономическому анализу) может серьезно повлиять на выбор окончательного решения;

— традиционные подходы к оптимизации решений до настоящего времени в гидротехнике базировались на детерминистической концепции, согласно которой ситуация выбора решения характеризуется относительно полной определенностью информации. В данном случае подразумевается то, что каждому возможному действию необходимо и достаточно соответствует только определенный исход;

— при выборе инженерных решений по проекту приходится иметь дело с различными практически равноценными с экономической точки зрения вариантами (рис. 1).

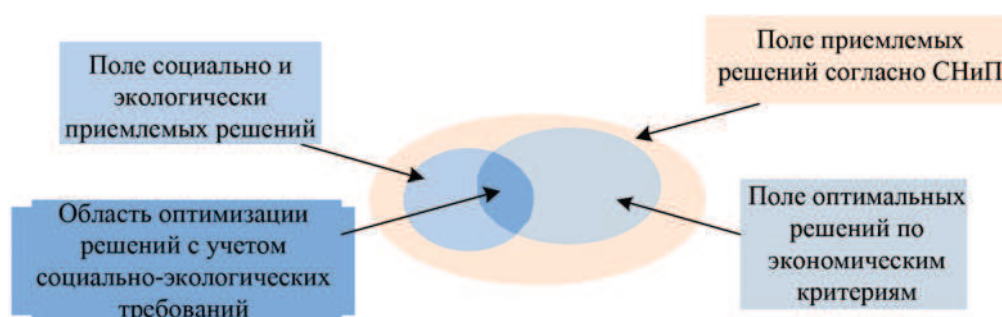


Рис. 1. Схема выбора решений с учетом социально-экологических требований

Наиболее полная и корректная методология учета социально-экологических факторов разработана Д. А. Ивашинцевым, А. Б. Векслером и Д. В. Стефанишиным. Обобщения многолетних исследований авторов изложены в монографии [6].

Остановимся подробнее на технических аспектах проблемы принятия инженерных решений. Ситуация выбора решения включает все элементы задачи: состояние исходных данных, варианты решения и их последствия, а также все оказывающие на решение существенное влияние факторы, как объективного, так и субъективного характера.

Для оценки важности частичных целей требуется упорядочение ценностей или предпочтений. Представление о состоянии системы и результатах процесса удобно иметь в виде топологических схем, например дерева целей.

Отдельные этапы процесса — деревья решений можно представить в виде матриц решения (рис. 2). Разбиение на этапы начинают с некоторого узла решений, от которого исходят одна или несколько ветвей, представляющих варианты решений [9].

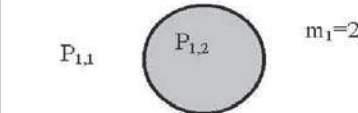
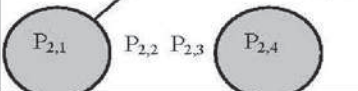
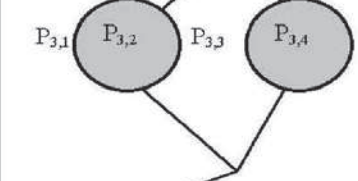
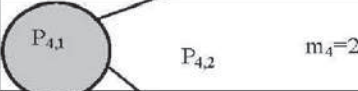
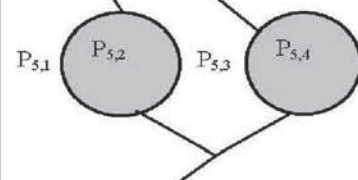
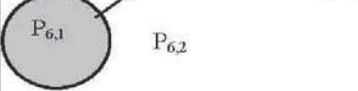
№ п/п	Параметры	Матрица параметров	Характеристики
1	Назначение		$P_{1,1}$-оградительное сооружение $P_{1,2}$- оградительное сооружение и причальное сооружение
2	Условия строительства		$P_{2,1}$-открытое побережье $P_{2,2}$-закрытая акватория $P_{2,3}$-«насухо» $P_{2,4}$-«в воду»
3	Наличие стройматериалов и производственной базы		$P_{3,1}$-наличие каменного материала $P_{3,2}$-отсутствие каменного материала $P_{3,3}$-наличие производственной базы (бетонный завод) $P_{3,4}$- отсутствие производственной базы (бетонный завод)
4	Естественные условия: геологические		$P_{4,1}$-слабые грунты (проницаемые) $P_{4,2}$-скальные грунты
5	Естественные условия: гидрометеорологические		$P_{5,1}$-$h_b < 3м$ $P_{5,2}$- $h_b > 3м$ $P_{5,3}$- глубина < 10м $P_{5,4}$- глубина > 10м
6	Естественные условия: геоморфологические		$P_{6,1}$-перекрывают транзит наносов $P_{6,2}$- не перекрывают транзит наносов

