

Реконструкция причалов типа «больверк» путем изменения характера работы сооружения с распорного на гравитационное



Николаевский М. Ю.
к. т. н., генеральный директор
ООО «Морстройтехнология»



Горгуца Р. Ю.
к. т. н., главный инженер
ООО «Морстройтехнология»



Соколов А. В.
аспирант кафедры
гидротехнических
сооружений, конструкций
и гидравлики ГУМРФ
им. адмирала С. О. Макарова,
руководитель группы отдела
гидротехнических сооружений
ООО «Морстройтехнология»

Аннотация: В статье рассмотрен способ реконструкции причального сооружения типа больверк путем закрепления грунта засыпки пазухи причала. Обоснована актуальность применения технологий закрепления грунта при реконструкции тонких подпорных стенок. Приведены ссылки на зарубежный и отечественный опыт применения технологий закрепления грунта. Рассмотрены наиболее актуальные на сегодняшний день технологии, а также показано, как улучшение характеристик грунта влияет на изменение расчетной схемы причального сооружения.

Ключевые слова: больверк, напорная цементация, инъекторная цементация, струйная цементация, перемешивание грунта, бурсмесительная, способ реконструкции, современные технологии закрепления грунта, увеличение глубины у причала, повышение нагрузок, гидротехническое строительство, опыт применения технологий закрепления.

Annotation: This article discusses a method of reconstruction a quay wall (sheetpile bulkhead) by grouting fill of sheetpile bulkhead. In the article, view relevance of grouting technology usage for reconstruction sheetpile bulkhead. The article looks at international and Russian experience in using the ground stabilization technology. It examines technologies are the most relevant nowadays and shows how the improvement of ground characteristic influence on the berth safety.

Keywords: sheetpile bulkhead, jet grouting, pressure, deep soil mixing, method, reconstruction, reinforcement, water engineering, marine construction, load increase, reliability improvement, to increase alongside depth, modern grouting technology.

АКТУАЛЬНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТИПА «БОЛЬВЕРК»

В соответствии с обязательными к применению СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» [1] расчетные сроки службы основных гидротехнических сооружений в зависимости от их класса должны приниматься равными:

- для сооружений I и II классов — 100 лет;
- для сооружений III и IV классов — 50 лет (в актуализированной редакции СП 58.13330.2012 [2] сохранились те же требования).

Также рекомендуется назначать срок:

- физического износа:
 - металла — 40 лет;
 - железобетона — 50 лет;
- морального износа — 25—35 лет [3].

Причалы типа «больверк» широко распространены на территории России [4]. Пик массового строительства причалов имел место в 1960–1970-х годах. Большинство из имеющихся причальных сооружений типа «больверк» относятся к III классу. Класс сооружения назначается в зависимости от высоты вертикальной лицевой стенки (III класс соответствует высоте стенки до 20 м) [1]. Таким образом, сегодня подходит к концу нормативный срок службы причальных сооружений III класса. Постоянно растущий товарооборот влияет на габариты морского флота, которые, в свою очередь, оказывают влияние на характеристики причальных сооружений, в частности на увеличение глубин у существующих причалов. Таким образом, вопрос реконструкции причальных сооружений типа «больверк» является актуальным по причине растущего числа причалов, не отвечающих современным требованиям, а также имеющих превышенный расчетный срок службы, физический и моральный износ.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ГРУНТА ЗАСЫПКИ

Выбор способа реконструкции зависит от конструктивной схемы сооружения и от внешних условий, к ним относятся:

- инженерно-геологические условия;
- возможность или необходимость переноса линии кордона причального сооружения в сторону акватории;
- возможность вывода сооружения из эксплуатации;
- необходимость увеличения глубины у причала;
- необходимость повышения категории эксплуатационных нагрузок и установки нового более тяжелого технологического оборудования;
- изменение сейсмичности района, связанное с обновлением нормативной базы [5–7].

