

ИННОВАЦИОННОЕ ОГРАДИТЕЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ

Рогачко С.И., д.т.н., профессор,
rostasice@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5201-5368
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова 34, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. Оградительные сооружения, построенные во многих портах мира, являются гравитационными с вертикальной лицевой гранью. Уже в конце позапрошлого века, с появлением плавучих подъемных кранов, в качестве основных конструктивных элементов для их строительства использовались обыкновенные бетонные массивы, укладываемые по курсам с перевязкой швов. Многие из них успешно функционируют и по настоящее время. Наличие эллингов и сухих доков открыло возможность для такого рода сооружений применять железобетонные массивы-гиганты. Современные технологии по изготовлению железобетонных оболочек большого диаметра позволяют в качестве альтернативных вариантов рассматривать их использование и при строительстве оградительных сооружений гравитационного типа. К основным недостаткам гравитационных сооружений относятся высокие требования к несущей способности грунтов в их основании и строительство каменных постелей под водой. Существующие в настоящее время технологии по увеличению несущей способности грунтов в основании гидротехнических сооружений, апробированные в инженерной практике, являются весьма дорогостоящими, поскольку требуют применения специальной техники. Применение этих технологий в каждом реальном проекте приводит к увеличению стоимости сооружений и сроков их возведения.

В настоящей работе представлена конструкция оградительного сооружения, которая может успешно возводиться и на слабых грунтах. Основными ее конструктивными элементами являются сваи-оболочки, лицевые и тыловые плиты из железобетона, изготавливаемые в заводских условиях или на временных полигонах, расположенных на причалах. В качестве засыпки может использоваться рваный камень. Данное техническое решение защищено патентами Украины.

Ключевые слова: каменная постель, мол, волнолом, оградительные сооружения, кладка из обыкновенных бетонных массивов, массив-гигант.

Введение. Большинство конструкций оградительных сооружений в различных странах мира, относятся либо к гравитационному, либо к набросному типам. Наиболее оптимальными из них являются гравитационные сооружения в виде вертикальных стенок. Они менее материалоемкие, относительно быстро возводимы и надежно защищают акватории портов от проникающего через ворота портов штормового волнения. Строить такие сооружения начали еще в конце позапрошлого века, многие из них и ныне продолжают выполнять свое функциональное назначение. Сначала для возведения таких сооружений использовались обыкновенные бетонные массивы, а затем и массивы-гиганты.

Наиболее идеальными условиями для строительства таких сооружений являются скальные грунты. Тем не менее, в мировой практике морского гидротехнического строительства известны случаи строительства причалов, молов и волноломов гравитационного типа и на слабых грунтах. При таких условиях в более поздние времена применялась статические огрузки грунтовых оснований под каменными постелями, а также и самих постелей посредством предварительной установки бетонных массивов по курсам. Затем, после стабилизации осадок, кладка разбиралась, окончательно корректировалось плано-высотное положение каменной постели и массивы устанавливались по курсам в

проектное положение, по секциям. Продолжительность такой технологии занимала достаточно длинный период времени, поэтому ее применение в современных условиях представляется невозможной из-за существенного увеличения сроков строительства.

В прошлом веке в инженерную практику были внедрены различные технологии по искусственному укреплению слабых грунтов. Они требуют применения специализированных механизмов, в том числе и в морском исполнении. По этой причине использование таких технологий приводит к резкому удорожанию строительства и к увеличению его сроков. Таким образом, проблема возведения оградительных сооружений на слабых грунтах существует и в настоящее время. Данная проблема решена на основании анализа технического состояния построенных оградительных сооружений, а также технологий их возведения в различных природно-климатических условиях и регионах.

Анализ конструктивных решений оградительных сооружений. Одним из прогрессивных методов уплотнения каменных постелей при строительстве сооружений гравитационного типа был применен в Плавстройотряде №1 треста «Новороссийскморстрой». Тогда, в середине шестидесятых годов прошлого века, строились причалы широкого пирса №2 в порту Новороссийск и мола нефтяной гавани Шеххарис в Цемесской бухте [1]. Эти сооружения были запроектированы специалистами «ЧерноморНИИпроекта» в виде кладки из обыкновенных бетонных массивов. После грубого выравнивания каменной постели подводным планировщиком, с помощью сваи-оболочки диаметром 1,6 м, забетонированной нижним торцом в бетонный башмак, производилось ее уплотнение вибратором ВП-160, прикрепленным к верхнему торцу сваи. Такое устройство плавучим краном последовательно переставлялось по всей площади секции постели под контролем водолазов. Данная технология позволила существенно сократить сроки строительства, повысить качество работ, а соответственно, надежность и долговечность этих сооружений, которые успешно эксплуатируются и в настоящее время.

