

Применение вычислительного комплекса SCAD для поверочного расчета причала свайной двухрядной конструкции

О. Е. Шаповалов¹, А.О. Шаповалов², О.Е. Руденко³

^{1, 3} 23 Государственный морской проектный институт – филиал АО 31 ГПИСС, 191167, Россия, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, 6.

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 627 Научная статья	Подана в редакцию 2 июля 2015 Принята 22 сентября 2015	причал свайной двухрядной конструкции, вычислительный комплекс SCAD, поверочный расчет, сочетание нагрузок, изгибающий момент, запас прочности

АННОТАЦИЯ

Оценка фактической несущей способности эксплуатируемых гидротехнических сооружений актуальная техническая задача, определяющая продолжительность их жизненного цикла – периода, в течение которого осуществляются эксплуатация, ремонт и реконструкция. В работе представлены выполненные в вычислительном комплексе SCAD результаты поверочного расчета существующего причала свайной двухрядной конструкции. Данные для расчёта принимались на основании нормативных документов, методической и справочной литературы, паспорта сооружения, результатов научно-исследовательских работ, материалов технического обследования. При выполнении поверочного расчёта причала учтены следующие нагрузки: собственный вес конструктивных элементов; эксплуатационная нагрузка; давление грунта (активное и пассивное); волновая нагрузка от штормов различной повторяемости; сейсмическая нагрузка; сейсмическое давление воды; нагрузка от натяжения швартовов. На основании проведенных расчетов был выполнен сравнительный анализа величин напряжений в шпунтовой стенке для корродированного и нового шпунта. Был сделан вывод о том, что несущая способность анкерных тяг обеспечена. Используемый авторами вычислительный комплекс SCAD по сравнению с аналитическими методами расчета позволил достаточно быстро выполнить поверочный расчет.

Содержание

1.	Введение	82
2.	Обзор литературы	83
3.	Постановка задачи	83
4.	Описание исследования	83
5.	Критерии оценки	84
6.	Результаты расчета. Определение усилий в элементах сооружения	85
7.	Анализ величин напряжений в шпунтовой стенке	86
8.	Анализ величин напряжений в анкерной тяге	88
9.	Заключение	89

¹ Контактный автор:
+7 (921) 357 0472, o.e.shapovalov@gmail.com (Шаповалов Олег Евгеньевич, к.т.н., ст. науч. сотр., ведущий инженер)
² +7 (921) 743 7870, tonyspvl@gmail.com (Шаповалов Антон Олегович, студент)
³ +7 (911) 966 2960, olga777rudenko@gmail.com (Руденко Ольга Евгеньевна, инженер 1 категории)

1. Введение

В 2014 году было выполнено техническое обследование причала, по расположению в плане являющегося узким сплошным пирсом, а по конструктивному признаку – причалом свайной двухрядной конструкции с взаимозаанкеренными стенками из металлического шпунта типа «Ларсен» и бетонной надстройкой – рисунок 1. При инструментальном обследовании подводной части сооружения было установлено, что стальная шпунтовая стенка подвержена сплошной коррозии в виде пятен и язв – рисунок 2.

Среднее значение замеренной остаточной толщины металла дна корытообразного шпунта «Ларсен» V составило 10,7 мм. Толщина дна нового шпунта согласно сортаменту составляет 21 мм. Таким образом, остаточная толщина составляет 51%, а коррозионный износ - 49%. В соответствии с [1] в случае поражения шпунтовой стенки коррозией более чем на 25 % необходимо определить несущую способность стенки поверочным расчетом.

Поверочным расчетом согласно [2] является расчет существующей конструкции по действующим нормам проектирования с введением в расчет полученных в результате обследования или по проектной и исполнительной документации геометрических параметров конструкции, фактической прочности строительных материалов, действующих нагрузок, уточненной расчетной схемы с учетом имеющихся дефектов и повреждений.

