

УДК 539.3

## МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОРСЬКИХ СТАЦІОНАРНИХ ПЛАТФОРМ НА ПАЛЯХ

С.В. Мицюк<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук,

Р.М. Остапенко<sup>1</sup>,

Д.О. Чернявський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680; e-mail: roma604@bigmir.net*

Проаналізовано вплив вибору розрахункових схем на динамічні показники кригостійких морських стаціонарних платформ. Показано, що врахування піддатливості пальових фундаментів та ґрунтової основи при динамічному розрахунку зі збільшенням глибини встановлення платформ приводить до зміни величин динамічних показників порівняно з «жорсткими» дискретними розрахунковими схемами, що, в свою чергу, впливає на напружено – деформований стан елементів платформ.

**Ключові слова:** морська стаціонарна платформа (МСП), піддатливість пальової основи, дискретні моделі МСП, динамічний розрахунок.

**Вступ.** В розвитку сучасного індустріального суспільства ведучу роль займають паливно-енергетичні ресурси та, в першу чергу, нафта і газ. Вичерпання найбільш доступних та багатих родовищ на суші, труднощі видобутку вуглеводнів у віддалених та неосвоєних районах викликають необхідність освоєння морських родовищ нафти і газу.

Для України пріоритетним завданням у цьому напрямку є освоєння континентального шельфу Чорного та Азовського морів.

Особливістю природно-кліматичних умов Азово-Чорноморського регіону є те, що поряд з незамерзаючими акваторіями присутні і замерзаючі – Азовське море та мілководні затоки у північно – західній частині Чорного моря. У суворі зими товщина крижаного покриву в Каркінітській затоці та Джарилгачській бухті Чорного моря досягає 60 см, у Азовському морі – 40...50 см.

Пошук та розробка нафтогазових родовищ на континентальному шельфі пов'язані з вирішенням складних науково – технічних задач по створенню засобів та методів ведення комплексу робіт по бурінню, видобутку та транспортуванню нафти і газу в морі. Успішне їх вирішення не може бути досягнуто без створення цілого ряду принципово нових технічних засобів, оснащених сучасним обладнанням, а також нових конструктивних форм, пристосованих для виконання робіт на морському шельфі.

Найбільш поширеними технічними засобами являються сталеві морські стаціонарні платформи (МСП), закріплені на морському дні за допомогою палей, які фіксують споруду від зсувних навантажень, викликаних вітром, хвилею, течією та рухом криги. При проектуванні таких споруд найбільш важким та відповідальним завданням є вибір оптимальних параметрів опорних блоків МСП, які повинні мати високу надійність поряд із забезпеченням достатньої реакції споруди на зовнішні навантаження. При цьому необхідно враховувати складність розрахунку напружено – деформованого стану (НДС) несучих конструкцій МСП та його залежність від гео-, гідро- та метеорологічних факторів, а також від різномірних зовнішніх впливів, технології транспортування та монтажу конструкції [1].

**Постановка задачі.** Метою дослідження є визначення впливу ряду важливих факторів на динамічний розрахунок кригостійких МСП. До них відносяться врахування піддатливості пальнової основи, врахування водного середовища при виконанні динамічного розрахунку споруди (приседнана маса водного середовища) та врахування впливу крижаного поля у вигляді додаткових в'язей, що імітують умови контакту споруди з крижаним полем.

Об'єктами дослідження вищеописаних факторів впливу є кригостійка МСП ТП-1 (далі – ТП-1), що встановлена на Східно - Казантипському родовищі в Азовському морі на глибині 12 м, та кригостійка глибоководна МСП (далі – ГМСП) для експлуатації в північних морях (глибина встановлення – 120 м), що перспективно може використовуватись в умовах Чорноморсько – Азовського шельфу.

ТП-1 та ГМСП представляють собою просторові комбіновані дискостержневі системи (рис. 1).

Палі, що закріплюють опорні блоки МСП до ґрунтової основи, виконані з сталевих труб діаметром 1220 мм з товщиною стінки 26 мм із забетонованою внутрішньою порожниною, заглиблені в донний ґрунт на глибину 50 м для ТП-1 та 100 м для ГМСП.

