

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЖОРСТКОСТІ ШПУНТУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПРИЧАЛЬНИХ ТОНКИХ СТІНОК

Безушко Д.І., к.т.н., доцент,
dibezushko@gmail.com ORCID 0000-0003-2215-1136

Одеський національний морський університет

Арсирій А.М., к.т.н., доцент,
ORCID 0000-0003-3262-1488

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Коробенко О. В., магістр

Придністровський державний університет ім. Т.Г. Шевченко, Республіка Молдова

Анотація. Майже 45% причалів в Україні, за конструктивною схемою відносяться до тонких стінок. Основним несучим елементом є лицьова та анкерна стінки, що виконуються із сталюого шпунту. У практиці проектування причальних тонких стінок, до теперішнього часу широко використовуються методи, що базуються на класичній теорії тиску. При цьому самі стінки розглядаються як вертикальні балки, що знаходяться під впливом активного і пасивного тиску ґрунту, що визначаються за формулами Кулона (методи Е. Якобі, Блюма-Ломейера та ін.). Однак, зусилля в елементах конструкцій виявляються завищеними, а конструктивні рішення – неекономічними. В роботі наведено аналіз впливу зміни жорсткості шпунту на роботу всієї конструкції. Розглядається шпунт Ларсен 5, що випускався різними виробниками і виходив в трьох модифікаціях Л 5, Л 5Д, Л 5-УМ. Використовується метод скінченних елементів, що реалізований в програмному комплексі PLAXIS. У розрахунковій схемі конструкції тонкої стінки представлені основні конструктивні елементи: лицьова і анкерна стінки, анкерні тяжі, ґрунти основи і засипки.

Встановлено, що зміна жорсткості шпунту найбільше впливає на деформації та величину згинального моменту. Так при збільшенні жорсткості з $107 \cdot 10^3$ до $160 \cdot 10^3$ кНм/м момент в стінці і максимальне переміщення змінюються на 10%.

Ключові слова: тонка стінка, больверк, морський порт, причал, метод скінчених елементів.

Вступ. Провідною галуззю матеріального виробництва є транспорт, без якого було б неможливе подолання територіального розриву між виробництвом і споживанням товарів і послуг. Саме завдяки розвитку морського транспорту океан вже не поділяє, а з'єднує країни і континенти. Одним з головних елементів складної системи «Порт» - є причальна конструкція, яка й забезпечує транспортні процеси. Майже 45% причалів в Україні, за конструктивною схемою, відносяться до тонких стінок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У практиці проектування причальних тонких стінок до теперішнього часу широко використовуються методи, що базуються на класичній теорії тиску. При цьому самі стінки розглядаються як вертикальні балки, що знаходяться під впливом активного і пасивного тиску ґрунту, що визначаються за формулами Кулона (методи Е. Якобі, Блюма-Ломейера та ін.) [1, 2, 3]. Однак, одержувані при цьому зусилля в елементах конструкцій виявляються завищеними, а конструктивні рішення-неекономічними. Тому аналіз впливу зміни жорсткості стінки на напружено-деформований стан, з використанням сучасних методів розрахунку [4, 6, 9] всієї системи є **актуальною задачею**. З розвитком сучасних методів розрахунку (метод скінченних елементів) та систем, що забезпечують аналіз даних, можливо отримувати більш точні результати [4, 6, 9]. Для забезпечення надійності розрахунків ми будемо порівнювати отримані результати методу скінчених елементів з результатами натурного експерименту, виконаного Ренгач В.Н. [5].

Метою дослідження – є визначення величини впливу змін характеристик жорсткості шпунту Л 5, Л 5Д, Л 5-УМ на напружено-деформований стан тонких стінок.

Для досягнення мети дослідження потрібно було вирішити наступні **задачі**:

1. Побудувати розрахункову схему причалу в PLAXIS;
2. Виконати розрахунки для трьох значень жорсткості шпунту;
3. Виконати порівняльний аналіз отриманих даних з результатами натурного експерименту, виконаного Ренгач В.Н. [5].