Таким образом, при проектировании и строительстве морских гидротехнических сооружений гравитационного типа к основным техническим трудностям можно отнести отсутствие в основании прочных грунтов и устройство каменных постелей, требующих применения ручного и непроизводительного труда водолазов. Слабые грунты в основании сооружений гравитационного типа необходимо укреплять, используя дорогостоящие технологии по увеличению их несущей способности [2-5]. Применение таких технологий невозможно без специальной техники в плавучем исполнении. В итоге стоимость морских гидротехнических сооружений существенно возрастает, а сроки строительства удлиняются.

Кроме гравитационных конструкций, при строительстве оградительных сооружений с давних времен применялись каменные наброски в тех регионах, где имелись достаточные запасы скальных пород. Их преимуществом является простота технологии возведения пионерным способом, а также допустимость неравномерных осадок, которые стабилизируются уже в процессе строительства. Наброски из камня и искусственных фигурных блоков полностью гасят энергию штормовых волн и поэтому перед ними невозможно возникновение стоячих волн. Это обстоятельство приводит к существенному уменьшению величины наката волн на внешние откосы, что позволяет снижать высоту надводных частей таких сооружений над максимальным расчетным уровнем воды. Обычно в тело оградительных сооружений отсыпается несортированный рваный камень, а на внешнем откосе для его устойчивости в зоне переменного уровня устраивается берма, от которой в надводные и подводные части укладываются искусственные бетонные блоки или сортированный камень.

Следует отметить, что добыча сортированного камня в карьерах является кропотливым и непроизводительным процессом. Поэтому использование для этих целей искусственных бетонных блоков требуемой массы, является более рациональным. Наибольшее распространение в практике мирового строительства оградительных сооружений набросного типа получили тетраподы. Они эффективно гасят энергию штормовых волн и наиболее устойчивы на откосах. Ширины берм и массы блоков зависят от расчетных параметров волн и углов заложения откосов. И оградительные, и берегозащитные сооружения из каменных набросок легко восстанавливаются при локальных разрушениях после воздействия на них

жестких штормов редкой повторяемости. Несмотря на целый ряд безусловных преимуществ, такие конструкции не рекомендуется применять при защите акваторий специализированных портов, в которых будут обслуживаться танкеры, перевозящие сырую нефть и различные нефтепродукты.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка простейшей конструкции оградительного сооружения, которое может успешно возводиться на слабых грунтах при строительстве новых портов, а также реконструкции существующих. Поставленная цель была достигнута решением следующих задач:

- анализом конструкций построенных оградительных сооружений гравитационного типа;
- анализом конструкций, построенных оградительных сооружений из каменной наброски;
- разработкой конструкции оградительного сооружения, которое может возводиться на слабых грунтах с использованием сборных железобетонных элементов, изготавливаемых в заводских условиях.

Материалы и методы исследований. В большинстве портов мира, в том числе и нашей страны, донные грунты представлены илами различной мощности. По этой причине строительство оградительных сооружений гравитационного типа в таких случаях будет затруднено, поскольку связано с дорогостоящим увеличением несущей способности грунтов основания или с их полной выемкой и последующей заменой [1]. Как известно к слабым грунтам относятся илы, заиленные пески, текуче-пластичные и текучие глины. Их консолидация это процесс уплотнения многофазной среды во времени выжиманием поровой жидкости и протекающих реологических процессов в скелетах этих грунтов.

В инженерной практике уплотнения илистых грунтов большой мощности применяются песчаные вертикальные дренажи, которые устраиваются с помощью специальной плавучей установки. Перед устройством дренажа на поверхности слабого грунта укладывается дренажирующий слой песка толщиной от 1,5 до 2 м с последующим выравниванием. Песчаные дренажи диаметром 400-500 мм, глубина которых зависит от мощности слоев слабых грунтов, располагаются по квадратной или шахматной сетке с определенным шагом. После устройства дренажа укрепляемая площадь пригружается и выдерживается во времени, в течение которого происходит уплотнение грунтового основания. По истечении заданного срока времени пригрузка разбирается. Недостаток этого способа заключается в трудоемкости подводно-технических работ и их высокой стоимости.