### **1. Дослідження впливу врахування піддатливості пальнової основи при динамічному розрахунку МСП та виконанні модального аналізу.**

Для цього в інформаційному середовищі (ІС) програмно – обчислювального комплексу (ПОК) «StructureCAD 7.31 R4» (SCAD) були розроблені наступні дискретні моделі ТП-1 та ГМСП:

1. Дискретні моделі ТП-1 та ГМСП з врахуванням піддатливості пальнової основи та імітацією дії ґрунту через пружні в'язі (т.з. «піддатливі» моделі, рис. 1);
2. Дискретні моделі ТП-1 та ГМСП без врахування піддатливості пальнової основи (т.з. «жорсткі» моделі).

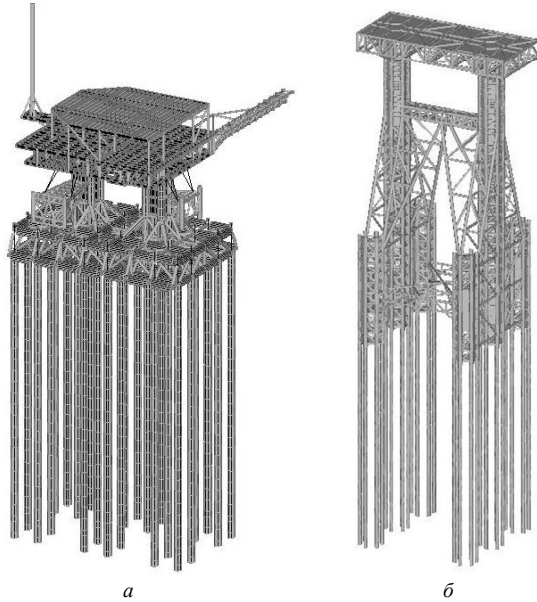


Рис. 1. Дискретні моделі МСП з врахуванням піддатливості пальової основи:  
*a* – модель ТП-1; *б* – модель ГМСП

В «жорстких» моделях палі та ґрунтова основа були відкинуті, а самі платформи були жорстко прикріплені до абсолютно нерухомого диску.

Для моделювання елементів ТП-1 та ГМСП використовувались стандартні просторові стержневі скінчені елементи, а також прямокутні та трикутні скінчені елементи оболонки.

Для піддатливих дискретних моделей взаємодія основи та пальового фундаменту реалізована з використанням скінчених елементів, що моделюють пружний зв'язок між вузлами. Пружна ґрунтова основа під дією зовнішніх навантажень замінювалася системою безрозмірних зосереджених пружно - піддатливих в'язей, що дискретно моделюють опір ґрунту лінійним переміщенням палі і її закручуванню навколо поздовжньої осі. Дані в'язі утворюють спеціальні безрозмірні пружно - піддатливі опорні елементи, які з'єднують вузли стержневої скінченноелементної моделі палі з нерухомим абсолютно твердим опорним диском. Обчислення відповідних жорсткісних параметрів даних в'язей проводилось на основі геометричних параметрів ділянок, на які розбивалася паля, та визначених на основі польових та лабораторних випробувань ґрунту пружних параметрів ділянок  $k_t$  і  $k_n$ , що

характеризують пружний опір ґрунту зсувним переміщенням вздовж і навколо поздовжньої осі та переміщенням вздовж поперечних осей палі відповідно. Умови розбиття тіла палі на ділянки диктувалися шаруватою неоднорідною структурою реального масиву ґрунту, а також потребою забезпечення практичної точності дискретного моделювання пальового фундаменту моделей [3].

## **2. Дослідження впливу врахування приєднаної маси водного середовища у вигляді додаткових розподілених вузлових мас.**

Врахування даного фактору є досить важливим при розрахунку МСП на динамічні навантаження, зокрема, на сейсмічні впливи, коли виникають сумісні коливання споруди з водним середовищем. Розрахунок системи «споруда – водне середовище» є задачею гідропружності. Вона може вирішуватися при достатньо загальних положеннях про характер руху МСП та водного середовища, але в загальному випадку такі рішення пов'язані зі значними математичними труднощами і тому в практичних розрахунках використовуються досить рідко. Та все ж при розгляді таких задач найбільш часто мають місце наступні вихідні припущення:

- коливання системи «споруда – водне середовище» передбачаються малими, через що рівняння коливань конструкції та механіки рідини можливо лінеаризувати;
- рідина вважається ідеальною, часто – нестискаємою;
- при визначенні приєднаних мас водного середовища поверхневі хвилі не враховуються;
- допускається при розрахунку системи «споруда – водне середовище» врахування піддатливості основи.