Матеріали та методика дослідження. При створенні розрахункової схеми необхідно вводити дані про споруду та ґрунтові умови, а недостатність вихідних даних або їх неповнота, можуть викликати невизначеність, яка може привести до помилок в розрахунках [7, 8]. Якщо з геометричними розмірами все зрозуміло (рис.1), то з міцністю та деформаційними характеристиками можуть виникнути деякі труднощі. Ми умовно розділили питання з невизначеністю характеристик на два види: перший - зміна міцності і деформаційних характеристик металевих конструкцій, а другий – пов'язаний з характеристиками ґрунтів. В даній роботі наведено аналіз впливу жорсткості шпунту на роботу всієї конструкції.

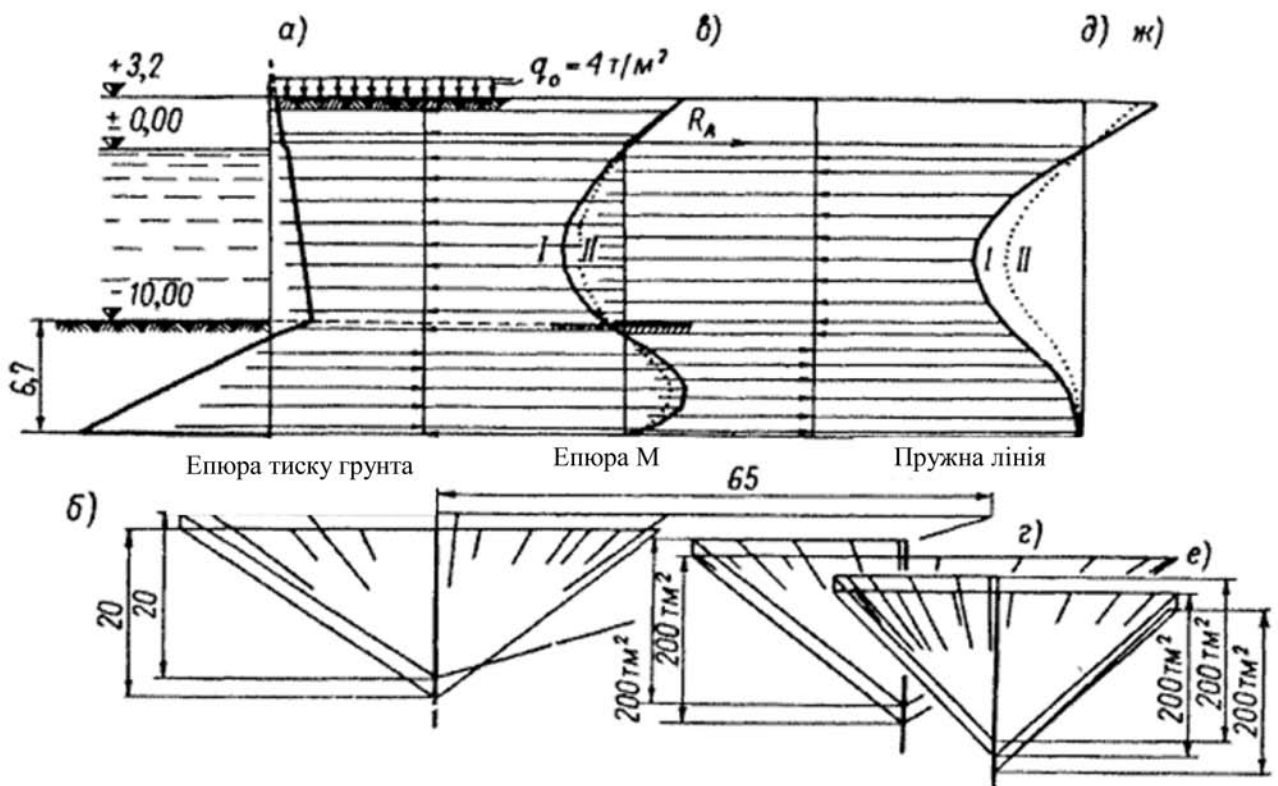


Рис.1. Розміри та графоаналітичний розрахунок за [5]

У розрахунковій схемі конструкції тонкої стінки повинні бути представлені основні конструктивні елементи: лицьова і анкерна стінки, анкерні тяжі, ґрунти основи і засипки. Розрахунок причальної стінки виконувався в програмному комплексі PLAXIS (Рис.2).

