

УДК 624.131.53

И.В. Войтенко

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ
ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ ЕЕ ПРОЧНОСТНОЙ АНИЗОТРОПИИ**

В статье изложена практическая реализация предложенного автором метода определения бокового давления неоднородной грунтовой среды с учетом ее прочностной анизотропии в морском гидротехническом строительстве. Результаты исследований были использованы при проектировании и строительстве причальных сооружений Мариупольского морского торгового порта.

Ключевые слова: прочностная анизотропия, годографы угла внутреннего трения и сцепления, боковое давление, неоднородная анизотропная грунтовая среда, причальное сооружение.

В статті викладена практична реалізація запропонованого автором методу визначення бічного тиску неоднорідного ґрунтового середовища з урахуванням його міцнісної анізотропії в морському гідротехнічному будівництві. Результати досліджень були використані при проектуванні і будівництві причальних споруд Маріупольського морського торговельного порту.

Ключові слова: міцнісна анізотропія, годографи кута внутрішнього тертя та зчеплення, бічний тиск, неоднорідне анізотропне ґрунтове середовище, причальна споруда.

In the article practical realization of the method of determination of lateral pressure of heterogeneous soil offered an author is examined on marine hydrotechnical buildings taking into account the strength anisotropy of soil's environment. The results of researches were used for designing and building of berthes of the Marine Port of Mariupol.

Keywords: anisotropy of strength, hodographs of friction angle and cohesion, lateral pressure, heterogeneous anisotropic soil's environment, berth building.

Введение. Строительство гидротехнических сооружений осуществляется в прибрежной зоне, геологические условия которой характеризуются слоистостью грунтовых отложений. Особенностью неоднородных отложений, как свидетельствуют многочисленные исследования, является анизотропия деформативных и прочностных характеристик.

К основным нагрузкам, определяющим напряженно-деформированное состояние портовых гидротехнических сооружений, относят боковое давление грунта. В настоящее время отсутствуют нормативные документы и рекомендации, регулирующие проектирование, строительство и эксплуатацию портовых сооружений с учетом прочностной анизотропии грунтовой среды.

© Войтенко И.В., 2013

В работах [1-3] предложена методика определения бокового давления неоднородного грунтового основания на подпорные сооружения с учетом анизотропии прочностных характеристик.

Посредством проведения численного исследования доказано существенное влияние ориентации годографов угла внутреннего трения и сцепления на параметры бокового давления грунта [4].

Постановка задачи. Задачей проведенных научных исследований является практическая реализация полученных результатов в практике строительства и эксплуатации распорных сооружений, в том числе портовых, которая кратко изложена в настоящей публикации.

Изложение материала исследований. В соответствии с предложенной методикой, боковое давление n -го слоя при произвольном залегании слоев и с учетом анизотропии прочностных характеристик определяется зависимостью

$$E_n = \gamma_n h_n^2 N_{\gamma,n} (1 + N_{cor,n}) + q_{n,c} h_n N_{q,n} + c_n (\beta_{1,n}) h_n N_{c,n}, \quad (1)$$

где γ_n – удельный вес n -го грунтового слоя;

h_n – высота слоя при ее проекции на вертикаль;

$c_n = c_n(\beta_{1,n})$ – базовое сцепление на поверхности n -го слоя при ее ориентации $\beta_{1,n}$;

$N_{\gamma,n}$, $N_{q,n}$, $N_{c,n}$ – коэффициенты, отражающие влияние соответственно собственного веса грунта в объеме предельной призмы, распределенной на поверхности призмы внешней нагрузки и внутренних сил связности, распределенных в соответствии с теоремой Како по контуру предельной грунтовой призмы;

$N_{cor,n}$ – коэффициент, учитывающий произвольное залегание слоев.

Анизотропия характеристик прочности произвольного n -го грунтового слоя представлена годографами угла внутреннего трения $\varphi_n(\beta)$ и сцепления $c_n(\beta)$, удовлетворяющими зависимостям

$$\varphi_n(\beta) = \varphi_n(\beta + \pi); \quad c_n(\beta) = c_n(\beta + \pi), \quad (2)$$

где β – угол ориентации площадки сдвига относительно горизонта.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований бокового давления неоднородного анизотропного по сопротивлению сдвигу грунта использовались при проектировании причальных сооружений № 1, 7, 10, 18 Мариупольского морского торгового порта.

Инженерно-геологические условия объектов внедрения характеризуются резко неоднородными грунтовыми отложениями, сложенными текучими и текучепластичными илами, глинами и суглинками, которые переслаиваются пылеватыми и мелкозернистыми заиленными песками.

Условия определяют анизотропию прочностных свойств грунтового основания и соответствуют предпосылкам расчетной схемы предложенных ранее решений.