Инструкцией по усилению и реконструкции причальных сооружений [8, 4] предусматривается ряд типовых способов реконструкции причалов. К типовым способам реконструкции причального сооружения типа «больверк» (рис. 1) принадлежат:

- выполнение оторочки перед существующим причальным сооружением;
- возведение дополнительных экранирующих элементов;
- возведение дополнительных разгружающих элементов;
- закрепление грунта.

В результате анализа гидротехнических сооружений, реконструированных за последнее время, установлено, что до сегодняшнего дня способы реконструкции причальных сооружений путем закрепления грунта не нашли широкого распространения в практике отечественного строительства. Данное обстоятельство отчасти обусловлено недостаточностью развития нормативной базы в области закрепления грунтов, а также отсутствием воз-

можности прогнозирования результатов и степени их влияния на конечный результат (фактические свойства определяются после пробного закрепления грунта). Тем не менее данный способ имеет ряд неоспоримых преимуществ, а в некоторых частных случаях закрепление грунта — единственный рациональный способ реконструкции сооружения. Например, на практике достаточно часто встречаются условия:

- невозможность перемещения линии кордона причального сооружения в сторону акватории (стесненность операционной акватории);
- отсутствие возможности погружения экранирующих элементов;
- необходимость значительного понижения отметки дна непосредственно перед сооружением.

Конструктивные решения (рис. 1, а–в) не удовлетворяют первому условию вышеуказанного перечня, так как приводят к смещению линии кордона в сторону акватории. Решения на рис. 1, г–з не удовлетворяют второму и третьему условиям, так как либо требуют погружения несущих элементов в тело причала, либо не допускают понижения отметки дна.

Наиболее перспективным, в условиях данной задачи является закрепление грунта (рис. 1, и):

- работы ведутся в условиях действующего предприятия;
- не происходит стеснения операционной акватории;
- отсутствуют работы, связанные с перекладкой краевых и железнодорожных путей, инженерных сетей и прочего причального оборудования;
- совмещается процесс выполнения инженерных изысканий, требуемых при реконструкции причальных сооружений [9], с производством строительных работ (пробы грунта выполняются при производстве работ по закреплению);
- не требуется погружение несущих конструктивных элементов в тело причала;
- происходит значительное или полное изменение напряженно-деформированного состояния (разгрузка основных несущих элементов, например лицевой стенки и анкерных элементов).

Рациональность применения технологии закрепления грунтов в гидротехническом строительстве, при реконструкции существующих причальных сооружений отмечается во многих работах (см., например: [10, 11]). Имеется успешный зарубежный опыт применения технологии закрепления грунта в гидротехническом строительстве (табл. 1).

