# Современные методы повышения сейсмостойкости причальных сооружений типа «больверк»



главный инженер ООО «Морстройтехнология»



заведующий группой проектирования 000 «Морстройтехнология»

Аннотация: В статье представлен анализ актуальных нормативных документов и регламентов в области строительства причальных сооружений типа «больверк» в сейсмически опасных районах.

Ключевые слова: существующие причальные сооружения, шпунтовая стенка, сейсмоусиление, реконструкция, эффективные методы, грунтовый анкер, струйная иементация.

Abstract: The article presents an analysis of current reference documents and regulations in the field of construction of berthing facilities type «sheet pile wall» in seismically hazardous areas.

**Keywords:** existing berthing facilities, sheet pile wall, seismic retrofit, reconstruction, effective methods, ground anchor, Jet-grouting.

Все сооружения, возводимые в Российской Федерации, проектируются и строятся с учетом требований и рекомендаций соответствующих нормативных документов (СНиП, РД, СП и т.п.). Морские причальные гидротехнические сооружения (далее — причальные ГТС) — не исключение. Для причальных ГТС, расположенных в сейсмически опасных районах, как и для других сооружений повышенной ответственности, существуют отдельные нормы и требования для проектирования с учетом сейсмичности площадки строительства.

В 70-е годы в СССР уже были редакции нормативных документов для проектирования и строительства причальных ГТС в сейсмически опасных районах: СНиП II-A.12-62, СНиП II-A.12-69\*, затем новая редакция СНиП

II-7-81\* и уже более известный в настоящее время российский свод правил — СП 14.13330.2014.

Сравнивать требования всех этих документов в данной статье мы не будем, однако хочется обратить внимание на карты общего сейсмического районирования (ОСР), которые прилагались к каждой редакции СНиПа и менялись в процессе каждого переиздания.

Благодаря представленной таблице наглядно видна последовательность повышения сейсмичности отдельных районов при введении в действие более современного нормативного документа. Но причальные сооружения уже построены, никто их не реконструировал и не усиливал при выходе той или иной редакции сейсмического СНиПа. Для дальнейшей безопасной эксплуатации все эти сооружения требуют дополнительного сейсмоусиления.

## Сравнение карт общего сейсмического районирования для различных водных бассейнов при переиздании сейсмических норм

| Бассейн            | Порт                         | Нормативные документы |          |            |    |    |               |    |    |
|--------------------|------------------------------|-----------------------|----------|------------|----|----|---------------|----|----|
|                    |                              | СНиП                  | СНиП     | СНиП II-7- |    |    | СП            |    |    |
|                    |                              | II-A.12-              | II-A.12- | 81*        |    |    | 14.13330.2014 |    |    |
|                    |                              | 62                    | 69*      | Α          | В  | С  | Α             | В  | С  |
| Черное<br>море     | Туапсе                       | 7                     | 7        | 8          | 9  | 9  | 8             | 9  | 9  |
|                    | Новороссийск                 | 6                     | 6        | 8          | 9  | 9  | 8             | 9  | 9  |
|                    | Сочи                         | 7                     | 7        | 8          | 9  | 9  | 8             | 9  | 9  |
| Баренцево<br>море  | Мурманск                     | -                     | -        | 5          | 6  | 7  | -             | 6  | 7  |
| Японское<br>море   | Владивосток                  | 6                     | 6        | 6          | 6  | 7  | 6             | 6  | 7  |
|                    | Ванино                       | -                     | 6        | 7          | 8  | 9  | 7             | 8  | 9  |
|                    | Находка                      | 7                     | 7        | 6          | 7  | 8  | 6             | 7  | 8  |
| Охотское<br>море   | Южно-Сахалинск               | 7                     | 7        | 8          | 8  | 9  | 8             | 8  | 9  |
|                    | Петропавловск-<br>Камчатский | 8                     | 9        | 9          | 10 | 10 | 9             | 10 | 10 |
| Каспийское<br>море | Махачкала                    | 7                     | 7        | 8          | 9  | 10 | 8             | 9  | 10 |

### ПРИЧАЛЬНЫЕ ГТС ТИПА «БОЛЬВЕРК»

«Больверк», или тонкая подпорная стенка, — самый распространенный тип конструкции причальных ГТС. Подобные сооружения хорошо себя зарекомендовали в гидротехническом строительстве и широко применяются на всей территории нашей

В качестве примера рассмотрим конструкцию причалов №№1-3, расположенных на мысе Сигнальный в морском порту Петропавловск-Камчатский.