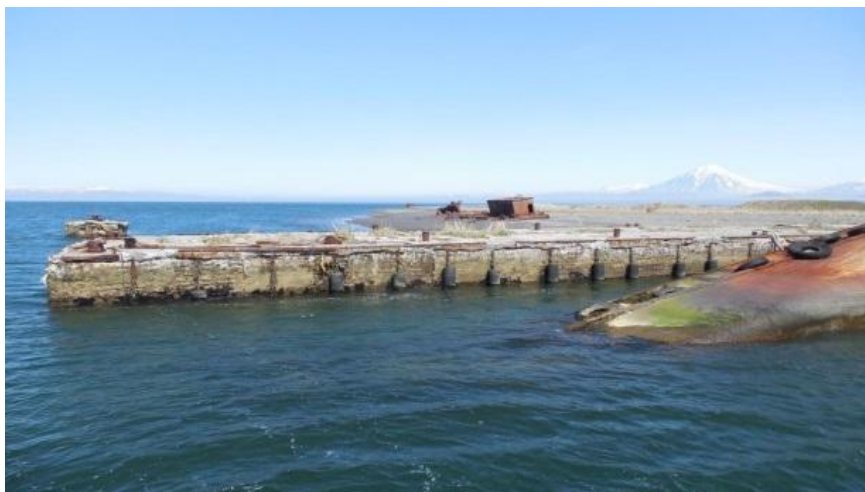


Рисунок 1. Общий вид причала



Рисунок 2. Вид стального шпунта «Ларсен» V, пораженного коррозией

2. Обзор литературы

Методике расчета причальных сооружений из шпунтовых стенок посвящены следующие работы отечественных авторов: «Методика расчета моллов-причалов свайной двухрядной конструкции при действии на них эксплуатационных нагрузок» [3], учебник под редакцией д.т.н. В.Е. Ляхницкого «Портовые гидротехнические сооружения» [4], учебник под редакцией д.т.н. П.П. Кульмача «Морские гидротехнические сооружения» [5], монография В.Н. Ренгача «Шпунтовые стенки. Расчет и проектирование» [6]. В данных источниках, вышедших в 60-70 годы, использованы аналитические подходы к методам расчета. В числе зарубежных публикаций можно выделить работы [21-30], посвященные данной тематике.

Литературы по расчетам в вычислительном комплексе SCAD, основанном на численном методе конечных элементов в настоящее время имеется достаточно большое количество [7-12]. Однако там не рассмотрены вопросы расчета гидротехнических сооружений. В основном, приведены наземные конструкции, имеющие фундамент, каркас, стены, перегородки, перекрытия и покрытия.

3. Постановка задачи

Рассматриваемое сооружение было спроектировано и построено в 1959 году по действующим в то время методикам и нормам проектирования. В методике расчета [3] для определения усилий в элементах применялись подходы, основанные на методе упругой линии, методе изображений и угловых точек. Для отыскания опорных реакций и равнодействующих системы сил использовались аналитические методы веревочного и силового многоугольников. Учет действия сейсмического воздействия обеспечивался путем добавления к внешним горизонтальным силам сейсмических сил инерции, увеличением активного и уменьшением пассивного давления грунта, уменьшением сил сопротивления стенок, добавлением к внешним горизонтальным нагрузкам сейсмического давления воды. Расчет вышеперечисленными методами был трудоемким и занимал достаточно большое количество времени.

В настоящее время для решения подобных задач более широкое применение получили численные методы расчета. Авторы поставили задачу выполнить поверочный расчет причала с помощью современных вычислительных программ. В качестве такой программы использовался вычислительный комплекс SCAD, где использован метод конечных элементов.

Целью работы было выполнение поверочного расчета причала для того, чтобы ответить на вопрос, обеспечивается или нет несущая способность сооружения из-за коррозии шпунтовой стенки. Для достижения поставленной цели в вычислительном комплексе SCAD была разработана модель сооружения, определены все виды нагрузок и их сочетаний, и затем произведены расчеты несущей способности.

Данные для расчёта принимались на основании нормативных документов [1,2,13-20], методической и справочной литературы [3-6], паспорта сооружения, результатов научно-исследовательских работ, материалов технического обследования.

4. Описание исследования

На рисунке 3 представлена геометрическая модель сооружения, разработанная авторами в системе Autocad. На основе геометрической модели была создана модель сооружения в SCAD, которая представлена стержневой системой – рисунок 4. Часть шпунтовой стенки, забитая в грунт задавалась большим числом узлов и элементов для учета величины пассивного давления грунта. Для каждого такого элемента рассчитывался коэффициент постели C_z , линейно возрастающий с глубиной. Анкер моделировался элементом, связанным со шпунтовой стенкой в узлах шарниром. Покрытие причала моделировалось нагрузками, соответствующими его собственному весу.