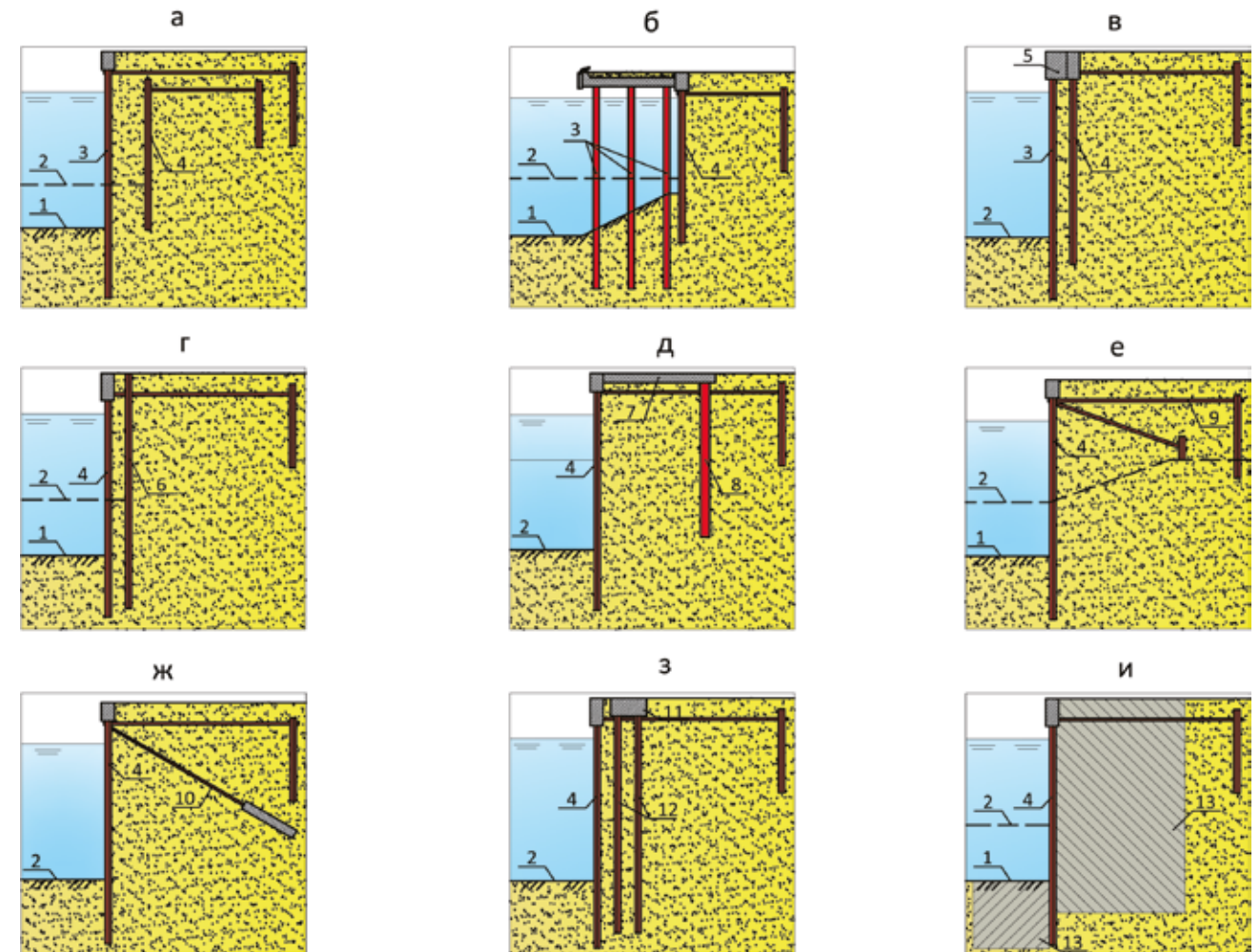


Рис. 1. Схемы реконструкции и усиления больверка путем устройства:
а — оторочки в виде заанкеренного больверка; б — оторочки в виде эстакады; в — оторочки в виде свайного ряда;
г — вертикальных экранирующих элементов; д — разгружающей платформы; е — дополнительных анкеров; ж — грунтовых анкеров;
з — свайного основания подкрановой балки; 1 — существующее дно; 2 — оторочка; 3 — оторочка; 4 — больверк; 5 — узел омоноличивания; 6 — экранирующий элемент;
7 — разгружающая платформа; 8 — тыловая опора; 9 — дополнительный анкер; 10 — грунтовый анкер; 11 — подкрановая балка;
12 — свайное основание; 13 — закрепленный грунт

Таблица 1
Зарубежный опыт применения технологии закрепления грунта в гидротехническом строительстве

Страна	Штат / Город	Объект	Технология	Год	Источник
США	Штат Нью-Йорк	Ремонтные работы набережной Бэттери-Парк-сити	JetGrouting	2004	[12]
США	Штат Вирджиния / Норфолк	Конструкции военно-морской верфи	JetGrouting	1999	[12]
США	Штат Калифорния / Сан-Диего	Берегозащитные сооружения военно-морского аэродрома	JetGrouting	1999	[12]
США	Штат Техас / Корпус-Кристи	Берегозащитные сооружения военно-морского аэродрома (3 км)	JetGrouting (цементно-грунтовые колонны диаметром 4 м)	2001	[13, 14]
Франция	Вердон	Порт Вердон, контейнерные причалы № 1, 2, длина — 415 м	Pressure grouting (крепление грунта на глубину 0,9–1,5 м)	1977	[15]
Япония	Иокогама	Порт Дайкоку, ограждающая массивная стенка	Deep Soil Mixing (буромесительная технология)	1976	[15]
Франция	Ницца	Пересечение дорог в разных уровнях Saint-Lambert на автодороге Urbaine Sud	Pressure grouting	—	[15]
Франция	Ницца	Станция очистки сточных вод	Pressure grouting	—	[15]