Широкое распространение при уплотнении слабых грунтов получили бумажные дренажи, которые, как показал практический опыт их использования, примерно в четыре раза дешевле песчаных дренажей. При этом производительность установок по их устройству значительно выше производительности установок по устройству песчаных дренажей [1].

Широкое внедрение в инженерную практику получила технология глубинного перемешивания слабых грунтов с цементом (Deep Soil Mixing (DSM)) [6, 7]. Она была разработана японскими специалистами и применена при строительстве портовых гидротехнических сооружений, а также при обустройстве морских месторождений на мелководных участках шельфа. Позже эта технология применялась в Европе и в США. Производство, для ее успешного внедрения строительной техники, в том числе и в плавучем исполнении, позволяет укреплять слабые грунты мощностью до 50м [8].

В тех случаях, когда слой слабого грунта в основании проектируемого сооружения относительно небольшой мощности, то с помощью специализированных судов технического флота производят их удаление. Далее вместо удаленного грунта с помощью саморазгружающихся барж в образовавшуюся траншею отсыпается крупнозернистый песок или песчано-гравелистая смесь, которая при необходимости может уплотняться перед строительством каменных постелей.

Результаты исследований. В настоящей работе представлена конструкция оградительного сооружения, которое может проектироваться и строиться при неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Данное техническое решение было защищено патентами на полезную модель и на изобретение в Украине [9, 10]. Поперечный разрез оградительного сооружения представлен на рис. 1.

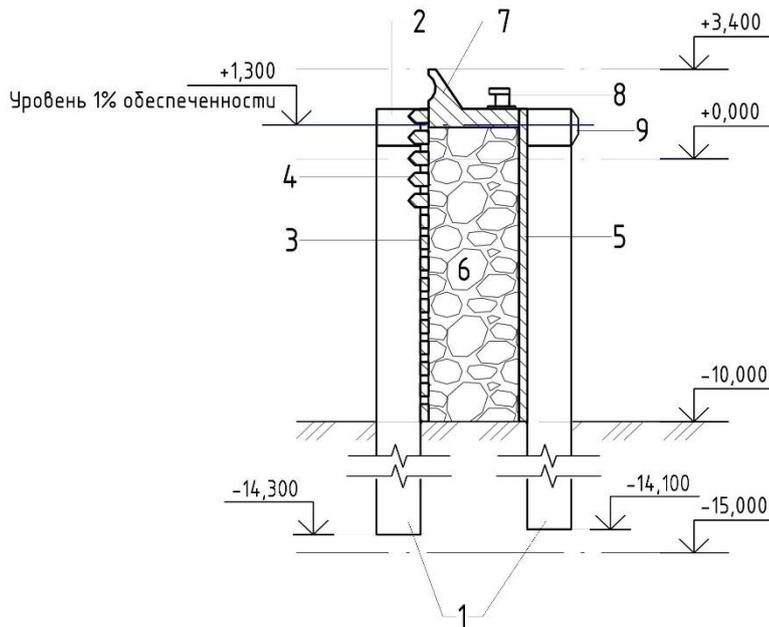


Рис. 1. Поперечный разрез волнолома

Основой несущей конструкцией такого оградительного сооружения являются полые цилиндрические сваи 1, которые погружаются в грунт с помощью вибропогружателя и могут быть даже висячими. На срубленные под требуемую отметку головы свай, устанавливаются поперечные ригели 2 с отверстиями для омоноличивания бетоном со сваями. На ригелях закрепляются внешние лицевые решетчатые плиты 3 с конструктивными элементами 4 в зоне переменного уровня воды для снижения ледовых нагрузок от воздействия ровных ледяных полей и торосов. Со стороны акватории в тыловой части сооружения на ригелях закрепляются тыловые железобетонные плиты 5 сплошного типа. Пространство между плитами 3 и 5 заполняется несортированным камнем 6. Над заполненным камнем пространством, устраивается со стороны моря волноотбойная стенка 7, а со стороны акватории швартовные тумбы 8 и отбойные устройства 9 для отстоя судов в штормовые периоды. В головной части оградительного сооружения устраивается торцевая решетчатая плита 10 (рис. 2). Фасад головной секции оградительного сооружения представлен на рис. 3, 4.