При завданні шпунтової стінки в плоскій деформації необхідно використовувати жорсткість стінки на стиск (АЕ) та жорсткість на згин (ІЕ), тобто добуток модуля деформації на площу і момент інерції перерізу, відповідно. В роботі [5] представлені результати експериментальних досліджень по вивченню напружено-деформованого стану причалу типу «большерк» із сталевго шпунта «Ларсен 5» глибиною біля причалу 10м (Рис.1).

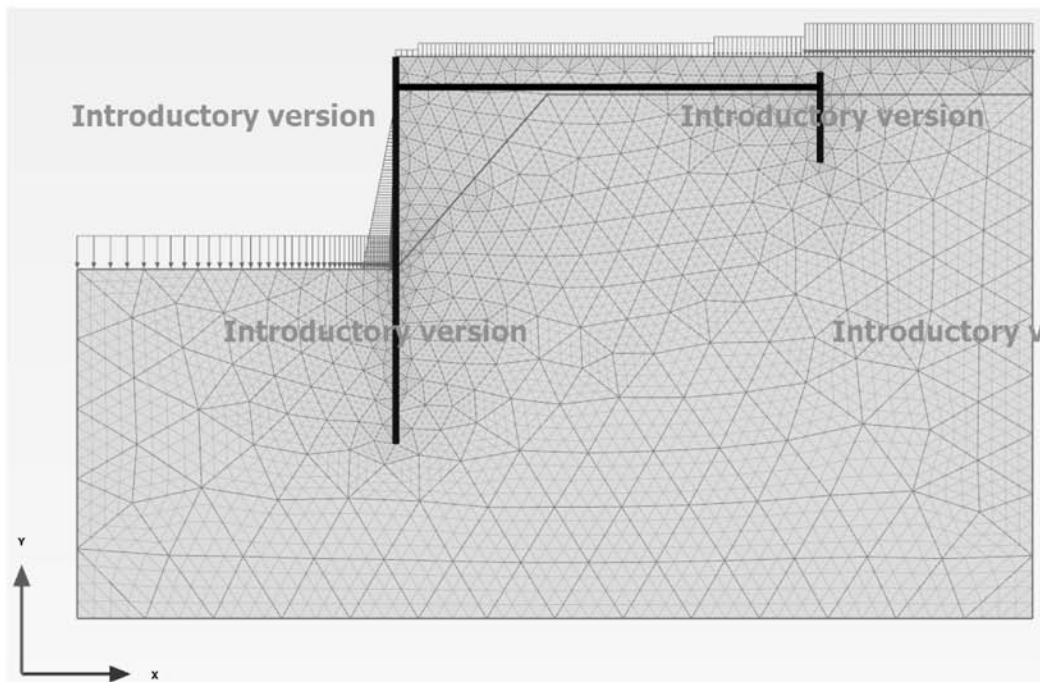


Рис.2. Розрахункова схема

У свою чергу шпунт «Ларсен 5» випускався різними виробниками і виходив в трьох модифікаціях Л 5, Л 5Д, Л 5-УМ. При невизначеності вихідних даних слід виконати аналіз впливу зміни жорсткості стінки на напружено-деформований стан всієї системи «больверк». Саме тому ми вирішили виконати аналіз впливу зміни жорсткості стінки на напружено-деформований стан всієї системи. Дані про характеристики шпунту наведені в табл. 1, а характеристики ґрунту – у табл. 2.