В отечественном строительстве также применяют данные технологии. Например, в промышленно-гражданском строительстве накоплен большой практический опыт закрепления грунтов (табл. 2). Для области отечественного гидротехнического строительства авторы настоящей статьи прорабатывали воз-

можность применения технологии закрепления грунта, при проектировании реконструкции причалов:

- в порту Темрюк (проведены работы по опытному закреплению участка и его испытания);
- в порту Высоцк;
- в Большом порту «Санкт-Петербург».

Таблица 2
Отечественный опыт применения технологии закрепления грунта в гражданском строительстве

Город	Объект	Примечание	Технология	Год	Источник
Санкт-Петербург	Развязка у метро Автovo	Работы по ограждению котлована для строительства подземного пешеходного перехода	Jet Grouting	—	[16]
Кронштадт	Закрепление грунтов защитных сооружений на дамбе	—	Jet Grouting	2007	[16]
Санкт-Петербург	возведению котлована 2 сцены Мариинского театра	—	Jet Grouting	2007–2009	[16]
Казань	Строительство котлована станции метро «Площадь Тукая»	—	Jet Grouting	2000	[17]
Воркута	Реконструкция шахты «Заполярная»	—	Jet Grouting	—	[17]
Москва	Многоуровневая автостоянка на ул. Мытной	Устройство ограждения котлована	Jet Grouting	2003	[17]
Москва	Строительство подземного паркинга под жилым семиэтажным домом по Спасоаливковскому переулку	Устройство ограждения котлована	Jet Grouting	2005	[17]
Каменск-Уральский	Цех Каменск-Уральского металлургического завода	Две технологические шахты	Jet Grouting	2006	[17]
Москва	Строительство многофункционального комплекса «Арбат-Центр»	Устройство вертикальной противофильтрационной завесы	Jet Grouting	2002	[17]
Уфа	Четырехполосный двухсекционный тоннель	Протяженность 1249 м в створе мостового перехода через р. Уфа	Jet Grouting	Н.в.	[17]
Омск	Путепровод по ул. Торговой в районе станции Карбышево	Реконструкция и строительство	Jet Grouting	Н.в.	[17]
Москва	Минарет соборной мечети (Выползов пер., д. 7)	Закрепление грунтов в основании минарета	Jet Grouting	—	[17]