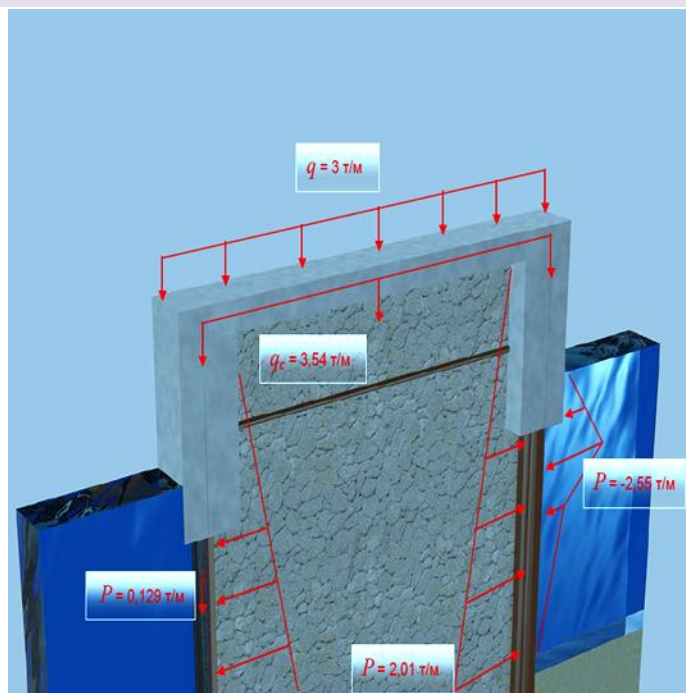


Рисунок 3. Геометрическая модель сооружения в Autocad

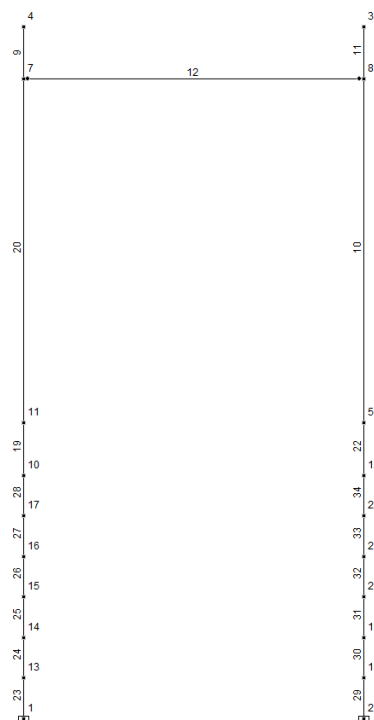


Рисунок 4. Расчетная схема в SCAD

5. Критерии оценки

В соответствии с [7] поверочный расчет сооружения выполнялся по методу предельных состояний. Условие недопущения наступления предельного состояния согласно [8] имеет вид:

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R \quad (1)$$

- где:
- γ_{lc} - коэффициент сочетания нагрузок;
 - F - расчетное значение обобщенного силового воздействия (сила, момент, напряжение);
 - R - расчетное значение обобщенной несущей способности, деформации или другого параметра, устанавливаемого нормами проектирования;
 - γ_c - коэффициент условий работы, учитывающий тип сооружения, конструкции или основания, вид материала, приближенность расчетных схем, вид предельного состояния и другие факторы, принимаемый для причальных и берегоукрепительных сооружений равным 1,15;
 - γ_n - коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, учитывающий капитальность и значимость последствий при наступлении тех или иных предельных состояний; при расчетах по предельным состояниям первой группы принимается для класса III класса сооружений равным 1,15.

Поскольку рассматриваемый причал относится к сооружениям III класса условие (1) недопустимости предельного состояния принимает вид:

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{1,15}{1,15} R = R. \quad (2)$$

В качестве расчетного значения обобщенной несущей способности R , была принята величина допускаемых напряжений [6]. Тогда, расчетным значением обобщенного силового воздействия F будет являться расчетное напряжение $\sigma_{расч}$, полученное с учетом фактического состояния конструкции:

$$\gamma_{lc} \sigma_{расч} \leq [\sigma] \quad (3)$$

Расчет причала свайной двухрядной конструкции выполнялся для участка шириной 1 погонный метр. При выполнении поверочного расчёта причала учтены следующие нагрузки:

- собственный вес конструктивных элементов;
- эксплуатационная нагрузка;
- давление грунта (активное и пассивное);
- волновая нагрузка от штормов различной повторяемости;
- сейсмическая нагрузка;
- сейсмическое давление воды;
- нагрузка от натяжения швартовов.

Для определения характеристик жесткостей шпунтовой стенки использовалась программа КОНСУЛ, входящая в программный комплекс SCAD – рисунок 5.