Таблиця 1 - Властивості матеріалу стінки (шпунту)

Параметр	Найменування	Значення параметрів			Од. виміру
		Л5	Л5Д	Л5-УМ	
Тип поведінки	<i>Material type</i>	Elastic	Elastic	Elastic	
Нормальна жорсткість	<i>EA</i>	$7.56 \cdot 10^6$	$5.59 \cdot 10^6$	$6.09 \cdot 10^6$	кН/м
Згинальна жорсткість	<i>EI</i>	$107 \cdot 10^3$	$146 \cdot 10^3$	$160 \cdot 10^3$	кНм ² /м
Еквівалентна товщина	<i>d</i>	0.41	0.18	0.56	м
Вага	<i>w</i>	24	21	23	кН/м/м
Коефіцієнт Пуассона	<i>ν</i>	0,3	0,3	0,3	-

Таблиця 2 - Властивості матеріалів основи

Параметр	Найменування	Шар піску	Од. виміру
Модель матеріалу	<i>Model</i>	Мор-Кулон	-
Тип поведінки матеріалу	<i>Type</i>	Дренований	-
Питома вага ґрунту	γ_{unsat}	20	кН/м ³
Питома вага насиченого ґрунту	γ_{sat}	21	кН/м ³
Модуль Юнга (константа)	E_{ref}	28000	кН/м ²
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,3	-
Зчеплення (константа)	c_{ref}	1,0	кН/м ²
Кут тертя	ϕ	28	°

Результати аналізу впливу жорсткості лицьової стінки на напружено-деформований стан конструкції представлені в табл. 3 та у вигляді гістограми на рис.3.

Таблиця 3 - Вплив жорсткості лицьової стінки на напружено-деформований стан конструкції

Параметр	Найм.	Од. вим.	Л5	Л5Д	Л5УМ	По [5]
Максимальний згинальний момент в лицьовій стінці	M+	кНм/м	246	242	240	
	M-	кНм/м	447	474	482	460
Поздовжня сила	N	кН	375	374	377	
Поперечна сила	Q	кН	178	180	180	
Максимальні переміщення	$U_{x \max}$	см	11	10.4	10	10
Зусилля в тязі	$N_{\text{тяги}}$	кН	340	340	340	365
Згинальний момент в анкерної стінці	M-	кНм/м	173	175	176	

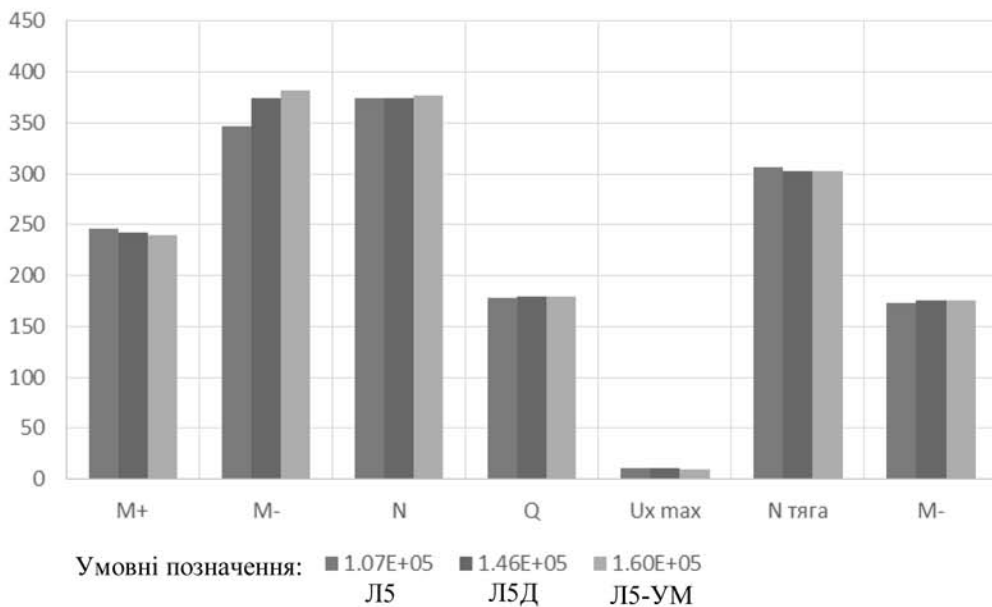


Рис.3. Вплив жорсткості лицьової стінки на напружено-деформований стан конструкції