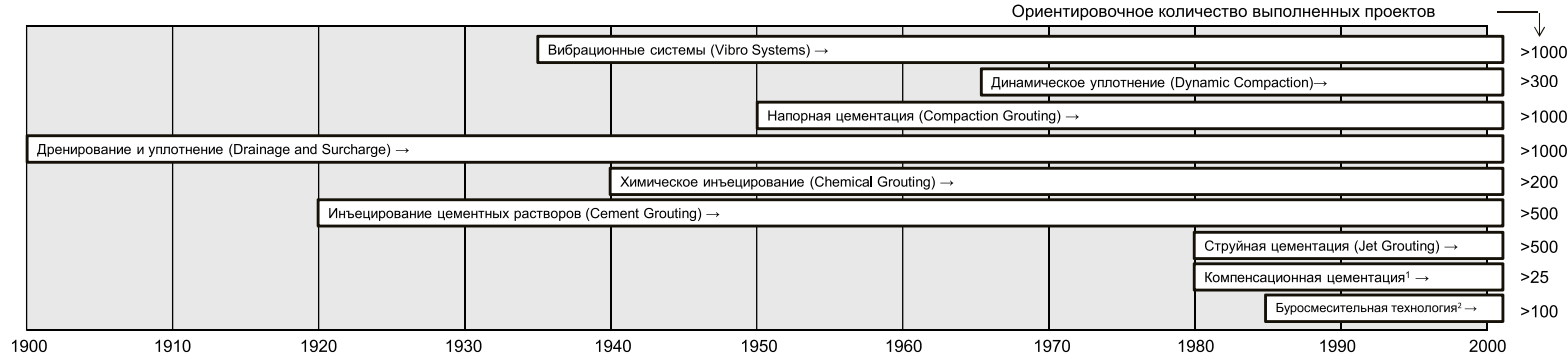


Рис. 2. Данные статистики применения различных технологий закрепления грунта

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА

Интересны данные статистики применения различных технологий закрепления грунта [18] (рис. 2). Рассмотрим подробнее наиболее актуальные современные технологии закрепления грунта:

- напорную цементацию грунта (Pressure grouting);
- струйную цементацию грунтов (Jet Grouting или High Pressure grouting);
- перемешивание грунта, или буромесительную технологию (Deep Soil Mixing, DSM).

Напорная инъекторная цементации (Pressure grouting) основана на инъекционном уплотнении массива грунта (создаваемое давление — ~10 МПа), в результате чего происходит повышение плотности грунтов, улучшение механических свойств слабых грунтов как за счет уплотнения, так и за счет образования жестких включений из застывшего уплотняющего раствора, что превращает массив грунта в природно-техногенный композит с высокими прочностными и деформационными свойствами. Одновременно обеспечивается армирование грунтового массива стальными неизвлекаемыми инъекторами, заполненными цементным раствором (рис. 3).

Струйная цементация грунтов (Jet Grouting, или High Pressure grouting) предполагает бурение скважины, в которую под высоким напором (40–100 МПа) через сопла (насадки малого диаметра) подается цементирующий раствор [19], способствующий перемешиванию грунта и цементного раствора для получения грунтоцементной колонны (рис. 4).

Технология перемешивания грунта (буромесительная технология) (Deep Soil Mixing) впервые разработана в Японии в начале 1950-х годов, в СССР — в начале 1960-х годов [11]. Наиболее часто используется метод влажного смешивания грунта (wet mixing methods), как наиболее универсальный и подходящий для всех типов грунта. Буромесительная технология заключается в выполнении грунтоцементных колонн с помощью специального буромесительного агрегата, состоящего из полой штанги и специального рабочего органа. В процессе бурения происходят размельчение и перемешивание грунта с водоцементным раствором или другими химическими реагентами (известью, золой, шлаком, бентонитом и др.), подаваемыми по полой штанге. Основной целью данного процесса является равномерное рассеивание связующих элементов в грунте, чтобы быстро и продуктивно получить химическую реакцию гидратации (рис. 5).

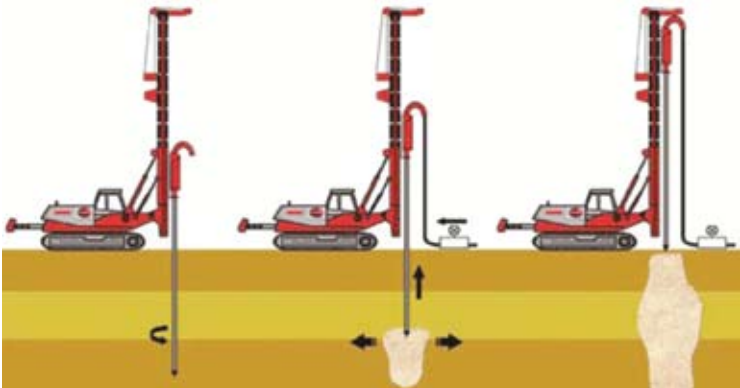


Рис. 3. Схема технологического процесса напорной инъекторной цементации (Pressure grouting)