Причалы построены в 1955-1957 годах. Год последней реконструкции — 1983. Конструкция типа «больверк» выполнена из шпунта Ларсен 5, заанкеренный за анкерную плиту тягами диаметром 75 мм. Конструктивный разрез рассматриваемого сооружения приведен на рис. 2.

При расчете подобных конструкций на основное сочетание воспользуемся рекомендациями РД 31.31.55-93 [1]. Определим активное и пассивное давление на лицевую стенку, вычислим усилия в элементах конструкции.

Выполняя же расчет на особое сочетание усилий (сейсмика), обратимся к методу пересчета бокового давления на лицевую стенку согласно РД 31.3.06-2000 [2]. Суть метода заключается в пересчете коэффициентов активного и пассивного давления грунта на лицевую стенку с учетом сейсмического воздействия и определении новых внутренних усилий в элементах конструкции.

Наглядно видно, что при особом сочетании нагрузок (сейсмика) активное давление грунта увеличилось, а пассивное — уменьшилось. Отсюда следует вывод, что возрастают и внутренние усилия в элементах конструкции.

Получается, что если сооружение безаварийно эксплуатируется в обычном режиме, то при сейсмическом воздействии (по новым, современным нормам) оно без повреждений не сможет воспринять расчетные нагрузки.

В разные периоды времени проводились обследования и выполнялся анализ конструкций типа «больверк», подвергшихся серьезным сейсмическим воздействиям. В результате подобных работ был выявлен ряд конструктивных особенностей, недочетов и ошибок в конструкции подобных причальных ГТС, которые повлекли серьезные разрушения. Рассмотрим конкретные примеры.

Тохоку (Япония), 2011 год. Великое восточнояпонское землетрясение. У побережья префектуры Мияги северо-восточнее Токио произошло одно из самых сильных землетрясений за последние годы. Магнитуда подземных толчков составляла 9,0 баллов. Весь мир облетели кадры последствий этого поистине опустошительного землетрясения и цунами, последовавшего за ним. Тяжелейший урон от воздействия стихии понесли и причальные ГТС. Многие конструкции были частично повреждены, а некоторые полностью разрушены. Наиболее характерными повреждениями тонких подпорных стенок являлись обрывы анкерных тяг и последовавшие вслед за этим сверхнормативные перемещения лицевых стенок, провалы в покрытии и дальнейшее полное разрушение.

Еще одно землетрясение произошло в районе морской базы Пуэрто-Монт (Чили) в 1960 году. Его еще называют Великим чилийским землетрясением. В результате подземных толчков магнитудой 9,3-9,5 балла анкерные крепления больверков оказались



Рис. 1. Мыс Сигнальный и причалы №№1-3 в морском порту Петропавловск-Камчатский

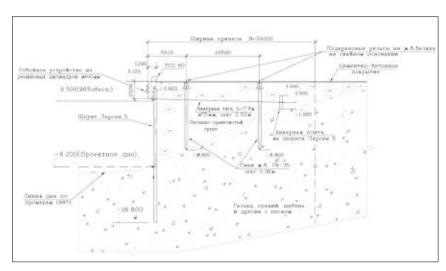


Рис. 2. Конструктивный разрез причалов №№1-3

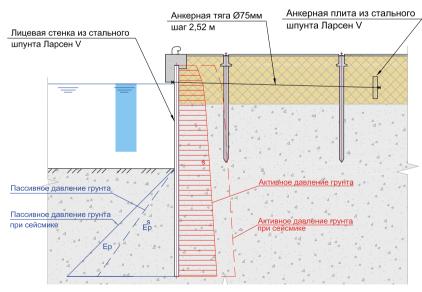


Рис. 3. Построение эпюр активного и пассивного давления грунта при основном и особом сочетании