Висновки. Відповідно до отриманих результатів, наведених у табл. 3 та на рис. 3, можна зробити наступні висновки:

1. Отримані зусилля збігаються з результатами натурного експерименту, проведеного Ренгач В.Н. [5].

2. Зміна жорсткості шпунта найбільше впливає на величину деформацій та згинального моменту. Так, зі збільшенням жорсткості з $107 \cdot 10^3$ до $160 \cdot 10^3$ кНм/м момент у лицьовій стінці та максимальне переміщення змінюються на 10%.

Література

1. Ворожцов Е. В. Разностные методы решения задач механики сплошных сред: Учеб. пособие. – Издательство НГТУ – Новосибирск, 1998. – 86с.
2. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. М.: Мінрегіонбуд України, 2009
3. Дуброва Г.А. Взаимодействие грунта и сооружений. – М.: Транспорт, 1963. – 220 с.
4. Клованич, С. Ф., Безушко Д.И. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций. - Одесса: ОНМУ, 2009, 93с.
5. Ренгач В.Н. Шпунтовые стенки. Расчет и проектирование. Издательство литературы по строительству: Ленинград, 1970, 106с.

6. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – Недра. – Москва, 1987. – 221с.
7. Risk Management Standard. FERMA 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmhoYXphcmR2aWV3fGd4OjU1MmZiYTRIYTc5NmM5ZTQ.>
8. Werner S. D. Seismic risk management for seaports / Werner S. D., Rix G. J., DesRoches R. // 4th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China. – 2008. - Режим доступа: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_S30-003.PDF.
9. Zienkiewicz O. C. The finite element method. – Megrow-Hill Book Company (UK) Limited, 1986. – 787 p.

References

1. Vorozhtsov Ye. V. Raznostnyye metody resheniya zadach mekhaniki sploshnykh sred: Ucheb. posobiye. – Izdatel'stvo NGTU – Novosibirsk, 1998. – 86s.
2. DBN V.2.1-10-2009 Osnovi ta fundamenti sporud. M.: Minregionbud Ukraïni, 2009
3. Dubrova G.A. Vzaimodeystviye grunta i sooruzheniy. – M.: Transport, 1963. – 220 s.
4. Klovanich, S. F., Bezushko D.I. Metod konechnykh elementov v nelineynykh raschetakh prostranstvennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy. - Odessa: ONMU, 2009, 93s.
5. Rengach V.N. Shpuntovyye stenki. Raschet i proyektirovaniye. Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu: Leningrad, 1970, 106s.
6. Fadeyev A.B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike. – Nedra. – Moskva, 1987. – 221s.
7. Risk Management Standard. FERMA 2002 [Yelektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmhoYXphcmR2aWV3fGd4OjU1MmZiYTRIYTc5NmM5ZTQ.>
8. Werner S. D. Seismic risk management for seaports / Werner S. D., Rix G. J., DesRoches R. // 4th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China. – 2008. - Rezhim dostupu: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_S30-003.PDF.
9. Zienkiewicz O. C. The finite element method. – Megrow-Hill Book Company (UK) Limited, 1986. – 787 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ШПУНТ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЧАЛЬНЫХ ТОНКИХ СТЕНОК