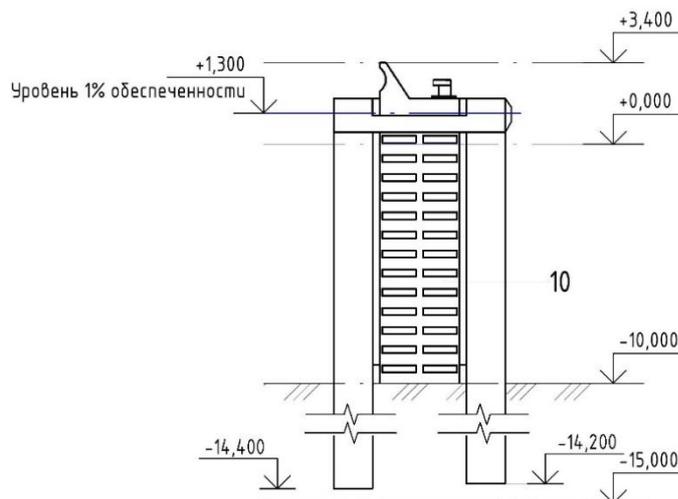


Рис. 2. Торец головы оградительного сооружения

Новизна данного технического решения состоит в наличии: полых цилиндрических железобетонных свай, которые, благодаря площадям внешней и внутренней поверхности, могут быть даже висячими; секций по длине сооружения, состоящих из отдельных железобетонных

коробов без дна, заполняемых несортированным рваным камнем; решетчатой лицевой стенки, снабженной ледоразрушающими конструктивными элементами в зоне переменного уровня воды; сплошной тыловой стенки, не позволяющей проникновению ветровых волн на защищаемую акваторию; причала со стороны акватории для отстоя судов.

