

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ

DOI: 10.15593/2409-5125/2021.01.08

УДК 05.23.01

Н.М. Овчинников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ОБЗОР МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИЧАЛОВ ТИПА «БОЛЬВЕРК»

Развитие внешней торговли и ориентация на экспорт стратегических отраслей экономики Российской Федерации ведет к все большей интенсификации процесса модернизации и развития морской транспортной инфраструктуры. При этом рациональным направлением развития портовой инфраструктуры является не только строительство новых портов и грузовых терминалов, но и реконструкция и техническое перевооружение уже имеющихся.

Одним из наиболее распространенных типов причальных сооружений является больверк. Особенностью данного типа причалов является применение тонкой вертикальной стенки и нескольких анкерных тяг и анкерных опор. Их широкое распространение обусловлено их экономичностью и малой трудоемкостью. Пик строительства сооружений данного типа наблюдался в 60–70-е годы прошлого века. Нормативный срок службы многих из этих сооружений подходит к концу. На сегодняшний день только 30 % гидротехнических сооружений соответствует нормам безопасности, и большинство из них требуют восстановления несущей способности. Тенденция к росту товарооборота привела к значительному росту грузоподъемности торгового флота, введению новых типов грузовых судов PANAMAX и POSTPANAMAX, которые предъявляют более жесткие требования к обслуживающей инфраструктуре. Большое количество больверков, построенных во второй половине XX в., не способны обслуживать данные типы судов по причине недостаточных глубин в прилегающей акватории.

В статье проанализированы отечественные и зарубежные материалы, использование которых возможно при реконструкции причальных сооружений. Описаны основные схемы реконструкции причалов: устройство оторочек, вертикальных экранирующих элементов, разгружающих платформ, дополнительных анкерных тяг и закрепление грунтов.

Ключевые слова: причал, реконструкция, больверк, свая, анкер, струйная цементация.

Развитие внешней торговли и ориентация на экспорт стратегических отраслей экономики Российской Федерации ведут к все большей интенсификации процесса модернизации и развития морской транспортной инфраструктуры [1].

Актуальность развития портовой инфраструктуры обосновывается стабильным увеличением грузооборота портов РФ в течение последнего десятилетия (рис. 1) [2]. Прогнозируемый рост производства в сырьевых

отраслях обеспечит оптимальную загрузку вновь возведенных портовых мощностей.

Рациональное развитие портовой инфраструктуры подразумевает под собой не только строительство новых портов и грузовых терминалов, но и реконструкцию и техническое перевооружение уже имеющихся.

Одним из наиболее распространенных типов причальных сооружений является больверк [3]. Особенностью данного типа причалов является применение тонкой вертикальной стенки и нескольких анкерных тяг и анкерных опор (рис. 1, 2). Наиболее распространенным вариантом исполнения лицевой стенки являются: металлический шпунт типа «Ларсен», металлические трубы разного диаметра. Встречаются варианты применения деревянных свай. Анкерные тяги выполняют, как правило, из стали круглого сечения, составляя их из звеньев, соединяемых между собой сваркой или муфтами. Допускается применение анкерных тяг из тросов или иных стальных профилей.

Сооружения данного типа составляют более 50 % от общего числа возводимых причалов. Их широкое распространение обусловлено их экономичностью, малой материалоемкостью, малой трудоемкостью, краткими сроками строительства [4]. Пик массового строительства причальных сооружений данного типа наблюдался в 60–70-е годы прошлого века.

Нормативный срок службы многих причальных сооружений данного типа подходит к концу. На сегодняшний день только 30 % гидротехнических сооружений соответствуют нормам безопасности, и большинство сооружений требуют восстановления несущей способности [5].