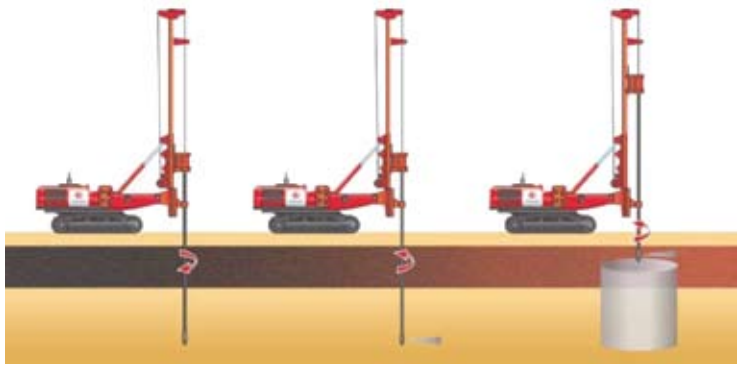


Рис. 4. Схема технологического процесса струйной цементации грунтов (Jet Grouting)

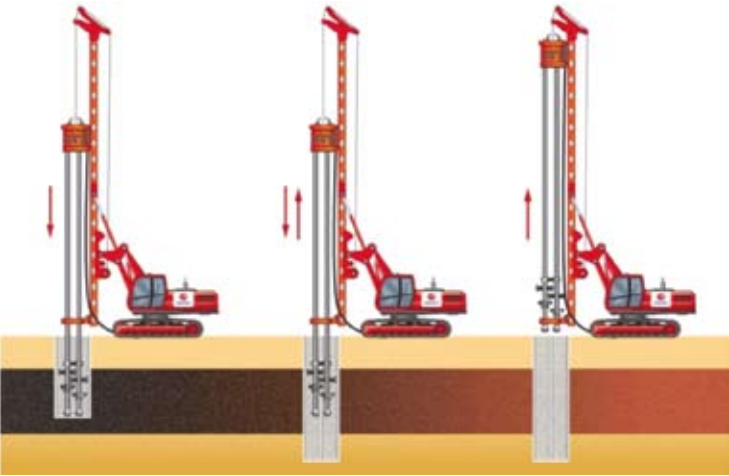
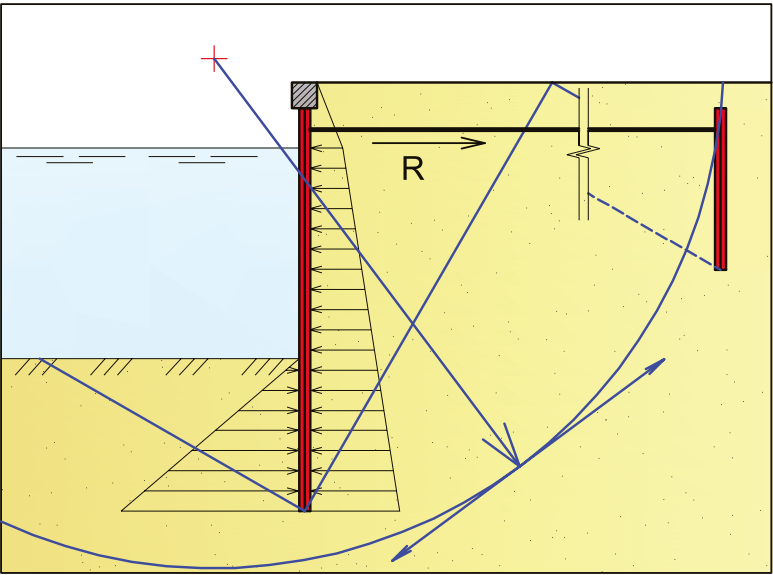
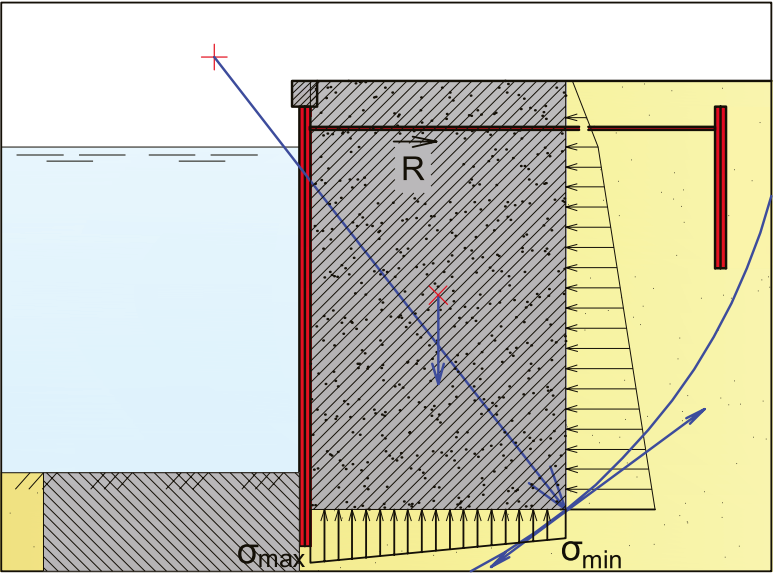