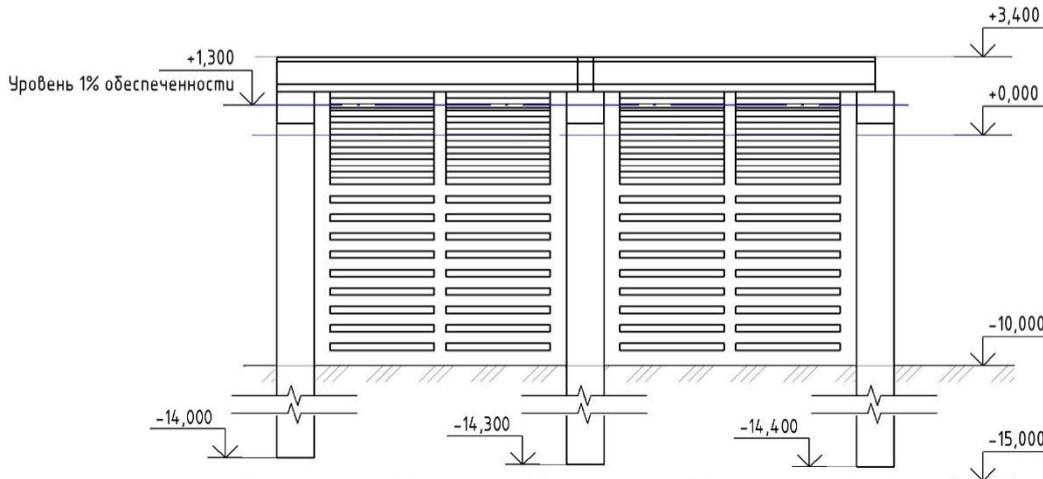


Рис. 3. Фасад головной секции оградительного сооружения

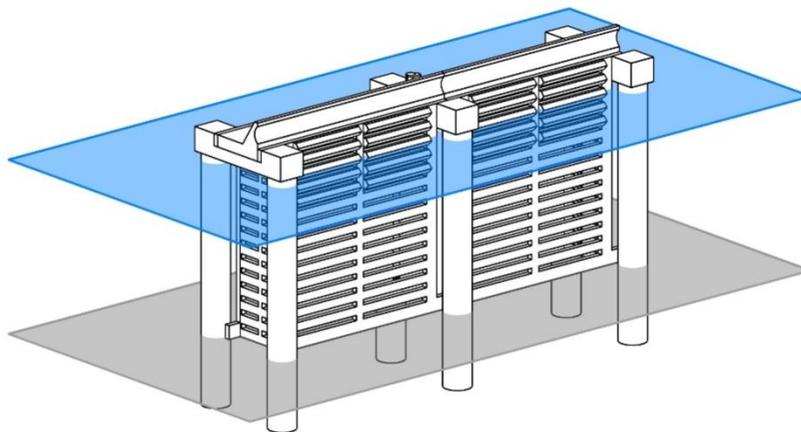


Рис. 4. Головная секция оградительного сооружения

Работа такого сооружения представляется следующим образом. В штормовые периоды ветровые волны будут воздействовать на лицевую вертикальную щелевую плиту. При этом, благодаря специфичности такой конструкции, с морской стороны исключено возникновение перед сооружением стоячих волн. По этой причине эпюра волнового давления будет существенным образом выгодно отличаться от эпюры волнового давления стоячих волн на сплошную вертикальную стенку. Значительная часть волновой энергии будет гаситься каменной наброской, а меньшая ее часть будет отражаться от лицевой плиты и боковой поверхности свай. Отсутствие стоячих волн позволит уменьшить высоту дорогостоящей надводной части с волноотбойной стенкой. В итоге, горизонтальная составляющая волновой нагрузки на сооружение будет значительно ниже по сравнению с волновой нагрузкой на вертикальные оградительные сооружения гравитационного типа со сплошной лицевой поверхностью.

Давление каменной засыпки на грунтовое основание в центре секции, с учетом пористости камня той или иной крупности и взвешивающих сил будет значительно ниже, по сравнению с напряжениями как под подошвами гравитационных сооружений, так и под каменными постелями, на которых они возводятся. Оно может быть приближенно определено с помощью простейшей зависимости, учитывающей взвешивающую силу, удельный вес камня над расчетным уровнем воды – γ , Н/м³, удельный вес камня под водой $\gamma_{вз}$, Н/м³, коэффициент пористости каменной наброски – k_p и высоту сооружения. Общая

высота каменной засыпки состоит из глубины воды d , м и высоты надводной части – Δh , м, равной расстоянию от расчетного уровня воды до отметки верха ригеля. Так на 1 м^2 площади основания в центре секции будет действовать вес каменной засыпки – G , Н.

$$G = \Delta h \times \gamma \times k_p + d \times \gamma_{вз} \times k_p \quad (1)$$

Отнесенная изначально к одному квадратному метру, эта величина будет представлять приближенную величину давления P , Па на грунтовое основание от каменной засыпки. Очевидным представляется тот факт, что некоторая часть объема камня погрузится в слой слабого грунта в процессе его засыпки между лицевыми и тыловыми плитами сооружения. Тогда после стабилизации осадки и досыпки камня в каждую секцию по длине сооружения, на 1 м^2 площади будет дополнительно увеличен вес каменной засыпки на величину ΔG .

$$\Delta G = \Delta d \times \gamma_{вз} \times k_p, \quad (2)$$

где Δd , м – величина осадки каменной засыпки.

В зимние периоды года, особенно в суровые зимы редкой повторяемости, силовое воздействие ровных ледяных полей будет также значительно ниже по сравнению с ледовой нагрузкой на секцию гравитационного сооружения вертикального профиля. Основными причинами этого снижения являются: наличие конструктивных ледоразрушающих элементов на лицевых щелевых плитах; щели на лицевых плитах; боковые поверхности свай циркульного очертания, выступающие за лицевые плиты в сторону моря. Перечисленные факторы будут способствовать асинхронному разрушению ровных ледяных полей, одиночных торосов и полей торшения во времени, что приведет к существенному снижению горизонтальной составляющей ледовой нагрузки и смягчению ее реализации во времени.

Выводы:

1. Проектирование и строительство оградительных сооружений гравитационного типа на слабых грунтах сопряжено с целым рядом технических трудностей, преодоление которых связано со значительными дополнительными финансовыми расходами и неоправданным увеличением сроков строительства, а значит и сроков окупаемости.
2. Проектирование и строительство оградительных сооружений из каменной наброски целесообразно лишь в тех регионах, где имеются неограниченные запасы скальных пород. Применение таких сооружений не рекомендуется в специализированных портах, предназначенных для обслуживания танкеров, перевозящих сырую нефть и нефтепродукты.
3. Представленная в настоящей работе конструкция оградительного сооружения может возводиться на слабых грунтах из сборных железобетонных элементов, изготавливаемых в заводских условиях с использованием современных технологий. В качестве заполнителя может применяться несортированный камень.
4. Данное сооружение запатентовано в Украине и выгодно отличается от традиционных, как умеренной стоимостью, так и приемлемыми сроками строительства.
5. Проектирование такого сооружения, как и любого другого гидротехнического объекта, невозможно без надлежащего научного сопровождения.