Рис. 2. Матрица решений для выбора типа конструкции оградительного сооружения при заданных критериях проектирования

Перевод дерева решений в последовательность матриц, соответствующих отдельным этапам процесса, производится следующим образом: маркируют все варианты решений каждого этапа; учитывают все случайные события отдельного этапа; получаемые на каждом этапе результаты учитывают с помощью матриц решений. Причем каждому пути от узла решений как исходного пункта до конца пути на рассматриваемом этапе соответствует одна матрица.

Возможность выбора лучшего среди допускаемых решений достигается за счет ориентации на минимум целевой функции, являющейся оценкой конкретного варианта. На современном

уровне теоретического развития методов оптимизации и способов использования результатов в строительстве можно констатировать, что они трудоемки и не всегда пригодны для конкретных объектов, особенно являющихся уникальными гидротехническими [6; 7].

Применение одной функции, всесторонне оценивающей рассматриваемый объект, является сложной и трудновыполнимой задачей. Однако существуют некоторые интегральные критерии, при выполнении которых удовлетворяется много требований, например критерий минимума ожидаемых капиталовложений.

Составляющими этого критерия являются: затраты на проектирование объекта, его строительство, эксплуатацию и ремонт в случае аварии. Наряду с этим данный критерий не свободен и от недостатков, среди которых следует отметить невозможность точного определения совокупности этих компонентов или противоречия между инвестором и строительной организацией. Из-за этого в чистом виде этот критерий не представляет интереса, однако использование избранных компонент находит свое применение, например для случая многокритериального анализа.

Для задач строительства традиционно применение следующих групп критериев оптимизации: экономические, функциональные, конструкционные, технологические и социально-экологические (рис. 3).



Рис. 3. Блок-схема взаимодействия критериев оптимизации

Приоритетные критерии определяются на предварительном этапе постановки задачи оптимизации и устанавливают некоторые общие цели, которым должен отвечать рассматриваемый объект. Эти критерии имеют общий вид, не связанный с практикой, но после уточнения адаптируются и становятся оптимизационными критериями данной задачи.

В большинстве случаев от объекта оптимизации требуется выполнение противоречивых критериев — многокритериальная задача. Обилие критериев существенно усложняет поставленные задачи, иногда даже не позволяя получить корректное решение. Часто на практике всестороннюю оценку объекта можно гарантированно получить, используя соответствующую подборку из 3–7 критериев, лучше всего из разных групп. Такое решение является более наглядным и правильным, чем технически грамотное решение, определенное интуитивно опытным проектировщиком.

В нашем случае наиболее целесообразно ограничить число принятых к рассмотрению приоритетных критериев тремя (3), а оптимизационных критериев задачи — четырьмя (4). Наименование выбранных критериев представлено в табл. 2.

Безусловно, все принимаемые решения должны иметь законодательную правовую основу.