Рис. 5. Схема технологического процесса буромесительной технологии (Deep Soil Mixing)

СУЩНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ ТИПА «БОЛЬВЕРК» СПОСОБОМ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА И ОСОБЕННОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ



а — до реконструкции



б — после реконструкции

Рис. 6. Расчетные схемы причального сооружения

Суть метода заключается в повышении физико-механических свойств грунта. Оно достигается применением вяжущих материалов, которые устанавливают более прочные связи между частицами грунта. При использовании данного метода для реконструкции сооружения типа «больверк» происходит изменение характера работы сооружения в случае достижения значительного повышения физико-механических свойств грунта.

В соответствии с формулами 5.7–5.24 [20] при горизонтальной поверхности грунта и вертикальной расчетной плоскости интенсивность горизонтальной составляющей активного давления грунта определяется по формуле

$$P_a = P_{a,гр} + P_{aq}$$
 где $P_{a,гр}$ — интенсивность горизонтальной составляющей активного давления от веса грунта:

$$P_{a,гр} = q_z \lambda_a - c \lambda_{ac}$$
 где q_z — интенсивность вертикального давления грунта; $q_z = f(\gamma)$, γ — удельный вес грунта; λ_a — коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта; $\lambda_a = f(\phi, \delta)$, где ϕ — угол внутреннего трения грунта; δ — угол трения грунта по расчетной плоскости; c — удельное сцепление грунта; λ_{ac} — коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта от сил сцепления; $\lambda_{ac} = f(\phi, \delta)$.

При этом $\lambda_{ac} = (3 \div 5) \lambda_a$. Из данного соотношения и выражения интенсивности горизонтальной составляющей активного давления следует, что сцепление оказывает влияние на давление грунта на расчетную плоскость в более значительной степени, чем угол внутреннего трения.

P_{aq} — интенсивность горизонтальной составляющей активного давления от равномерно распределенных нагрузок интенсивностью q , расположенных на территории причала; $P_{aq} = f(q, \lambda_q)$. Результирующее активное давление грунта на расчетную плоскость определяется как ΣP_a различных слоев грунта.

Из вышеприведенных выражений следует, что при повышении таких параметров, как угол внутреннего трения и сцепление грунта засыпки, происходит уменьшение интенсивности горизонтальной составляющей активного давления (табл. 3).

В этом случае изменяется расчетная схема сооружения. Расчет общей устойчивости реконструированного сооружения выполняется как для гравитационного сооружения. Вопрос прочности элементов анкерной опоры и лицевой стенки становится вторичным, так как повышенные характеристики грунта гарантируют минимальную передачу усилий или их полное отсутствие на данные несущие элементы. На рис. 6 приведены расчетные схемы причального сооружения при закреплении грунта засыпки пазухи причала.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Предлагаемый альтернативный (относительно общепринятых способов реконструкции) способ реконструкции причальных сооружений типа «больверк» является современным, актуальным, а в ряде случаев единственно возможным, отвечающим современным требованиям развития системы водного транспорта. Основным преимуществом данного метода является значительное или полное изменение напряженно-деформированного состояния (разгрузка таких основных несущих элементов, как лицевая стенка и анкерные элементы).