Литература

1. С.Г. Ефимов. Технология и организация строительства водных путей и портов «Высшая школа» М, 1974. С. 101-106, 281-300.
2. РД 31.31.34-85. Инструкция по проектированию причальных сооружений распорного типа на слабых грунтах. Ленморниипроект, М: В/О «Мортехинформреклама». 1986. 105 с.
3. РД 31.31.29-82. Руководство по проектированию илцементных оснований и фундаментов портовых сооружений. НИИ оснований им. Н.М. Герсиванова, М.: В/О «Мортехинформреклама». 1983. 16 с.
4. РД 31.31. 06-79. Руководство по расчету предпостроечного уплотнения слабых грунтов для портового гидротехнического строительства Черноморниипроект, М.: В/О «Мортехинформреклама». 1979. 25 с.
5. РД 31.3. 02-98. Рекомендации по проектированию морских портовых гидротехнических сооружений в сейсмических районах при наличии в основании слабых

грунтов. АООТ «ДНИИМФ». Владивосток, 1998. 29 с.

6. Coastal Development Institute Tokyo. *The Deep Mixing Method: Principle, Design and construction*. A.A. Balkema Publishers. Tokyo. 2002. 123 p.

7. Masaki Kitazume, Masaaki Terashi. *The Deep Mixing Method*. CRC Press. 2013. 410 p.

8. С.И. Голубин, К.Н. Савельев. Повышение прочности слабых грунтов при обустройстве морских нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений и береговой инфраструктуры на шельфе дальнего востока. *Газовая промышленность*. 2017. №1. С. 20-24.

9. Рогачко С.І., Неделев П.С. Огороджувальна споруда: патент на корисну модель № 99362. Київ, 2015.

10. Рогачко С.І., Неделев П.С. Огороджувальна споруда: патент на винахід № 108826. Київ, 2015.

References

- [1] S.G. Efimov, *Technologija i organizacija stroitelstva vodnyh putey i portov*. Moskva, Vyschaja shkola, 1974.
- [2] RD 31.31.34-85. Instrukciya po proektirovaniyu prichal'nyh sooruzhenij raspornogo tipa na slabyyh gruntah. Lenmorniiiproekt, M.: V/O «Mortekhinformreklama». 1986.
- [3] RD 31.31.29-82. Rukovodstvo po proektirovaniyu ilocementnyh osnovanij i fundamentov portovyh sooruzhenij. NII osnovanij im. N.M. Gersivanova, M.: V/O «Mortekhinformreklama». 1983.
- [4] RD 31.31. 06-79. Rukovodstvo po raschetu predpostrochnogo uplotneniya slabyyh gruntov dlya portovogo gidrotekhnicheskogo stroitel'stva Chernomorniiiproekt, M.: V/O. «Mortekhinformreklama». 1983.
- [5] RD 31.3. 02-98. Rekomendacii po proektirovaniyu morskikh portovyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij v sejsmicheskikh rajonah pri nalichii v osnovanii slabyyh gruntov. АООТ «ДНИИМФ». Владивосток, 1998.
- [6] Coastal Development Institute Tokyo. *The Deep Mixing Method: Principle, Design and construction*. A.A. Balkema Publishers. Tokyo. 2002.
- [7] Masaki Kitazume, Masaaki Terashi. *The Deep Mixing Method*. CRC Press. 2013.
- [8] S.I. Golubin, K.N. Savel'ev, "Povyshenie prochnosti slabyyh gruntov pri obustrojstve morskikh neftegazopromyslovyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij i beregovoy infrastruktury na shel'fe dal'nego vostoka", *Gazovaya promyshlennost'*, no.1, pp. 20-24, 2017.
- [9] S.I. Rogachko, P.S. Nedelev, Ogorodjuvalna sporuda: patent na korysnu model no. 99362 Ukraina. Kiev, 2015.
- [10] S.I. Rogachko, P.S. Nedelev, Ogorodjuvalna sporuda: patent na vynahid no.108826 Ukraina. Kiev, 2015.