Таблица 2

Приоритетные и оптимизационные критерии выбора решения по выбору типа ОС

Приоритетные критерии	Оптимизационные критерии
— Минимум полных капиталовложений, включая проектирование, проектирование, эксплуатацию, предполагаемые аварии; — максимум безопасности и надежности конструкций при установленных затратах; — минимум экологических ущербов	— Минимум материальных затрат; — минимум стоимости рабочей силы; — максимум надежности; — максимум безопасности эксплуатации

Выбор типа конструкции ОС при заданных критериях проектирования

Рассмотрим подробнее матрицу решений (рис. 2) для выбора типа конструкции глубоководного ОС в порту Сочи. Для заданных конкретных условий проектирования имеем:

- по своему назначению необходима конструкция волнозащитного сооружения, которая также может служить и причальным сооружением (не допускающим перелив);
- по условиям строительства конструкцию возводят на открытом побережье, «в воду»;
- по наличию стройматериалов район не располагает близким наличием каменного материала и производственной базы (бетонного завода);
- по естественным условиям площадку строительства слагают слабые (проницаемые) грунты, высота волны в створе сооружения составляет более 3 м, глубина у сооружения около 10 м и существует вдольбереговой транзит наносов.

Анализ возможности строительства традиционно применяемых ОС показал следующее:

1) гравитационное сооружение вертикального типа может служить также и причальным сооружением. Возможно его строительство на открытом побережье способом «в воду». В связи с отсутствием ближайшего наличия каменного материала и производственной базы применение подобного сооружения не является выгодным в плане затрат на материалы. Естественные условия не являются благоприятными для выбора данной конструкции, так как на слабых грунтах применение гравитационного сооружения требует устройства основательной каменной постели. Сплошная вертикальная стена оградительного сооружения будет создавать «стоячую» разбивающуюся волну, что увеличит нагрузку на конструкцию, а следовательно, и материалоемкость. При заданной высоте волны будут значительные всплески и переливы через конструкцию. Также будет перекрыт транзит наносов;

2) *свайное сооружение вертикального типа* имеет те же показатели применимости, что и гравитационное сооружение, за исключением геологических условий — свайные фундаменты рекомендуется применять при слабых (проницаемых) грунтах;

3) *сооружения откосного типа*. Не могут служить причальным сооружением. Возможно его строительство на открытом побережье способом «в воду». В связи с отсутствием ближайшего наличия каменного материала и производственной базы применение подобного сооружения не является выгодным в плане затрат на материалы. Возможно устройство сооружения на слабых грунтах. По гидрометеорологическим факторам применение сооружения неудовлетворительно, так как при высоте волны более 3 м необходимо дополнительное крепление фасонными блоками, а при большой глубине сооружение принимает сильно распластаный профиль, что несет за собой большие затраты материалов. Также будет перекрыт транзит наносов;

4) сооружения *смешанного типа* имеют аналогичные недостатки по применимости для данных условий;

5) применение известных типов ОС *специального типа* для данных условий ограничивается в основном высотой воспринимаемой волны — до 3–4 м. По данной причине не может быть рекомендовано для данных условий.

Проведенное по вышеизложенной методологии сопоставление вариантов конструкции показало, что при данных условиях ни одна конструкция не является явным «лидером» для рекомендации ее к проектированию и строительству.

Учитывая положительный опыт работы существующих сквозных сооружений в части процессов гашения и отражения волновой энергии и современные методы технологии ведения строительных работ, установлено, что для удовлетворения вышеперечисленных требований к конструкциям ОС целесообразно применение свайных сооружений с устройством камер гашения. Кроме того, такие конструкции эффективны на больших естественных глубинах, при этом строительство возможно вести пионерным способом, в меньшей степени зависеть от метеоусловий, данные конструкции наносят меньший ущерб рыбному хозяйству [5].

Сквозное оградительное сооружение с камерой гашения

Разработанная ООО «Морское строительство и технологии» конструкция ОС [8] предназначена для защиты акватории порта от воздействия волн большой высоты и может быть эффективна на больших естественных глубинах (рис. 4).