Рис. 4. Последствия подземных толчков и цунами в Тохоку, Япония. 2011 год

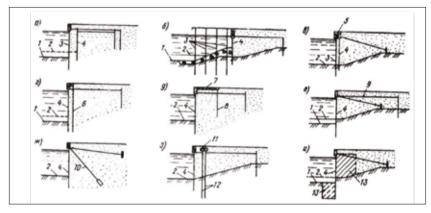


Рис. 5. Варианты усиления конструкции типа «больверк»

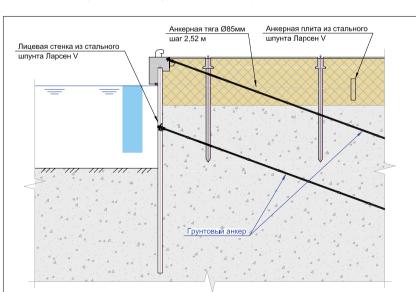


Рис. 6. Установка грунтовых анкеров для сейсмоусиления рассматриваемых причалов №№1–3 в морском порту Петропавловск-Камчатский

разрушены в местах нарезной части тяги (там, где соединения с муфтами). Отдельные разрывы произошли в местах крепления анкеров к шпунтовым

Представленная ранее конструкция причалов №№1-3 тоже перенесла серьезное землетрясение. 4 мая 1959 года произошла серия подземных толчков магнитудой примерно 8 баллов. В результате толчков в морском порту Петропавловск-Камчатский наиболее сильные повреждения получили конструкции, находящиеся в процессе возведения, или при недостаточной прочности анкерных тяг.

На основании этих наблюдений можно сделать выводы:

- если не повышать сейсмостойкость существующих причальных ГТС, расположенных в сейсмически опасных районах, то с ними может произойти абсолютно то же самое, что в Японии и Чили;
- обрывы анкерных тяг свидетельствуют о возросшей горизонтальной нагрузке, возникающей при сейсмическом воздействии (рис. 3);
- для повышения сейсмостойкости причальных сооружений типа «больверк» необходимо либо снижать боковое давление грунта обратной засыпки, либо воспринимать дополнительную горизонтальную нагрузку анкерными тягами.

В настоящее время нет ни одного нормативного документа, регламентирующего непосредственно сейсмоусиление существующих сооружений, в котором были бы представлены наиболее актуальные и современные методы повышения сейсмостойкости. Приходится следовать требованиям и рекомендациям нормативных документов на реконструкцию причальных сооружений, а именно РД 31.31.38-86 [3], для возможности повышения сейсмостойкости причальных ГТС.

Рассмотрим варианты усиления (реконструкции), представленные в РД 31.31.38-86 [3], и попробуем применить эти решения для сейсмоусиления рассматриваемого причала. Вот некоторые из них:

- а) оторочка в виде заанкеренного больверка;
- б) оторочка в виде эстакады;
- в) оторочка в виде свайного ряда;
- г) дополнительные экранирующие элементы;
- д) разгрузочная платформа;
- е) дополнительная анкеровка;
- ж) грунтовый анкер;
- з) устройство свайного основания подкрановой
- и) закрепление грунта.

Большинство этих методов являются чрезвычайно трудоемкими и требуют значительных затрат материальных ресурсов.

Компания 000 «Морстройтехнология», проанализировав возможные варианты, применила способ сейсмоусиления существующей конструкции посредством установки грунтовых анкеров. По сравнению с остальными способами, приведенными на рис. 5, грунтовые анкера наиболее эффективно способны воспринять горизонтальную составляющую сейсмической нагрузки. Именно этот способ позволяет существенно повысить несущую способность конструкции причала без значительных трудозатрат и капиталовложений. Также данный способ повышения сейсмостойкости возможно выполнить без вывода причала из эксплуатации, что в современных условиях нехватки портовых мощностей является очень существенным фактором.

Аналогичное решение было принято при сейсмоусилении и реконструкции причала №28 в морском порту Новороссийск.