В районе причала № 18 в геологическом строении принимают участие аллювиально-морские отложения, представленные переслаиванием песков разной крупности (от мелких до гравелистых) с суглинками и глинами, в районе причала № 17 и Восточного мола – илами с ракушей и растительными остатками (в верхней части толщи).

С поверхности дна повсеместно залегают илы; преобладающими являются глинистые слаботекучие илы с ракушей и растительными остатками и прослойками песка. Реже, в виде отдельных прослоек и линз, встречаются илы суглинистые и супесчаные.

Основные характеристики физических и механических свойств грунтового основания приведены в таблице.

*Таблица основных инженерно-геологических характеристик
грунтового основания в районе причала № 18*

| Слои грунтового основания | Γ (под водой), т/м ³ | I_p | I_L | E , мПа | φ , ° | c , кПа |
|--|--|-------|-------|--------------|---------------|--------------|
| 1. Илы темно-серые и глинистые с включением ракуши, очень текучие, разжиженные | 0,44 | 0,22 | 2,4 | 0,5 | 5 | 3 |
| 2. Илы суглинистые и глинистые с включением ракуши и растительных остатков, слаботекучие | 0,35 | 0,31 | 1,5 | 0,6 | 7 | 2 |
| 3. Глины желтовато-бурые с включением щебня, текучепластичные и мягкопластичные | 0,77-0,80 | | 0,7 | 0,7 | 13-14 | 18-20 |
| 4. Глины серые, тугопластичные и полутвердые | 0,86-0,90 | | 0,2 | 12 | 16-17 | 27-31 |

Объекты внедрения представляют собой причальные сооружения типа «больверк» с анкерровкой в одном уровне (рис. 1) или реконструируемые набережные – эстакады с использованием больверка – оторочки (причал № 1).

На рис. 2 приведен поперечный разрез причала № 18 в составе универсального терминала для металлогрузов и навалочных грузов. Отметка кордона причала – + 2,0, отметка дна у причала – - 9,75. Гибкая стенка из металлического шпунта погружена на отметку – -17,0.

Для улучшения строительных свойств слабого основания использовалось уплотнение виброиглой TR-75 фирмы Бауэр с устройством дрен из шлаков.

Данные для расчета по предложенной методике определялись по результатам стандартных срезных испытаний ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) [5].

Реализация разработанного метода определения бокового давления грунта осуществлялась проектной организацией в соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими проектирование гидротехнических сооружений.



*Рис. 3. Искусственная территория причала № 18
с заполнением металлургическими шлаками
меткомбинатов Азовсталь и Ильича г. Мариуполь*

Последующая эксплуатация грузовых причалов показала корректность расчетного метода, о чем свидетельствует удовлетворительное состояние сооружений в строительный и эксплуатационный периоды.

Опыт проектирования причальных сооружений гравитационного типа с учетом анизотропии грунтовых оснований показал возможность повышения глубин у причальных стенок без проведения дополнительных реконструктивных мероприятий, что значительно удешевляет стоимость строительства.

Необходимо также отметить, что разработанная методика позволяет учитывать сейсмическое воздействие, что совместно с учетом анизо-

тропии неоднородных грунтовых оснований определяет ее применение в сложных инженерно-геологических условиях.

Выводы. Таким образом, практическая реализация разработанного инженерного решения определения бокового давления неоднородной грунтовой среды с учетом прочностной анизотропии на распорные сооружения успешно осуществлена в морском гидротехническом строительстве. Результаты исследований могут быть использованы при разработке нормативной документации, регламентирующей проектирование, строительство и эксплуатацию портовых сооружений с учетом анизотропии прочностных характеристик контактирующей грунтовой среды.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Войтенко И.В. Алгоритм расчета бокового давления грунта анизотропных многослойных оснований // Вісник Одеського національного морського університету. – Одеса: ОНМУ. – 1998. – № 10. – С. 137-141.*
2. *Войтенко И.В. Учет нагрузки при определении бокового давления неоднородного анизотропного грунта // Зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету ім. Кондратюка. – Полтава: Вид-во ПНТУ. – 2003. – № 12. – С. 39-46.*
3. *Войтенко И.В. Определение результирующей произвольно ориентированной поверхностной нагрузки в расчетах бокового давления многослойного анизотропного грунта при сейсме // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Вид-во ОДАБА. – 2004. – № 14. – С. 69-75.*
4. *Войтенко И.В. Влияние прочностной анизотропии на боковое давление грунтовой среды в сложных геотехнических условиях // Морские и речные порты. Портовые сооружения: Сб. научн. трудов ОГАСА. – Вып. 3. – Одесса: МАГВТ, 2009. – С. 19-23.*
5. *Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості: ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) / Основи та підвалини будинків і споруд. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 102 с.*

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013

Рецензент – доктор технічних наук, професор, Генеральний директор Міжнародної асоціації гідротехніків водного транспорту
А.В. Школа