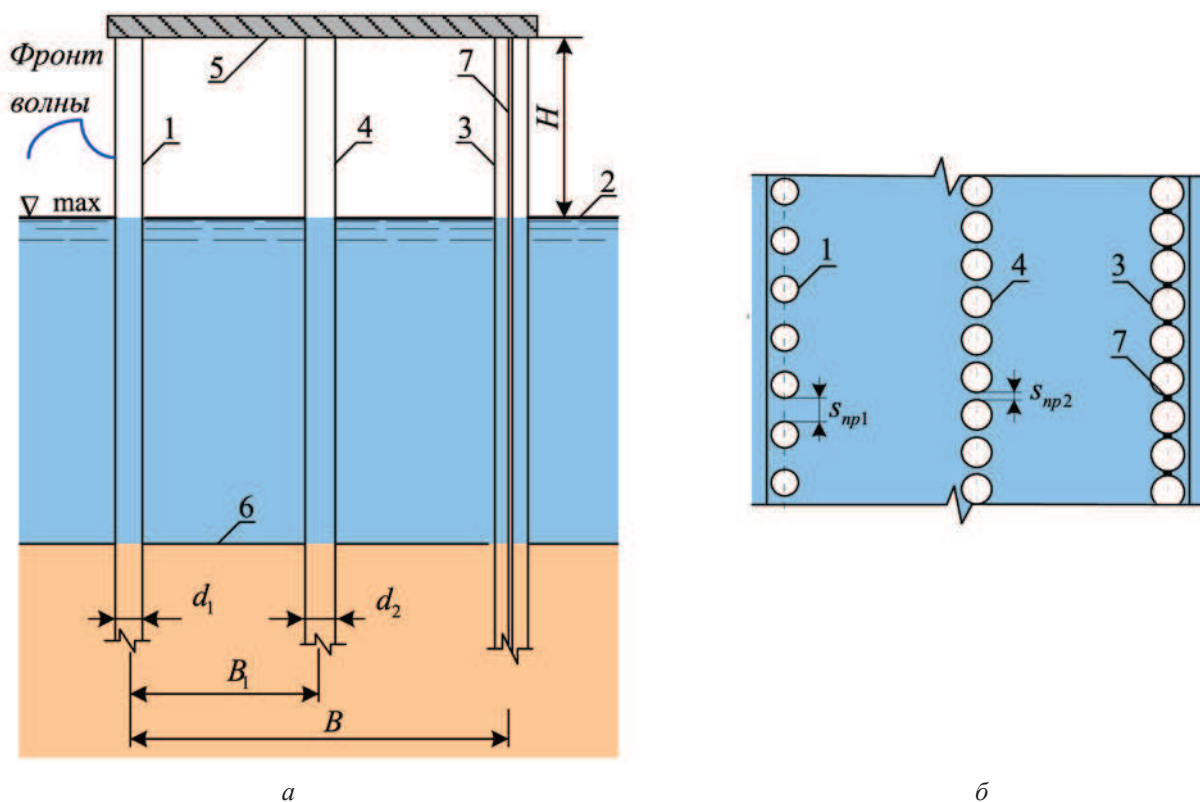


Рис. 4. Принципиальная схема нового типа ОС:
а — вид сбоку; б — план

Оградительное сооружение включает ряд свай 1 со стороны фронта волны. Со стороны защищаемого объекта — акватории 2 морского порта, расположен ряд свай 3, которые объединены в глухую стену. Между рядами свай 1 и 3 установлен промежуточный ряд свай 4. Все сваи сооружения объединены в верхней части ростверком 5. Сваи заглублены в основание — дно акватории 6. Сваи 3 соединены между собой посредством шпунтовых замков 7. Все сваи имеют одинаковую высоту и представляют собой металлические трубы.

В конкретном варианте исполнения (порт Сочи) сваи 1 имеют наружный диаметр $d_1 = 1020$ мм, сваи 4 имеют наружный диаметр $d_2 = 1220$ мм. Диаметр свай 3 определяется по условиям прочности и не влияет на эффективность гашения волн. Превышение H ростверка отно-

сительно максимального уровня воды в акватории составляет $H = (0,8-1,2) h_{\text{вmax}}$, где $h_{\text{вmax}} \leq 10$ м — максимальная высота волн в акватории, расстояние B между рядом свай со стороны фронта волны и рядом свай со стороны защищаемого объекта составляет $B = (0,1-0,2) \lambda_{\text{вmax}}$, где $\lambda_{\text{вmax}} \leq 160$ м — максимальная длина волны в акватории, расстояние B_1 между рядом свай со стороны фронта волны и продольными осями промежуточного ряда свай составляет $B_1 = (0,4-0,6) B$, расстояние $s_{\text{пр1}}$ между соседними сваями в ряду со стороны фронта волны составляет $s_{\text{пр1}} = (0,6-1,0) d_1$, а расстояние $s_{\text{пр2}}$ между соседними сваями в промежуточном ряду — $s_{\text{пр2}} = (0,15-0,3) d_2$.