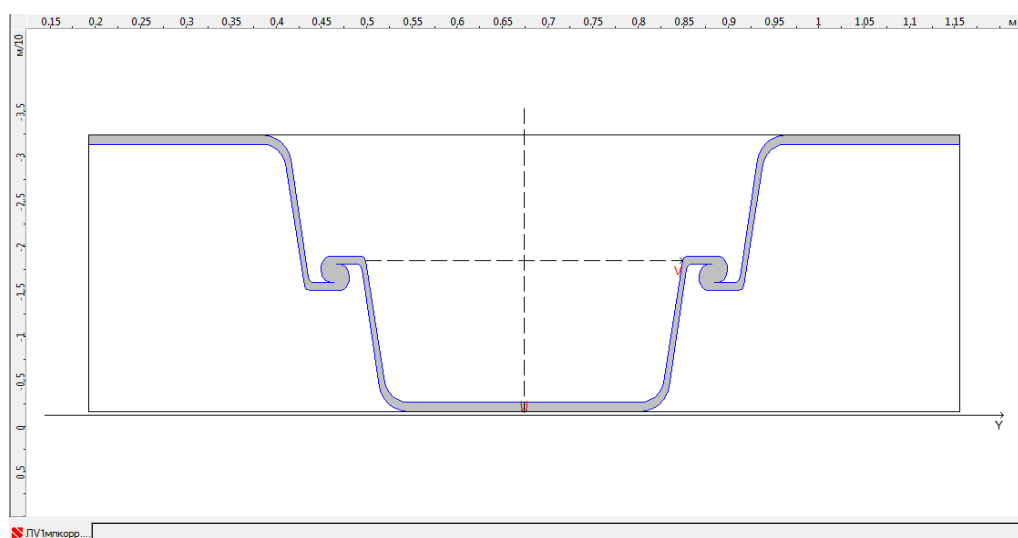


Рисунок 5. Погонный метр корродированной шпунтовой стенки в программе КОНСУЛ

6. Результаты расчета. Определение усилий в элементах сооружения

Программа SCAD позволяет определить усилия во всех элементах от всех нагрузок по-отдельности и в целом для расчетных сочетаний. Согласно [3] основными усилиями для определения несущей способности сооружения являются:

- максимальный изгибающий момент в шпунтовой стенке;
- продольное усилие в анкерной тяге.

На рисунке 6 представлена полученная в результате расчета эпюра изгибающего момента в шпунтовой стенке M_z , при основном сочетании нагрузок.

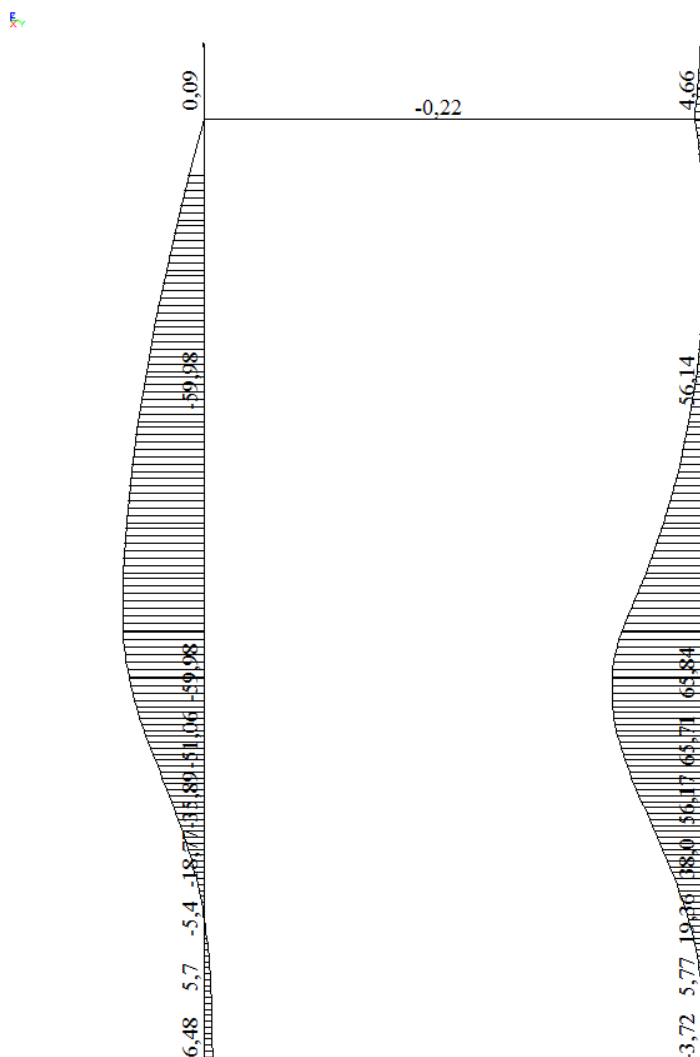


Рисунок 6. Эпюра изгибающего момента в шпунтовой стенке M_z , полученная в результате расчета в SCAD

Результаты выполненных расчетов показали, что максимальный изгибающий момент $M_{z,max}$, равный 65,84 т·м в шпунтовой стенке возникает на уровне дна сооружения.

7. Анализ величин напряжений в шпунтовой стенке

На основании проведенных расчетов был выполнен сравнительный анализа величин напряжений в шпунтовой стенке для корродированного и нового шпунта.

В 1959 году (год постройки причала) шпунт «Ларсен» V изготавливали по ЧМТУ 5154-55 из стали марки Б-3, имеющей предел текучести $\sigma_{тек} = 2400 \text{ кг/см}^2$.