ІННОВАЦІЙНА ОГОРОДЖУВАЛЬНА СПОРУДА

Рогачко С.І., д.т.н., професор,
rostasice@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5201-5368
Одеський національний морський університет
вул. Мечнікова 34, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Захисні споруди які побудовані в багатьох портах світу, є гравітаційними з вертикальними лицьовими поверхнями. Уже в кінці позаминулого століття, з появою плавучих підйомних кранів, в якості основних конструктивних елементів для їх будівництва використовувалися звичайні бетонні масиви, що укладаються по курсам з перев'язкою швів. Багато з них успішно функціонують і в нинішній час. Наявність елінгів та сухих доків відкрила можливість для такого роду споруд застосовувати залізобетонні масиви-гіганти. Сучасні технології з виготовлення залізобетонних оболонок великого діаметра дозволяють в якості альтернативних варіантів розглядати їх використання і при будівництві захисних споруд

гравітаційного типу. До основних недоліків гравітаційних споруд відносяться високі вимоги до міцності ґрунтів в їх основі та будівництво кам'яних постіль під водою з використанням ручної праці водолазів. Існуючі в теперішній час технології по збільшенню фізико-механічних характеристик ґрунтів, що залягають в основі гідротехнічних споруд, які застосовуються в інженерній практиці, є занадто дорогими, оскільки потребують використання спеціальної техніки в морському виконанні. Таким чином використання цих технологій в кожному реальному проекті приводить до збільшення вартості морських гідротехнічних споруд різного призначення та термінів їх будівництва.

В даній роботі, на основі аналізу вже побудованих морських гідротехнічних споруд в різних регіонах, представлена розроблена конструкція огорожувальної споруди, яка може успішно будуватися і на слабких ґрунтах. Основними її конструктивними елементами є палі-оболонки, лицеві щільові та тиллові суцільні залізобетонні плити, які можуть виготовлятися в заводських умовах, або на тимчасових полігонах, розташованих на причалах. В якості заповнювача може використовуватись рваний камінь. Дане технічне рішення захищено патентами України. Його реалізація в інженерну практику потребує розробки проекту при обов'язковому науковому супроводі та наявності спеціалізованої будівельної організації з досвідом будівництва морських гідротехнічних споруд в умовах відкритого моря.

Ключові слова: кам'яна постіль, мол, хвилелом, захисні споруди, кладка з звичайних бетонних масивів, масив-гігант.

THE INNOVATIVE BREAKWATER STRUCTURE

Rogachko S.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,
rostasice@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5201-5368
Odessa National Maritime University
34, Mechnikova st., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Most of the breakwater structures in various countries of the world are either gravitational or rock-fill types. The most optimal of them are gravity structures in the form of vertical walls. They are less material-capacious, are relatively quick prefabricated and reliably protect the port waters from storm waves. The construction of such structures began in the century before last many of them continue to fulfill their functional purpose. At first, ordinary concrete massifs were used for the construction of such structures, and then ferroconcrete massif-giants.

The most ideal conditions for the construction of such structures are rocky soils. Nevertheless, in the world practice of marine hydraulically construction, there are cases of construction of berths and breakwaters of gravity type and on soft soils. Under such conditions, in later times, static loading of soil foundations was used under rubble-mound, as well as the beds themselves, by pre-installing concrete massifs at courses. Then, after stabilization of the subsidence, the masonry was dismantled, the planned-high-altitude position of the rubble-mound was finally corrected and the massifs were set along the courses to the design position, in sections. The duration of this technology took a rather long period of time, so its application in modern conditions seems impossible due to a significant increase in the construction time.

In the last century, various technologies for artificial strengthening of soft soils were introduced into engineering practice. They require the use of specialized mechanisms, including those in the marine version. For this reason, the use of such technologies leads to a sharp rise in the cost of construction and an increase in its terms of building. Thus, the problem of build protective structures on soft soils exists at the present time.

This problem was solved on the basis of an analysis of the technical condition of the constructed breakwater structures, as well as technologies for their construction in various climatic conditions and regions.

Keywords: rubble-mound; breakwater structures; concrete massifs; ferroconcrete massif- giants.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2021