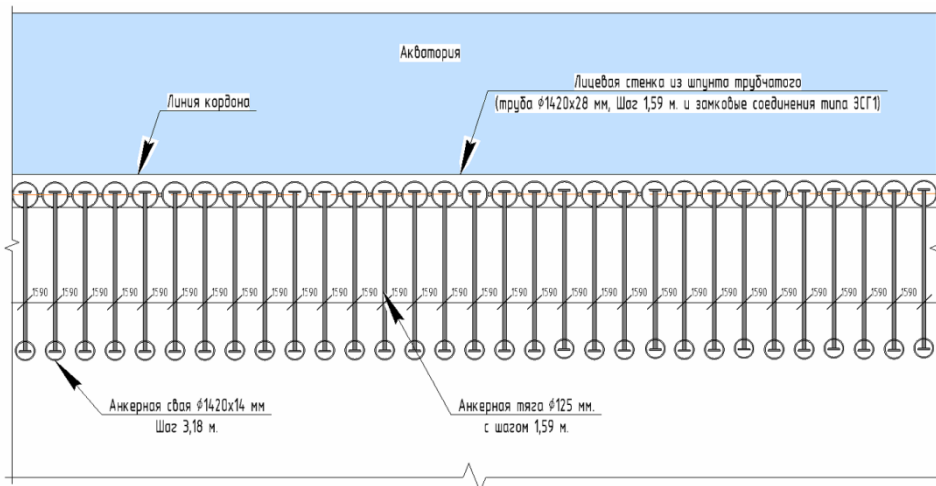


Рис. 1. Схема причала типа «больверк»

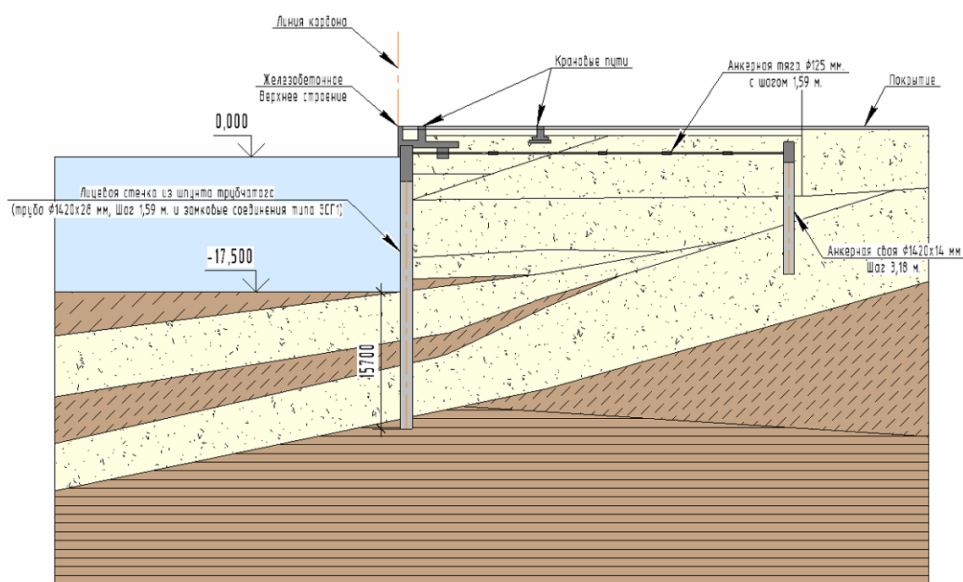


Рис. 2. Схема причала типа «большерк»

Необходимость проведения мероприятий по реконструкции может быть вызвана: значительным износом конструктивных элементов большерка, развитием непроектных деформаций лицевой стенки, появлением неравномерных осадок покрытия причала в прикордонной зоне вследствие суффозионного выноса грунта через лицевую стенку, увеличением глубины у причала вследствие размыва морского дна при швартовке судов.

Особое место занимает задача усиления причальных конструкций при проведении дноуглубительных работ в непосредственной близости от сооружения. Тенденция к росту товарооборота привела к значительному росту грузоподъемности торгового флота, введению новых типов грузовых судов PANAMAX и POSTPANAMAX, которые предъявляют более жесткие требования к обслуживающей инфраструктуре. Осадка данных типов судов может достигать 15,0 м. Причалы, построенные во второй половине XX века, не способны обслуживать их по причине недостаточных глубин акватории возле причала. Предельной в те времена являлась типовая глубина, равная 11,5 м. Конструкции многих причалов, описанных в нормативной литературе того времени, в том числе большерка, были ориентированы именно на эту глубину [6].

Методы реконструкции причалов. В отечественной справочной литературе, в частности в РД 31.31.38–86 «Инструкция по усилению и реконструкции причальных сооружений», для усиления причальных сооружений типа «большерк» рекомендованы следующие методы усиления (рис. 3):

- 1) устройство оторочки в виде заанкеренного бойверка;
- 2) устройство оторочки в виде эстакады;
- 3) устройство оторочки в виде заанкеренного свайного ряда;
- 4) устройство вертикальных экранирующих элементов;
- 5) устройство разгружающей платформы;
- 6) устройство дополнительных анкеров;
- 7) устройство грунтовых анкеров;
- 8) устройство свайного основания подкрановой балки;
- 9) закрепление грунта.