Допускаемые напряжения определялись по формуле:

$$[\sigma] = \sigma_{тек} \cdot 0,8 = 2400 \cdot 0,8 = 1920 \text{ кг/см}^2, \quad (4)$$

где: 0,8 - коэффициент запаса.

В соответствии с [3] расчетное значение усилий в шпунтовой стенке определяется введением понижающего коэффициента, учитывающего перераспределение давления:

$$M_{расч.} = \frac{M_{z,max}}{k_{мп}}, \quad (5)$$

где: $M_{расч.}$ - расчетный момент,
 $M_{z,max}$ - максимальный изгибающий момент;
 $k_{мп} = 1,7$ - коэффициент, учитывающий перераспределение давления при заполнении ядра сооружения камнем.

Расчетные напряжения $\sigma_{расч.}$ определялись по формуле:

$$\sigma_{расч.} = \frac{M_{расч.}}{W_{v+}}, \quad (6)$$

где: W_{v+} - максимальный момент сопротивления относительно оси $V +$.

Для корродированного шпунта были получены следующие результаты - таблица 1.

Таблица 1. Результаты расчета несущей способности шпунтовой стенки для корродированного шпунта

Максимальный изгибающий момент $M_{z,max}$, Т·М	$k_{мп}$	Момент расчетный $M_{расч.}$, Т·М	Момент сопротивления W_{v+} , см ³	Коэффициент сочетания нагрузок γ_{lc}	Расчетное напряжение $\sigma_{расч.}$ с учетом коэфф. сочетания, кг/см ²	Допускаемое напряжение [б], кг/см ²	Несущая способность шпунтовой стенки
65,84	1,7	38,73	1351	1,0	2867	1920	2867 > 1920 не обеспечена

Для нового (некорродированного) шпунта были получены следующие результаты - таблица 2.

Таблица 2. Результаты расчета несущей способности шпунтовой стенки для нового шпунта

Максимальный изгибающий момент $M_{z,max}$, Т·М	$k_{мп}$	Момент расчетный $M_{расч.}$, Т·М	Момент сопротивления W_{v+} , см ³	Коэффициент сочетания нагрузок γ_{lc}	Расчетное напряжение $\sigma_{расч.}$ с учетом коэфф. сочетания, кг/см ²	Допускаемое напряжение [б], кг/см ²	Несущая способность шпунтовой стенки
65,84	1,7	38,73	2567	1,0	1509	1920	1509 < 1920 обеспечена

Как видно из представленных выше таблиц корродированная шпунтовая стенки не обеспечивает восприятия расчетных нагрузок.

8. Анализ величин напряжений в анкерной тяге

На рисунке 7 представлена эпюра продольной силы N при основном сочетании нагрузок. Как видно на рисунке величина продольной силы N в анкерной тяге составляет 11,6т.

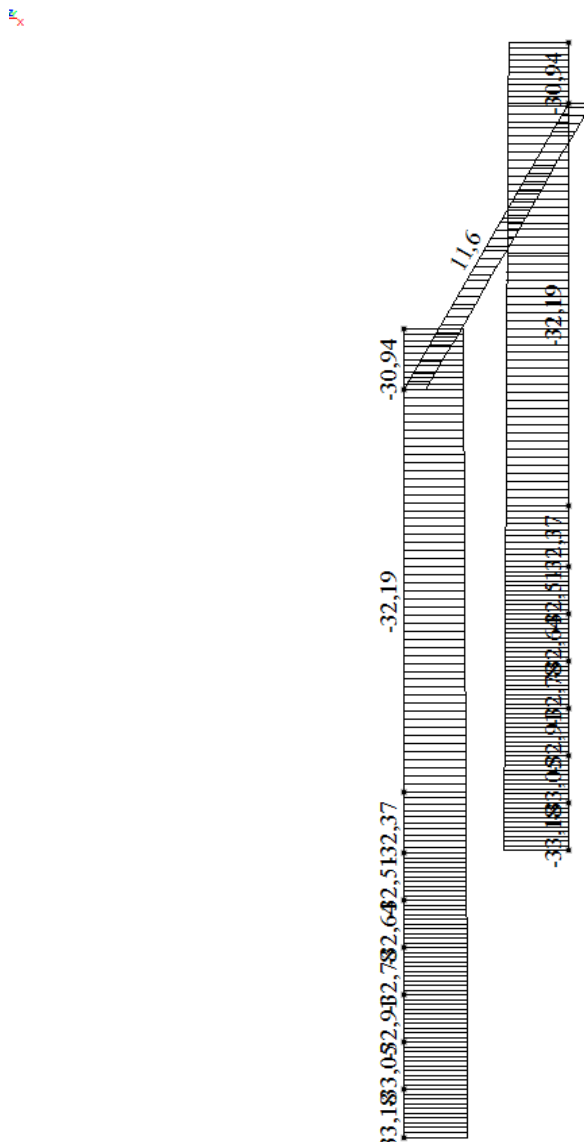


Рисунок 7. Эпюра продольной силы N , полученная в результате расчета в SCAD

В соответствии с [3] расчетное значение усилий в анкерной тяге определялась по формуле:

$$R_{расч} = k_{ан} \cdot R_a \cdot l_a = 2 \cdot 11,6m \cdot 1 = 23,2m \quad (7)$$

где:

$k_{ан} = 2$ – коэффициент для определения сечения анкера;

R_a – усилие в анкерной тяге;

$l_a = 1m$ – шаг анкерных тяг.