Расчетными параметрами сооружения являются: продольная сквозность s (отношение площади отверстий к общей площади фронтальной поверхности), ширина между продольными рядами свай B_1 (ширина камер гашения), отметка верха сооружения.

Работоспособность конструкции подтверждена физическим моделированием в лотке НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ в 2009 г. [10].

Гашение волн в данной конструкции (рис. 5) происходит следующим образом: при прохождении волны через ряд свай 1 волна частично разбивается об эти сваи, частично отражается от них.

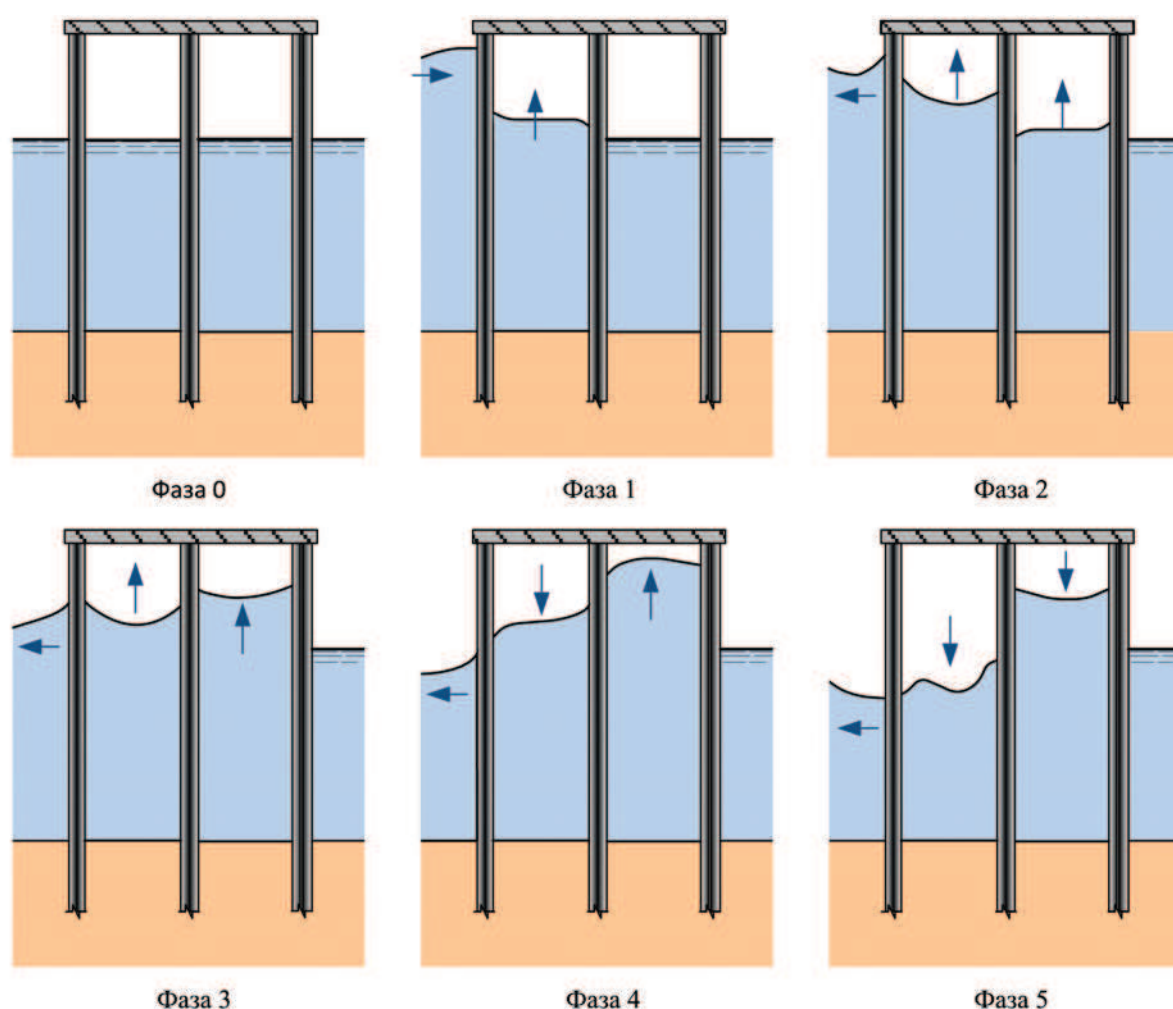


Рис. 5. Фазы взаимодействия волны с ОС нового типа

Волновой фронт достигает промежуточного ряда свай 4 , при этом вода проходит за сваи 4 с задержкой, поскольку скорость прохождения волны через средний ряд свай 4 существенно ниже скорости подхода волны к ряду свай 1 . Уровень воды между рядами свай 1 и 4 поднимается, происходит частичное отражение волны от ряда свай 4 и переориентация движения потока

воды навстречу набегающей волне. После прохождения волны за ряд свай 4 возникает поднятие уровня воды за рядом свай 4 и понижение его между рядами 1 и 4. Ряд свай 4 препятствует пропуску и обратному прохождению волны, направляя потоки воды навстречу друг другу. Происходит смещение фаз прохождения волны через сооружение, и встречные потоки воды гасят друг друга.

ОС нового типа позволяет повысить эффективность гашения волн, предотвратить переливы воды через сооружение; поскольку потоки воды гасят друг друга, уменьшить ударные воздействия на ростверк 5 и сваи 3, объединенные в глухую стену. За счет этого существенно уменьшится материалоемкость сооружения, упростится его конструкция.

Выводы