Безушко Д.И., к.т.н., доцент,

dibezushko@gmail.com ORCID 0000-0003-2215-1136

Одесский национальный морской университет

Арсирый А.Н., к.т.н., доцент,

ORCID 0000-0003-3262-1488

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Коробенко О. В., магистр

Приднестровский государственный университет им. Т. Шевченко, Республика Молдова

Аннотация. Почти 45% причалов в Украине, по конструктивной схеме, относятся к тонким стенкам. Основным несущим элементом является лицевая и анкерная стенки, выполняемые из стального шпунта. В практике проектирования причальных тонких стенок, до настоящего времени широко используются методы, основанные на классической теории давления грунта. При этом сами стенки рассматриваются как вертикальные балки, находятся под влиянием активного и пассивного давления грунта, определяются по формулам Кулона (методы Э. Якоби, Блюма-Ломейера и др.). Однако получаемые при этом усилия в элементах конструкций оказываются завышенными, а конструктивные решения - неэкономичными. В

работе приведен анализ влияния изменения жесткости шпунта на работу всей конструкции. Рассматривается шпунт Ларсен 5, который выпускался различными производителями и выходил в трех модификациях Л 5, Л 5Д, Л 5-УМ. Используется метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе PLAXIS. В расчетной схеме конструкции тонкой стенки представлены основные конструктивные элементы: лицевая и анкерная стенки, анкерные тяги, грунт основания и засыпки.

Согласно полученным результатам, можно сделать вывод, что изменения жесткости шпунта всего влияет на величину изгибающего момента и на деформации. Так с увеличением жесткости с $107 \cdot 10^3$ до $160 \cdot 10^3$ кНм/м момент в лицевой стенке и максимальное перемещение изменяются на 10%.

Ключевые слова: тонкая стенка, больверк, морской порт, причал, метод конечных элементов.

RESEARCH OF INFLUENCE OF GROOVING PLANE RIGIDITY ON STRENGTH-DEFORMED CONDITION OF BERTHS THIN WALLS

Bezushko D.I., Ph.D., Assistant Professor

dibezushko@gmail.com ORCID 0000-0003-2215-1136

Odessa National Maritime University

Arsirii A.M., Ph.D., Assistant Professor,

ORCID: 0000-0003-3262-1488

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Korobenko O.V., master's degree

Bendery Polytechnic Branch of the TSU named after T.G. Shevchenko, Moldova

Abstract. Almost 45% of berths in Ukraine, according to the construction scheme refer to thin walls. The main bearing element is the front and anchor walls, made of steel grooving plane. In the practice of designing berths thin walls, thus far, methods based on classical pressure theory are widely used. The walls themselves are considered as vertical beams, which are under the influence of active and passive soil pressure, determined by the Coulomb formulas (E. Jacobi, Bloom-Lomeyer methods, etc.). However, efforts in structural elements prove to be overstated and constructive decisions are uneconomical. In the work the analysis of influence of grooving plane hardness change on the work of the whole structure is presented. We consider the Larsen 5 grooving plane, manufactured by different manufacturers and came out in three modifications L 5, L 5D, L 5-UM. The finite element method implemented in PLAXIS is used. In the calculation scheme of the thin-wall construction, the main structural elements are represented: front and anchor walls, anchor strands, foundation soil and backfill. When creating a calculation scheme, it is necessary to enter data on the structure and soil conditions, and the lack of initial data or their incompleteness may cause uncertainty, which can lead to errors in the calculations.

The purpose of the study is to determine the magnitude of the influence of changes in the hardness characteristics of the grooving plane L 5, L 5D, L 5-UM on the stress-strain state of thin walls.

To achieve the goal of the study the following tasks were solved:

1. Build a berth calculation scheme in PLAXIS;
2. Perform calculations for three levels of grooving plane rigidity;
3. Perform a comparative analysis of the data obtained with the results of a field experiment, which was performed by Rengach V. N. [5]

According to the results obtained, it can be concluded that changes in the rigidity of grooving plane have the greatest effect on the deformation and magnitude of bending moment. So with increased rigidity from $107 \cdot 10^3$ to $160 \cdot 10^3$ kNm/m moment in the wall and maximum displacement are changed by 10%.

Keywords: thin wall, revetment, seaport, berth, finite elements method.