Площадь поперечного сечения анкерной тяги составила:

$$F_a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,26 \text{ см}^2 \quad (8)$$

Расчетные напряжения определялись по формуле:

$$\sigma_{расч} = \frac{R_{расч}}{F_a} = \frac{23,2 \cdot 10^3 \text{ кг}}{28,26 \text{ см}^2} = 821 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq [\sigma] = 1920 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (9)$$

Поскольку расчетные напряжения не превышают допускаемых, был сделан вывод о том, что несущая способность анкерных тяг обеспечена.

9. Заключение

На основании проведенного поверочного расчета установлено следующее.

1. В настоящее время несущая способность корродированной шпунтовой стенки причала не обеспечивается. Расчетные напряжения $\sigma_{расч} = 2867 \text{ кг/см}^2$ превышают допускаемые значения $[\sigma] = 1920 \text{ кг/см}^2$. Превышение расчетных напряжений над допускаемыми составляет 49%.
2. В период сдачи сооружения в эксплуатацию в 1959 году – то есть при использовании нового шпунта с моментом сопротивления одного погонного метра $W_{v+} = 2567 \text{ см}^3$ несущая способность шпунтовой стенки была обеспечена. Запас прочности при этом составлял 21%.
3. Расчет показал, что в настоящее время несущей способности анкерных тяг достаточно для восприятия расчетных нагрузок. Очевидно, что за время эксплуатации причала не произошло значительного уменьшения сечения анкерных тяг из-за коррозии.
4. Используемый авторами вычислительный комплекс SCAD по сравнению с аналитическими методами расчета позволил достаточно быстро выполнить поверочный расчет. Результаты численного расчета согласуются с результатами, полученными аналитическими методами. Так, например, расхождение в величине максимального изгибающего момента в шпунтовой стенке находится в пределах 3-5%.

Литература

- [1]. ГОСТ Р 54523-2011. «Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» - М.: Стандартинформ, 2012. – 203 с.
- [2]. СП 13-102-2003. «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 32 с.
- [3]. «Методика расчета молв-причалов свайной двухрядной конструкции при действии на них эксплуатационных нагрузок» / Составлена В.С. Христофоровым, П.П. Кульмачем, Р.Г. Мелешковым, П.И.Смирновым, В.В.Цеханович. - М.: Министерство обороны СССР, 1966.- 63 с.
- [4]. «Портовые гидротехнические сооружения» / Ляхницкий В.Е., Смородинский Н.А., Штенцель В.К. и др. - Л., Речной транспорт, 1955., 624 с.
- [5]. «Морские гидротехнические сооружения. Часть II. Причальные, шельфовые и берегоукрепительные сооружения»/Кульмач П.П., Филиппенко В.З, Заритовский Н.Г.- Л., ЛВВИСКУ, 1991.- 391с.
- [6]. «Шпунтовые стенки (расчет и проектирование)»/Ренгач В.Н. – Л., Строиздат. Ленинградское отделение, 1970. – 109с.
- [7]. «SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD» / Карпиловский В.С., Криксунов Э.С., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. – М.: Издательство СКАД СОФТ, 2007. – 609 с., ил.
- [8]. «Расчетные модели сооружений и возможность их анализа» / Перельмутер А.В., Сливкер В.И. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600с., ил.
- [9]. «SCAD OFFICE. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик» /Карпиловский В. С., Криксунов Э.З., Маляренко А. А. и др. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 80 с., ил.
- [10]. «SCAD OFFICE. Реализация СНиП в проектирующих программах» / Карпиловский В.С. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 288 с., ил.
- [11]. «SCAD OFFICE. Расчет мачт на оттяжках» / Перельмутер А.В. – Киев.:Издательство СКАД СОФТ, 2004. – 46 с., ил.
- [12]. «Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе» / Семенов А. А., Габитов А. И. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 152 с., ил.
- [13]. СП 58.13330.2012, Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» - М., Минрегион России, 2012. - 38с.
- [14]. РД 31.31.55-93. «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений» - М., Федеральная служба морского флота России, 1996. – 187 с.
- [15]. СП 38.13330.2012, Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» -М.: Минстрой России. ГП ЦПП, 1996. - 116с.
- [16]. СП 14.13330.2014. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» - М., 2014., 125с.
- [17]. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения П78-76/ВНИИГ.- Л., 1977, 311с.
- [18]. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» - М.: Государственный строительный комитет СССР, 1987., 47с.
- [19]. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» - М., Минрегион России, 2013. - 147с.
- [20]. СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*» - М., Минрегион России, 2013. - 171с.
- [21]. Briske R. Anwendung von Erddruckumlagerungen bei Spandwandbauwerken. Die-Bautechnik No.7, No.10 Berlin, 1957
- [22]. Hansen J. Brinch. Earth Pressure Calculation. The Institution of Danish Civil Engineers. Copenhagen, 1953.
- [23]. Rowe P.W. Anchored Sheet - Pile Walls. Proceedings of Institution of Civil Engineers, Volume I, No.1, London, January, 1952.