Визначення приєднаної маси водного середовища проводилось шляхом додавання до маси конструкції приєднаної маси рідини  $\bar{M}$ , що входить до маси рідини  $M_0$ , витісненої зануреною частиною конструкції:

$$\bar{M} = \xi \cdot M_0 \quad [4].$$

Оскільки при динамічному розрахунку даних дискретних моделей ТП-1 і ГМСП розглядаються коливання пакетів стержнів, визначення коефіцієнту  $\xi$  проводилось за графіком  $\xi = f(d/t)$  (рис. 2).

Згідно проекту відомчих будівельних норм [2], при розрахунку МСП на динамічні навантаження, зокрема сейсмічні впливи, необхідно враховувати дію крижаного поля в зимовий період у вигляді додаткових в'язей, що імітують умови контакту споруди з крижаним полем. Для реалізації даної умови в дискретних розрахункових моделях ТП-1 та ГМСП було додатково встановлено на рівні дії криги по периметру колон

опорні жорсткі в'язі, що стримують переміщення вузлів в двох ортогональних напрямках в горизонтальній площині.

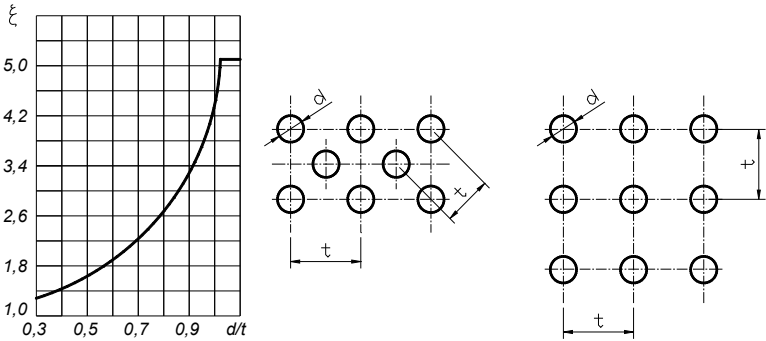


Рис. 2. Коефіцієнт  $\xi$  для визначення приєднаної маси рідини при коливанні пакетів стержнів

В результаті проведення модального аналізу дискретних моделей ТП-1 та ГМСП отримані значення періодів перших 10 власних форм коливань (табл. 1).

Таблиця 1

Значення періодів ( $T, c$ ) перших десяти власних форм коливань дискретних моделей ТП-1 та ГМСП

№ форми	"Жорсткі" дискретні моделі			"Піддатливі" дискретні моделі		
	Без приєднаної маси води	З приєднаною масою води		Без приєднаної маси води	З приєднаною масою води	
		-	З додатковими в'язями від криги		-	З додатковими в'язями від криги
<b>ТП-1</b>						
1	0,890	0,890	0,885	0,893	0,894	0,884
2	0,812	0,812	0,812	0,813	0,813	0,812
3	0,662	0,696	0,658	0,718	0,725	0,658
4	0,459	0,459	0,429	0,492	0,538	0,429
5	0,317	0,317	0,279	0,436	0,536	0,279
6	0,291	0,291	0,270	0,382	0,473	0,270
7	0,270	0,270	0,220	0,340	0,424	0,262
8	0,226	0,226	0,219	0,271	0,302	0,220
9	0,182	0,183	0,181	0,269	0,274	0,219

10	0,177	0,177	0,173	0,230	0,270	0,181
<b>ГМСП</b>						
1	2,659	2,907	1,160	2,893	3,768	1,453
2	2,351	2,792	0,985	2,808	3,274	1,425
3	2,025	2,203	0,928	2,194	2,646	1,258
4	0,682	1,267	0,916	0,931	1,793	1,252
5	0,638	1,114	0,915	0,801	1,550	1,240
6	0,582	1,076	0,896	0,757	1,427	1,160
7	0,547	0,950	0,868	0,652	1,324	1,109
8	0,460	0,945	0,813	0,555	1,303	0,943
9	0,450	0,885	0,793	0,540	1,135	0,917
10	0,436	0,838	0,779	0,506	1,021	0,866