Выбор типа внешних оградительных сооружений должен выполняться на основе оптимизации экономических, функциональных, конструкционных, технологических и социально-экологических критериев.

Проблема строительства глубоководных причалов может быть успешно решена за счет введения сквозных оградительных сооружений в виде эстакадной конструкции с камерой гашения.

Список литературы

1. Об экологической экспертизе: федеральный закон Рос. Федерации от № 174-ФЗ 23 ноября 1995 г.
2. *Гарибин П. А.* Водно-транспортное использование малых водотоков: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07 / П. А. Гарибин. — СПб., 2003. — 302 с.
3. 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
4. Градостроительный кодекс РФ № 190-ФЗ от 29 декабря 2004 г.
5. *Николаевский М. Ю.* Экологическая оценка морских внешних оградительных сооружений / М. Ю. Николаевский, Р. Ю. Горгуца, М. В. Субботин // Гидротехника XXI век. — 2012. — № 2 (9).
6. *Векслер А. Б.* Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашинцев, Д. В. Стефанишин. — СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2002. — 590 с.
7. *Мушик Э.* Методы принятия технических решений: пер. с нем. / Э. Мушик, П. Мюллер. — М.: Мир, 1990. — 208 с.
8. Пат. 103367 РФ МПК E02B 3/06 (2006.01). Волнозащитное сооружение / Николаевский М. Ю., Горгуца Р. Ю., Субботин М. В. — № 2010146509/21. — Заявл. 15.11.2010; Оpubл. 10.04.2011. — Бюл. № 10. — 3 с.
9. *Николаевский М. Ю.* Сквозное непроницаемое волнозащитное сооружение с камерой гашения в порту Сочи / М. Ю. Николаевский, Р. Ю. Горгуца, М. В. Субботин // Гидротехника XXI век. — 2013. — № 2 (14).
10. НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ. Физическое моделирование воздействия ветровых волн на мол, проектируемый в порту Сочи: отчет о научно-исследовательской работе. — СПб., 2009. — 139 с.