Данный способ реконструкции причальных сооружений может быть рекомендован к применению в случае:

- невозможности перемещения линии кордона причального сооружения в сторону акватории;
- отсутствия возможности погружения экранирующих элементов;
- необходимости значительного понижения отметки дна непосредственно перед сооружением.

Таблица 3
Влияние закрепления грунта на характер работы конструкции

Расчетные параметры	Значения расчетных параметров		
	до закрепления	при незначительном повышении характеристик	после закрепления
Интенсивность равномерно распределенной нагрузки q , т/м ²	2	2	2
Удельный вес грунта q , т/м ³	1,8	2,2	2,2
Угол внутреннего трения грунта γ , град.	30	40	40
Удельное сцепление грунта C , кгс/см ² (кПа)	0,00 (0)	0,1 (10)	0,2 (20)
Свободная высота стенки h , м	13	13	13
Результирующее активное давление грунта ΣP_a , т/м.п	120	48	24,5

ЛИТЕРАТУРА:

1. СНиП 33-01–2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения: / Госстрой России. Введ. 30.06.2003. М., 2004.

2. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения: (Актуализированная редакция СНиП 33 01-2003) / Минрегион России. Введ. 01.01.2013. М., 2012.

3. РД 31.31.35–85. Основные положения расчета причальных сооружений на надежность / СоюзморНИИпроект. Введ. 15.11.1985. М., 1986.

4. Костюков В. Д. Надежность морских причалов и их реконструкция. М.: Транспорт, 1987.

5. СНиП II-A. 12-62. Строительство в сейсмических районах / Госстрой СССР. Введ. 01.03.1963. М.: Госстройиздат, 1963.

6. СНиП II-7–81. Строительство в сейсмических районах: / Госстрой СССР. Введ. 15.06.1981. М.: «ГУП ЦПП», 2000.

7. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах / Минрегион России. Введ. 20.05.2011. М.: ОАО «ЦПП», 2011.

8. РД 31.31.38-86. Инструкция по усилению и реконструкции причальных сооружений / СоюзморНИИпроект. Введ. 01.07.1986. М., 1987.

9. Гарибин П. А., Кукуй А. Л., Шабанов В. И. Геоэкологические проблемы при строительстве и эксплуатации причальных гидротехнических сооружений // Гидротехника XXI век. 2010. №3. С. 44–47. URL: <http://hydro21.ru>.

10. Будин А. Я., Чекрыгина М. В. Усиление портовых сооружений. М.: Транспорт, 1983.

11. Романов П. Л. Проектирование и эксплуатация некоторых типов тонкостенных причальных сооружений с учетом технологии строительства и усиления: Дис ... канд. техн. наук. СПб., 2002.

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

13. 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.

14. 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.

15. Р 31.3.02–98. Рекомендации по проектированию морских портовых гидротехнических сооружений в сейсмических районах при наличии в основании слабых грунтов/ АООТ «ДНИИМФ». Введ. 10.04.98. (Владивосток 1998)

16. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга. М.: АСВ, 2010.

17. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов. Пермь: Пресстайм, 2007.

18. Burke G. K., Sehn A. L. The influence of ground improvement on geotechnical design, ASCE/PENNDOT 20th Central PA // Geotechnical Conference. 2003. Р. 29–31.

19. Мангушев Р. А., Усманов Р. А., Ланько С. В. и др. Методы подготовки и устройства искусственных оснований. М.: АСВ, 2012.

20. РД 31.31.55–93. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений / Федеральная служба морского флота России. Введ. 01.06.1993. М., 1996.