### **Висновки**

Результати виконання модального аналізу дискретних моделей ТП-1 та ГМСП свідчать про те, що вплив факторів (врахування піддатливості пальової основи, опору водного середовища при виконанні динамічного розрахунку споруди та дії крижаного поля, що моделюється у вигляді додаткових в'язей, які імітують умови контакту споруди з крижаним полем) на динамічні показники  $i$ , відповідно, на НДС елементів конструкції змінюється при різних глибинах встановлення МСП. Так, при невеликих глибинах (на прикладі ТП-1) в «жорстких» дискретних моделях врахування приєднаної маси водного середовища та в'язей від криги практично не впливає на значення динамічних показників. В «піддатливих» дискретних моделях ТП-1 врахування приєднаної маси водного середовища та в'язей від криги викликало досить відчутну зміну динамічних показників.

При значних глибинах встановлення МСП (на прикладі ГМСП) врахування приєднаної маси водного середовища дає вагомий приріст значень динамічних показників як для «жорстких», так і для «піддатливих» дискретних моделей ГМСП. Також значно змінюються динамічні показники при встановленні додаткових в'язей від крижаного поля.

Отже, дослідження впливу вищеписаних факторів при динамічному розрахунку дискретних моделей кригостійких МСП свідчать про необхідність їх врахування, оскільки є очевидним вплив даних факторів на динамічні показники споруди, що, в свою чергу, викликає зміну НДС елементів МСП.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бирбраер А.Н.* Расчет конструкций на сейсмостойкость – СПб.: Наука, - 1988. – 255с.
2. Ведомственные Строительные Нормы Украины В.2.4-320.20077720 - 2000 Морские стационарные платформы. Проектирование, строительство, эксплуатация. - К.: НАК «Нефтегаз Украины», 2000. – 96с.
3. *Носова Л.А.* Оптимальные геометрические схемы опорных блоков морских стационарных платформ: Дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Киевский инженерно-строительный университет. – К., - 1993. – 179 л. – л. 4-6.
4. *Свешников О.Г.* Побудова моделей для розв'язку статичних і динамічних задач морських платформ на палях // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2001. – Вип. 69. – С. 86-201.

## REFERENCES

1. *Birbraer A.N.* Raschet konstruktsiy na seysmostoykost – SPb.: Nauka, - 1988. – 255s.
2. *Vedomstvennyye Stroitelnyye Normy Ukrainy V.2.4-320.20077720* - 2000 *Morskie stacionarnyye platformy*. Proektirovanie, stroitelstvo, ekspluatatsiya. – K.: NAK «Neftegaz Ukrainyi», 2000. – 96s.
3. *Nosova L.A.* Optimalnyye geometricheskie shemy opornykh blokov morskikh statsyonarnykh platform: Dyis. kand. tehn. nayk: 05.23.01 / Kievskiy ingenerno-stroitelnyiy universitet. – K., - 1993. – 179 l. – l. 4-6.
4. *Sveshnikov O.G.* Pobudova modeley dlia rozv'язku statyichnykh i dynamichnykh zadach morskyykh platform na paliah // *Opir materialiv i teoriia sporud: nauk.-tekh. zbirn.* – K.: KNUBA, 2001. – Vyip. 69. – S. 86-91.

*Myitsuk S.V., Ostapenko R.M., Cherniavskiy D.O.*

**MODAL ANALYSIS OF SEA STATIONARY PLATFORMS ON PILES**

The influence of the calculation schemes choice on dynamic parameters and stress-strained state of bearing structures of ice-breaking marine stationary platforms and their dependence on geo-hydrological and meteorological factors, external influences, technology of transportation and structure installation are analyzed. The most difficult and responsible problem when designing such structures is to select the optimal parameters of the support units of the marine stationary platform, which must have high reliability along with providing of sufficient reaction of the structure to external loads.