Окончательный выбор метода усиления производится после технико-экономического сравнения целесообразных в данных условиях вариантов [7].

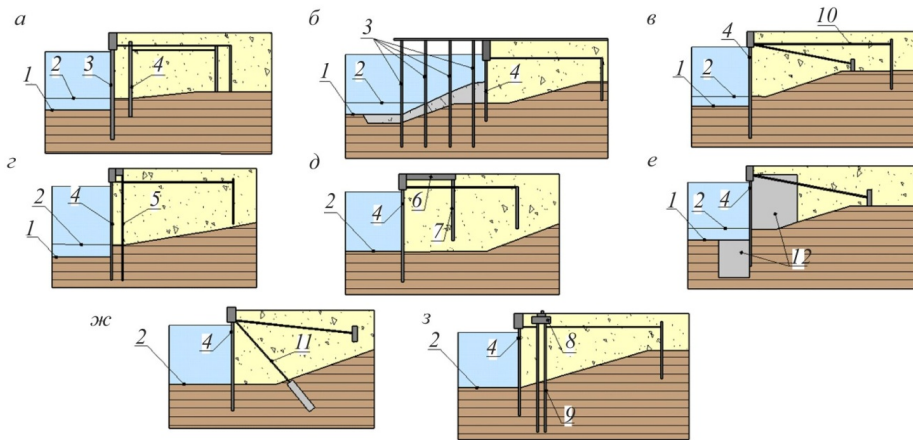


Рис. 3. Методы усиления причалов типа «бойверк»: *а* – устройство оторочки в виде заанкеренного бойверка; *б* – устройство оторочки в виде эстакады; *в* – устройство дополнительных анкеров; *г* – устройство вертикальных экранирующих элементов; *д* – устройство разгружающей платформы; *е* – закрепление грунта; *ж* – устройство грунтовых анкеров; *з* – устройство свайного основания подкрановой балки; 1 – проектная отметка дна; 2 – существующая отметка дна; 3 – оторочка; 4 – бойверк; 5 – экранирующий элемент; 6 – разгружающая платформа; 7 – тыловая опора; 8 – подкрановая балка; 9 – свайное основание; 10 – анкерная тяга; 11 – грунтовый анкер; 12 – закрепленный грунт

1. Устройство оторочек (рис. 3, *а*, *б*). В общем виде данный способ представляет собой устройство со стороны акватории дополнительной вертикальной несущей конструкции из металлических или железобетонных элементов, воспринимающей дополнительные нагрузки. Данный метод является достаточно простым в плане технологии производства работ. Значительным недостатком является необходимость переноса линии кордона причала в сторону акватории, особенно при устройстве оторочки в виде эстакады.

Отличается сравнительно небольшой трудоемкостью и материалоемкостью, которые, однако, заметно возрастают с увеличением величины выноса линии кордона относительно существующей конструкции. Возможность дноуглубления у причала после реконструкции варьируется от незначительной (при применении оторочек из свай, ввиду неэффективности восприятия распорных усилий вертикальной консольно стоящей стенкой) до значительной (при устройстве оторочек в виде эстакады, с дополнительным устройством пригружающих призм). Имеется необходимость частичного вывода причала из эксплуатации на период производства строительномонтажных работ (СМР).

2. Устройство экранирующих элементов (рис. 3, з). Данный способ реконструкции причальных сооружений представляет собой устройство в тыловой зоне причала дополнительных вертикальных несущих конструкций (различные металлические профили, стена в грунте), устраиваемых с целью восприятия дополнительных вертикальных и горизонтальных нагрузок. Применяется, когда отсутствует возможность переноса линии кордона причала в сторону акватории.

Отличается высокой степенью прогнозируемости результатов усиления. К достоинствам относится малая трудоемкость и материалоемкость. Затруднено применение метода при наличии крупнообломочных грунтов в составе обратной засыпки. Значительное дноуглубление у причала, после производства работ по устройству экранирующих элементов, затруднительно. Необходимость переноса линии кордона причала отсутствует. На период производства СМР эксплуатация причала возможна в ограниченном режиме.

3. Устройство разгрузочных элементов (рис. 3, д, з). Применяется с целью снижения горизонтального давления на существующую лицевую стенку больверка, при необходимости повышения категории эксплуатационных нагрузок, при необходимости увеличения параметров прочности и устойчивости.