Рассмотрим еще один вариант сейсмоусиления причала типа «больверк».

Причалы №№34, 35 в морском порту Восточный, выполненные в виде тонкой подпорной стенки. Год постройки — 1986. Паспортная сейсмостойкость — 7 баллов.

В настоящее время сейсмичность района повышена до 8 баллов. Сооружение необходимо сейсмоусилять.

Проанализировав возможные варианты и учтя пожелание заказчика о реконструкции существующих подкрановых и железнодорожных путей, компания 000 «Морстройтехнология» приняла решение произвести сейсмоусиление рассматриваемых причалов посредством закрепления грунтов методом струйной цементации (Jet-технология). Данный метод позволяет существенно повысить характеристики грунта обратной засыпки причала, снизить нагрузку на лицевую стенку и анкерную систему при потенциальном сейсмическом воздействии.

Более подробно технологии по закреплению грунтов в гидротехническом строительстве рассмотрены в статье «Реконструкция причалов типа «больверк» путем изменения характера работы сооружения с распорного на гравитационное»

Поверочные расчеты в программном комплексе PLAXIS 2D доказали, что после закрепления грунтов сейсмостойкость конструкции причала повысилась до требуемых 8 баллов.

Стоит отметить, что обследование причалов после землетрясения в Тохоку показало, что конструкции причалов, на которых было проведено подобное закрепление грунтов, оказались наименее пострадавшими [5].

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ:

- 1. В России в сейсмически опасных районах существует ряд причальных ГТС типа «больверк», сейсмостойкость которых ниже нормативной в силу изменившихся норм и стандартов. Подобная ситуация может привести к катастрофическим последствиям (аналогичным японским и чилийским) в случае возникновения землетрясения.
- 2. На нормативном уровне необходимо закрепить понятие «сейсмоусиление» причальных ГТС, разработать свод правил для повышения сейсмостойкости причальных ГТС, в которых будут представлены

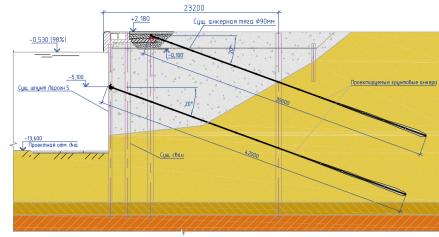


Рис. 7. Установка грунтовых анкеров на причале №28 в морском порту Новороссийск

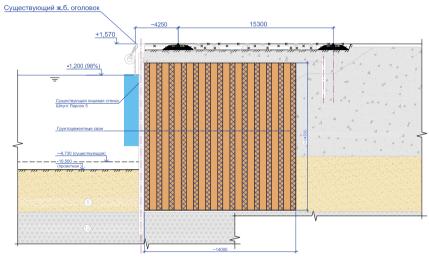


Рис. 8. Устройство грунтоцементных свай на причалах №№34, 35 в порту Восточный

современные и высокотехнологичные методы по усилению конструкций сооружений.

3. На основании проведенных исследований 000 «Морстройтехнология» рекомендует выполнять сейсмоусиление причальных сооружений типа «больверк» посредством введения в расчетную схему дополнительной анкерной системы либо улучшения характеристик грунтов обратной засыпки. Также возможна комбинация этих двух методов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- 1. [1] РД 31.31.55-93 «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооруже-
- 2. [2] РД 31.3.06-2000 «Руководство по учету сейсмических воздействий при проектировании морских ГТС типа больверк».
- 3. [3] РД 31.31.38-86 «Инструкция по усилению и реконструкции причальных сооружений».
- 4. [4] Николаевский М. Ю., Горгуца Р. Ю., Соколов А. В. «Реконструкция причалов типа «больверк» путем изменения характера работы сооружения с распорного на гравитационное».
- 5. [5] American Society of Civil Engineers (ASCE). Tohoku, Japan, earthquake and tsunami of 2011: survey of port and harbor facilities, northern region. 2014.
- 6. *Кульмач П. П.* «Сейсмостойкость портовых гидротехнических сооружений» М.: Транспорт, 1970. 312 с.
- 7. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».