- [24]. Tshebotarioff G.P. Flexible Bulkheads. The Dock and Harbour Authority, April, 1951.
- [25]. Ben C. Gerwick, Jr. Construction of marine and offshore structures. San Francisco, California, U.S.A., 2007
- [26]. Richard H. Gallagher Finite element analysis. Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975
- [27]. British standard BS 6349-1: 2000 Maritime structures -Part 1: Code practice for general criteria. London, 2000
- [28]. British standard BS 6349-2: 1988 Code of practice for Maritime structures - Part 2: Design of quay walls, jetties and dolphins. London, 1988
- [29]. Gregory P.Tsinker Port Engineering. Planning, Construction, Maintenance, and Security. U.S.A., 2004
- [30]. M.J.Tomlinson Pile design and construction practice. London, 1994

Application of computing complex SCAD for checking calculation of the two-lane sheet-piled wharf structure

O.Ye. Shapovalov¹, A.O. Shapovalov², O.Ye. Rudenko³

^{1,3} 23 GMPI, 6 Atamanskaya st., St.Petersburg, 191167, Russia.

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 02 July 2015
Accepted 22 September 2015

Keywords

two-lane sheet piled wharf structure,
computing complex SCAD,
checking calculation,
load combination,
bending moment,
margin of safety

ABSTRACT

Assessment of the actual bearing capacity of operated hydraulic structures is an actual technical problem, which determines the duration of their life cycle - the period during which the operation, repair and reconstruction are carried out. The paper presents results of testing calculation of existing two-lane sheet-piled wharf structure made with the computing complex SCAD. The data for the calculation taken on the basis of regulations, methodical and reference literature, the results of scientific research, materials of technical inspection. The checking calculation considers the following loads: operational load, active and passive earth pressure, wave load from storms of various repeatability, seismic load, seismic water pressure, load of tension of mooring lines. On the basis of calculations a comparative analysis of the values of stresses in the sheet pile wall was made for corroded and new piles. It was concluded that the load bearing capacity of the anchor rod is provided. The computing complex SCAD compared with the analytical methods of calculation will quickly fulfill checking calculation.

1

Corresponding author:

+7 (921) 357 0472, o.e.shapovalov@gmail.com (Oleg Yevgenievich Shapovalov, Ph.D., Senior Researcher, Leading

Engineer)

2

+7 (921) 743 7870, tonyspvl@gmail.com (Anton Olegovich Shapovalov, Student)

3

+7 (911) 966 2960, olga777rudenko@gmai.com (Olga Yevgenievna Rudenko, Engineer of 1 category)

Шаповалов О.Е., Шаповалов О.А., Руденко О.Е. Применение вычислительного комплекса SCAD для поверочного расчета причала свайной двухрядной конструкции. /

Shapovalov O.Ye., Shapovalov A.O., Rodenko O.Ye. Application of computing complex SCAD for checking calculation of the two-lane sheet-piled wharf structure. ©