При устройстве разгружающих платформ в прикордонной зоне, для снижения распорного давления, разгружающую платформу располагают непосредственно за существующим сооружением. Для повышения общей устойчивости существующего сооружения или при необходимости существенного повышения эксплуатационных нагрузок в тыловой зоне причала тыловую платформу следует располагать в зоне, определяемой положением опасных кривых скольжения или технологическими требованиями, а дополнительные опоры под платформу погружать ниже этих кривых на глубину, обеспечивающую заделку опор.

Устройство дополнительных опор производят для снижения распорных нагрузок на лицевую стенку при увеличении величины полезной нагрузки в прикормонной зоне, установки кранового оборудования с увеличенной нагрузкой на каток или с большим весом подкрановых балок.

Метод отличается невысокой трудоемкостью и материалоемкостью. На период производства СМР необходим частичный вывод причала из эксплуатации. Возможность значительного увеличения глубины у причала отсутствует.

4. Устройство дополнительных анкерных тяг (рис. 3, в). Данный способ реконструкции причальных сооружений подробно описан в нормативной литературе. Применяется в случае достаточной несущей способности существующей лицевой стенки при условии возможности прокладки дополнительных анкеров.

Дополнительные анкерные тяги рекомендуется устанавливать в промежутках между существующими. Включение установленных тяг в работу следует осуществлять путем их предварительного натяжения.

Данный способ отличается высокой степенью прогнозируемости результатов усиления. Большой объем земляных работ ведет к значительному увеличению трудоемкости и необходимости вывода причала из эксплуатации на период производства СМР. Невозможность устройства анкерных тяг ниже уровня воды в акватории ограничивает возможность производства работ по дноуглублению. Необходимость переноса линии кордона в сторону акватории отсутствует.

5. Устройство грунтовых анкеров (рис. 3, ж). Во многих случаях устройство грунтовых анкеров является предпочтительным ввиду эффективности восприятия горизонтальных нагрузок при сравнительно невысоком уровне трудозатрат на их устройство. Устройство грунтовых анкеров при реконструкции причальных сооружений широко применяется как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

В случае работы с воды устройство анкеров ведется с плавающих платформ. При условии расположения буровой установки на значительном расстоянии от устья скважины предусматривается устройство направляющих.

К основным преимуществам данной технологии относится возможность выполнения работ без вывода причала из эксплуатации, отсутствие необходимости сужения акватории, значительное увеличение несущей способности причального сооружения при устройстве грунтовых анкеров ниже уровня воды в акватории, невысокая трудоемкость и материалоемкость технологии [8].

К недостаткам можно отнести технологическую сложность проведения испытаний грунтового анкера на выдергивание под водой, ввиду отсутствия достаточного количества апробированных технических решений, методик и технологий [9].

6. Закрепление грунтов (рис. 3, е). Суть данного метода заключается в повышении физико-механических свойств грунта, достигаемом применением различных вяжущих материалов, в результате чего образуются более прочные связи между частицами грунта. При использовании данного метода реконструкции сооружений применительно к причалам типа «больверк» происходит изменение характера работы сооружения с распорного на гравитационное.

Наиболее часто в практике современного гидротехнического строительства используются: напорная инъекторная цементация, струйная цементация, технология перемешивания грунта.

Данный способ реконструкции гидротехнических сооружений в настоящий момент не нашел широкого применения на практике. Это связано с недостаточностью развития нормативной базы в области закрепления грунтов, сложностью прогнозирования результатов закрепления, а также относительной неоднородностью свойств закрепленного грунта ввиду анизотропии свойств грунта на площадке [10–12].

Метод закрепления грунта отличается надежностью, значительным увеличением несущей способности укрепленного причала, в результате чего становится возможным производство работ по значительному дноуглублению вблизи причалов. Отличается сравнительно высокой трудоемкостью и материалоемкостью. Необходимость вывода причала из эксплуатации на период производства СМР отсутствует, ввиду возможности производства работ по закреплению в окна между подходами судов. Перенос линии кордона не требуется [13–15].

Заключение. Развитие портовой инфраструктуры является одним из наиболее важных инфраструктурных проектов, реализуемых на данный момент на территории Российской Федерации. Тенденция к увеличению габаритов морских торговых судов ведет к необходимости изменения основных технико-экономических показателей причальных сооружений (эксплуатационных нагрузок, отметок дна перед сооружением), что на фоне общей изношенности существующих причальных конструкций приводит к необходимости их реконструкции.

Обзор существующих методов реконструкции причалов показал, что применимость многих описанных конструктивных схем усиления ограничена при необходимости значительного понижения отметок морского дна

у сооружения. Для реконструкции с применением дноуглубления наиболее применимы следующие методы: устройство оторочек; устройство дополнительных анкерных тяг; закрепление грунтов.