To study the effect of taking into account the compliance of the pile foundation, the aqueous medium and the ice field, a comparison of the modal analysis results of two types of calculation schemes was made. In the first type of scheme, the piles and the ground base were discarded, and the platform itself was rigidly attached to a completely stationary disk (scheme 1). The interaction between the base and the pile foundation was taken into account for the next type of scheme (scheme 2). Standard spatial and rod finite elements, as well as rectangular and triangular finite element elements, were used for the both type of schemes. For the scheme 2, the interaction of the base and the pile foundation is realized using finite elements that simulate the elastic interaction between the nodes. The elastic soil foundation under the influence of external loads was replaced by a system of dimensionless concentrated elastic-compliant joint that discretely simulates the resistance of the soil by linear displacements of the pile and its twist around the longitudinal axis.

The results of modal analysis show that the effect of taking into account of the compliance of pile foundations and soil foundation in a dynamic calculation increases with increasing of installation depth of platforms and leads to a change of the dynamic parameters values in compliance with "rigid" calculation scheme, which in its turn, affects on the stress-strained state of the platform elements.

**Keywords:** sea stationary platform (SSP), yielding of the pile foundation, discrete models of SSP, dynamic calculation.

*Мыщук С.В., Остапенко Р.М., Чернявский Д.О.*

#### **МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ НА СВАЯХ**

Проанализировано влияние расчетных схем на динамические показатели ледостойких морских стационарных платформ. Важно, что учет податливости свайных фундаментов и грунтового основания при динамическом расчете с увеличением глубины установки платформ приводит к изменению значений динамических показателей в сравнении с «жесткими» дискретными расчетными схемами, что влияет на напряженно – деформированное состояние элементов платформ.

**Ключевые слова:** морская стационарная платформа (МСП), податливость свайной основы, дискретные модели МСП, динамический расчет.

УДК 539.3

*Мыщук С.В., Остапенко Р.М., Чернявський Д.О.*

**Модальний аналіз морських стаціонарних платформ на налях** // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2016. – Вип. 97. – С. 202-209.

В роботі проаналізовано вплив розрахункових схем на динамічні показники кригостійких морських стаціонарних платформ.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр. 3 назв.

UDC 539.3

*Myitsuk S.V., Ostapenko R.M., Cherniavskiy D.O.*

**Modal analysis of sea stationary platforms on piles** // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2016. – Issue 97. – P. 202-209.

This paper describes the influence of design models on dynamic parameters of sleetproof sea stationary platforms is analysed.

Table 1. Fig. 2. Ref. 3.

УДК 539.3

*Мыщук С.В., Остапенко Р.М., Чернявський Д.О.*

**Модальний аналіз морських стаціонарних платформ на сваях** // Спротивлення матеріалів і теорія споруд. – 2016. – Вип. 97. – С. 202-209.

В роботі проаналізовано вплив розрахункових схем на динамічні показники ледостойких морських стационарных платформ.

Табл. 1. Рис. 2. Библиогр. 3 назв.



**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки КНУБА МИЦІЮК Сергій Вікторович.

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра будівельної механіки, Мицюку Сергію Вікторовичу.

**Адреса домашня:** Україна, м. Київ, просп. Лобановського, 10, кв. 301/2.

**Роб. тел.** +38(044) 241-5549;

**мобільний тел.:** +38(096) 9317442;

**E-mail** – [serewka@inbox.ru](mailto:serewka@inbox.ru)

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** асистент кафедри будівельної механіки КНУБА ОСТАПЕНКО Роман Миколайович.

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра будівельної механіки, Остапенку Роману Миколайовичу.

**Адреса домашня:** Україна, м. Київ, вул. М.Кривоноса, 4, кв. 824.

**Роб. тел.** +38(044) 241-5549;

**мобільний тел.:** +38(063) 3224182;

**E-mail** – [ostapenkor@bigmir.net](mailto:ostapenkor@bigmir.net)

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** студент КНУБА ЧЕРНЯВСЬКИЙ Дмитро Олегович.

**мобільний тел.:** +38(095) 0101120;

**E-mail** – [cherndm@ukr.net](mailto:cherndm@ukr.net)