References

- [1]. GOST R 54523-2011. «Portovyye gidrotekhnicheskiye sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya» - M.: Standartinform, 2012. – 203 s.
- [2]. SP 13-102-2003. «Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitelnykh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy» - M.: Gosstroy Rossii, GUP TsPP, 2004. – 32 s.
- [3]. «Metodika rascheta molov-prichalov svaynoy dvukhryadnoy konstruktсии pri deystvii na nikh ekspluatatsionnykh nagruzok» / Sostavlena V.S. Khristoforovym , P.P. Kulmachem, R.G. Meleshkovym, P.I.Smirnovym, V.V.Tsekhonovich. - M.: Ministerstvo oborony SSSR, 1966.- 63 s.
- [4]. «Portovyye gidrotekhnicheskiye sooruzheniya» / Lyakhnitskiy V.Ye., Smorodinskiy N.A., Shtentsel V.K. i dr. - L., Rechnoy transport, 1955., 624 s.
- [5]. «Morskiye gidrotekhnicheskiye sooruzheniya. Chast II. Prichalnyye, shelfovyye i beregoukrepitelnyye sooruzheniya»/Kulmach P.P., Filippenok V.Z, Zaritovskiy N.G.- L., LVVISKU, 1991.- 391s.
- [6]. «Shpuntovyye stenki (raschet i proyektirovaniye)»/Rengach V.N. – L., Stroizdat. Leningradskoye otdeleniye, 1970. – 109s.
- [7]. «SCAD OFFICE. Vychislitelnyy kompleks SCAD» / Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.S., Malyarenko A.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. – M.: Izdatelstvo SKAD SOFT, 2007. – 609 s., il.
- [8]. «Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza» / Perelmuter A.V., Slivker V.I. – M.: DMK Press, 2007. – 600s., il.
- [9]. «SCAD OFFICE. Formirovaniye secheniy i raschet ikh geometricheskikh kharakteristik» /Karpilovskiy V. S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A. A. i dr. – M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2008. – 80 s., il.
- [10]. «SCAD OFFICE. Realizatsiya SNiP v proyektiruyushchikh programmakh» / Karpilovskiy V.S. – M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2004. – 288 s., il.
- [11]. «SCAD OFFICE. Raschet macht na ottyazhkakh» / Perelmuter A.V. – Kiyev.:Izdatelstvo SKAD SOFT, 2004. – 46 s., il.
- [12]. «Proyektno-vychislitelnyy kompleks SCAD v uchebnom protsesse» / Semenov A. A., Gabitov A. I. – M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2005. – 152 s., il.
- [13]. SP 58.13330.2012, Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 33-01-2003 «Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya. Osnovnyye polozheniya» - M.,Minregion Rossii, 2012. - 38s.
- [14]. RD 31.31.55-93. «Instruktsiya po proyektirovaniyu morskikh prichalnykh i beregoukrepitelnykh sooruzheniy» - M., Federalnaya sluzhba morskogo flota Rossii, 1996. – 187 s.
- [15]. SP 38.13330.2012, Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.04-82*. «Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskiye sooruzheniya (volnovyye, ledovyye i ot sudov)» -M.: Minstroy Rossii. GP TsPP, 1996. - 116s.
- [16]. SP 14.13330.2014. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81* «Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh» - M., 2014., 125s.
- [17]. Rukovodstvo po opredeleniyu nagruzok i vozdeystviy na gidrotekhnicheskiye sooruzheniya P78-76/VNIIG.- L.,1977, 311s.
- [18]. SNiP 2.02.03-85 «Svaynyye fundamenty» - M.: Gosudarstvennyy stroitelnyy komitet SSSR, 1987.,47s.
- [19]. SP 63.13330.2012 «Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktсии. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003» - M.,Minregion Rossii, 2013. - 147s.
- [20]. SP 16.13330.2011 «Stalnyye konstruktсии. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*» - M.,Minregion Rossii, 2013. - 171s.
- [21]. Briske R. Anwendung von Erddruckumlagerungen bei Spandwandbauwerken. Die-Bautechnik No.7, No.10 Berlin, 1957
- [22]. Hansen J. Brinch. Earth Pressure Calculation. The Institution of Danish Civil Engineers. Copenhagen, 1953.
- [23]. Rowe P.W. Anchored Sheet - Pile Walls. Proceedings of Institution of Civil Engineers, Volume I, No.1, London, January, 1952.
- [24]. Tshebotarioff G.P. Flexible Bulkheads. The Dock and Harbour Authority, April, 1951.

- [25]. Ben C. Gerwick, Jr. Construction of marine and offshore structures. San Francisco, California, U.S.A., 2007
- [26]. Richard H. Gallagher Finite element analysis. Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975
- [27]. British standard BS 6349-1: 2000 Maritime structures -Part 1: Code practice for general criteria. London, 2000
- [28]. British standard BS 6349-2: 1988 Code of practice for Maritime structures - Part 2: Design of quay walls, jetties and dolphins. London, 1988
- [29]. Gregory P. Tsinker Port Engineering. Planning, Construction, Maintenance, and Security. U.S.A., 2004
- [30]. M.J. Tomlinson Pile design and construction practice. London, 1994

Шаповалов О.Е., Шаповалов О.А., Руденко О.Е. Применение вычислительного комплекса SCAD для поверочного расчета причала свайной двухрядной конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №10(37). С. 81-94.

Shapovalov O.Ye., Shapovalov A.O., Rodenko O.Ye. Application of computing complex SCAD for checking calculation of the two-lane sheet-piled wharf structure. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 10(37), Pp. 81-94. (rus)