Применимость метода реконструкции с устройством оторочек ограничена, в условиях невозможности переноса линии кордона причала в сторону акватории, а также в условиях невозможности вывода причала из эксплуатации на длительный срок.

Метод реконструкции посредством устройства грунтовых анкеров имеет ограниченную применимость в условиях недостаточной несущей способности существующей лицевой стенки.

Метод усиления причала при помощи закрепления грунтов лишен описанных выше недостатков, однако отличается значительной материалоемкостью, что может оказаться критичным в условиях отсутствия производственной и материальной базы в районе строительства объекта.

В связи с вышесказанным можно сделать вывод, что в настоящее время актуальной задачей является разработка конструктивных решений, применяемых при строительстве и реконструкции причальных сооружений для глубин, достигающих 15–20 м.

Библиографический список

1. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года / ФГУП Росморпорт и др. – М.: Москва, 2013. – 190 с.
2. Официальный сайт ООО «Морстройтехнология». [Электронный ресурс]. – URL: <https://morproekt.ru/articles/prezentatsii> (дата обращения: 17.01.2021).
3. Костиюков В.Д. Надежность морских причалов и их реконструкция. – М.: Транспорт, 1987. – 222 с.
4. Фомин Ю.Н. Оценка риска аварий при строительстве причальных сооружений типа «больверк»: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2002. – 122 с.
5. Рогачко С.И. Проблемы проектирования морских портов в северных широтах // Гидротехника, 2020. – № 4. – С. 36–39.
6. Чеботарев О.Н., Пойзнер М.Б., Дубровский М.П. Строительство портовых ГТС из сварного шпунта – М.: Транспорт, 1993. – 176 с.
7. Горгуца Р.Ю., Лисовский С.В., Бойченко П.О. Реконструкция причальных стенок с применением инъекционных анкеров и методы их контроля ниже уровня воды // Гидротехника. – 2016. – № 2. – С. 46–49.
8. Подкорытова Д.А. Способы реконструкции и усиления больверков инъекционными методами // Инновации и инвестиции – 2020. – № 1. – С. 257–260.
9. Горгуца Р.Ю., Лисовский С.В. Применение современных методов реконструкции причальных сооружений типа больверк без вывода из эксплуатации // Гидротехника. – 2020. – № 3. – С. 48–51.
10. Николаевский М.Ю., Горгуца Р.Ю., Соколов А.В. Реконструкция причалов типа «больверк» путем изменения характера работы сооружения с распорного на гравитационное // Гидротехника. – 2014. – № 1. – С. 48–53.
11. Arora S., Kinley J. Jet Grouting for the Re-support of Pier 11A in San Diego, CA // Coastal Engineering Practice / ASCE. [S.l.], 2011.

12. Alexandre Pinto, Rui Tomásio, Gonçalo Marques. Ground Improvement with Jet Grouting Solutions at the New Cruise Terminal in Lisbon, Portugal // *Procedia Engineering. Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics*. – 2016. – Vol. 3. – P. 1495–1502.

13. Dennis W.B. The Utilization of Jet Grouting and Soil Mixing Methods to repair and Support Bulkhead Structures // *Port Development in the Changing World Proceedings of the Ports 2004 Conference American Society of Civil Engineers*. – Houston, 2004.

14. Dennis W.B., Thomas A.P. Super Jet Grouting Repairs and Extends the Life of Ailing Coastal Front Structure // *Grouting and Ground Treatment Proceedings of the Third International Conference American Society of Civil Engineers*. – New Orleans, 2003.

References

1. Strategiya razvitiya morskoy portovoj infrastruktury` Rossii do 2030 goda / FGUP Rosmorport i dr. – Moscow., Izd-vo Moskva, 2013. – 190 p.

2. ООО «Морстроиттехнология». available at: <https://morproekt.ru/articles/prezentatsii> (accessed 17 January 2021).

3. Kostyukov V.D. Nadezhnost` morskix prichalov i ix rekonstrukciya. [Reliability of marine berths and their reconstruction]. Moscow.: Transport, 1987. – 222 p.

4. Fomin Yu.N. Ocenka riska avarij pri stroitel'stve prichal'ny'x sooruzhenij tipa "bol'verk" [Assessment of the risk of accidents during the construction of berthing facilities of the "bol'verk" type"]. Ph. D. thesis. Sankt-Peterburg, 2002 – 122 p.

5. Rogachko S.I. Problemy` proektirovaniya morskix portov v severny'x shirotax [Problems of designing seaports in Northern latitudes]. *Gidrotexnika*. 2020, no.4, pp. 36-39.

6. Chebotarev O.N, Pojzner M.B., Dubrovskij M.P. Stroitel'stvo portovy'x GTS iz svarnogo shpunta [Construction of port facilities made of welded sheet piling] Moscow: Transport, 1993, 176 p.

7. Gorgucza R.Yu., Lisovskij S.V., Bojchenko P.O. Rekonstrukciya prichal'ny'x stenok s primeneniem in'ekcionny'x ankerov i metody` ix kontrolya nizhe urovnya vody. [Reconstruction of mooring walls with the use of injection anchors and methods of their control below the water level.] *Gidrotexnika*. 2016, no.2, pp. 46-49.

8. Podkory'tova D.A. Sposoby` rekonstrukcii i usileniya bol'verkov in'ekcionny'mi metodami. [Methods of reconstruction and reinforcement of bulwarks injection methods.]. *Innovacii i investicii*. 2020, no.1, pp. 257-260

9. Gorgucza R.Yu., Lisovskij S.V. Primenenie sovremenny'x metodov rekonstrukcii prichal'ny'x sooruzhenij tipa bol'verk bez vy`voda iz e'kspluatatsii [Application of modern methods of reconstruction of berthing structures of the bol'verk type without decommissioning]. *Gidrotexnika*. 2020, no.3, pp. 48-51.

10. Nikolaevskij M.Yu., Gorgucza R.Yu., Sokolov A.V. Rekonstrukciya prichalov tipa «bol'verk» putem izmeneniya xaraktera raboty` sooruzheniya s raspornogo na gravitacionnoe. *Gidrotexnika*. 2014, no.1, pp. 48-53.

11. Arora S., Kinley J. Jet Grouting for the Re-support of Pier 11A in San Diego, CA. *Coastal Engineering Practice / ASCE*. [S.l.] 2011.

12. Alexandre Pinto, Rui Tomásio, Gonçalo Marques. Ground Improvement with Jet Grouting Solutions at the New Cruise Terminal in Lisbon, Portugal//*Procedia Engineering. Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics*. 2016,Vol.3, P.1495-1502.

13. Dennis W.B. The Utilization of Jet Grouting and Soil Mixing Methods to repair and Support Bulkhead Structures. *Port Development in the Changing World Proceedings of the Ports 2004 Conference American Society of Civil Engineers*. Houston, 2004.

14. Dennis W.B., Thomas A.P. Super Jet Grouting Repairs and Extends the Life of Ailing Coastal Front Structure. *Grouting and Ground Treatment Proceedings of the Third International Conference American Society of Civil Engineers*. New Orleans, 2003.

Получено 25.01.2021

N. Ovchinnikov

REVIEW OF METHODS FOR RECONSTRUCTION OF BULWARK TYPE BERTHS

The development of foreign trade and the export orientation of the strategic sectors of the Russian economy lead to an increasing intensification of the process of modernization and development of the maritime transport infrastructure. At the same time, a rational direction for the development of port infrastructure is not only the construction of new ports and cargo terminals, but also the reconstruction and technical re-equipment of the existing ones.

Bulwark is one of the most common types of berthing facilities. A feature of this type of berth is the use of a thin vertical wall and several anchor rods and anchor supports. Wide distribution of bulwarks is due to their cost-effectiveness and low labor intensity. The peak of construction of structures of this type was observed in the 60-70s of the last century. Many of these structures are nearing the end of their standard service life. Today, only 30% of waterside structures meet safety standards, and most structures require the restoration of their load-bearing capacity. The upward trend in turnover has led to a significant increase in the carrying capacity of the merchant fleet, the introduction of new types of cargo ships PANAMAX and POSTPANAMAX, which impose more stringent requirements on the service infrastructure. A large number of bulwarks built in the second half of the 20th century are not able to serve these types of vessels due to insufficient depths in the adjacent water area.

This article analyzes domestic and foreign materials related to the issues of reconstruction of berthing facilities. The main schemes for the reconstruction of berths are described: the construction of edges, vertical shielding elements, unloading platforms, additional anchor rods and soil consolidation.

Keywords: berth, reconstruction, bulwark, pile, anchor, jet grouting.

Овчинников Никита Михайлович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительные конструкции и вычислительная механика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: onm@geospt.ru).

Nikita Ovchinnikov (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: onm@geospt.ru).