

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АКТИВНОГО ПРОТИЛЬОДОВОГО ЗАХИСТУ НАФТОГАЗОВИХ МОРСЬКИХ СТАЦІОНАРНИХ ПЛАТФОРМ

¹О.В.Хотиянська, ²С.О.Овецький

¹ Національна академія природоохоронного і курортного будівництва,
95006, м. Сімферополь, вул. Павленка, 5, e-mail: 0000037@mail.ru

² ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: gbg@pung.edu.ua

Розглянуто можливості дослідження ефективності конструкцій морських стаціонарних платформ, стійких до льодових навантажень Азовського моря. Встановлено, що основою таких досліджень можуть стати математичне моделювання методом скінчених елементів та моделювання льодових навантажень поляризаційно-оптичним методом. Методом випадкового балансу отримано основні, визначальні для ефективності руйнування льоду, характеристики даної конструкції морської стаціонарної платформи.

Ключові слова: морський лід, метод кінцевих елементів, льодоламні пристрої

Рассмотрены возможности исследования эффективности конструкций морских стационарных платформ, стойких к ледовым нагрузкам Азовского моря. Установлено, что основой таких исследований могут стать математическое моделирование методом конечных элементов и моделирование ледовых нагрузок поляризационно-оптическим методом. Методом случайного баланса получены основные определяющие для эффективности разрушения льда характеристики данной конструкции морской стационарной платформы.

Ключевые слова: морской лед, метод конечных элементов, ледакольные устройства

The capabilities of investigation of efficiency of constructions of marine stationary gantries, proof to the ice duties of sea of Azov are considered. It is set that can become the base of such investigations mathematical imitation by the method of eventual components and imitation of ice duties by a polarization-optical method. The method of casual balance is get the basal delineating for efficiency breaks of ice of attribute of this construction of marine stationary gantry.

Keywords: marine ice, method of eventual components, ice-broken attachments

У зв'язку з виснаженням нафтогазових родовищ суходолу України останнім часом особливо увагу галузі зосереджено на морських родовищах нафти і газу. Розробка нафтових і газових родовищ в морських районах, що покриваються в зимовий період льодом, є складним інженерним завданням [1]. Розглядаючи морські стаціонарні платформи (МСП), в першу чергу необхідно оцінити міцність і стійкість споруди, особливо під час льодової дії того, що є найбільш несприятливим зовнішнім чинником.

Крім того, актуальне вдосконалення конструктивної форми льодостійких морських стаціонарних платформ стосується також застосування так званого активного захисту – руйнування льодових полів, які можуть пошкодити споруду. Проектування льодостійкої морської стаціонарної платформи полягає в розроблянні конструктивної схеми споруди, що дасть змогу понизити негативну дію льоду. Іноді цього досягають шляхом створення конусної конструктивної форми, стійкої в зоні контакту з льодом морської стаціонарної платформи. При цьому лід руйнується під дією власної ваги.

Дослідженням захисту морських стаціонарних платформ займалися як вітчизняні, так і зарубіжні дослідники [1, 2, 3, 4]. Наведені конструкції льодового захисту виконувалися зі сталі [2, 3] і відрізнялися низькою надійністю через зменшену довговічність, або залізобетону

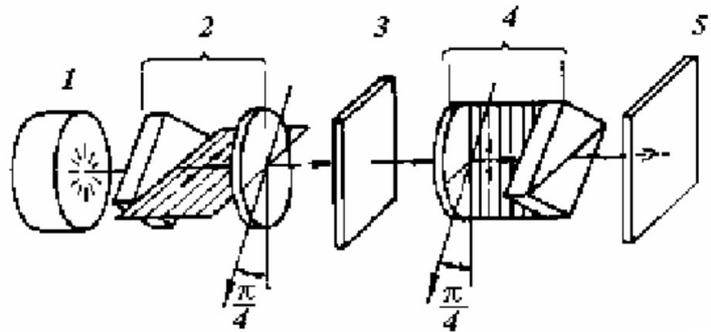
[3, 4], що мають високу матеріалоемність і складні у виготовленні.

Розроблена конструкція [5] складається зі сталеної оболонки, заповненої бетоном, закріпленої на опорних колонах МСП. При цьому вона має форму двобічного конуса, що сприятиме руйнуванню морського льоду за умов різної зміни рівня води та різної густини самого льоду та підвищить загальну міцність конструкції.

Розглянемо критерії оцінки льодоламних пристроїв морських стаціонарних платформ. На даний час вони розроблені тільки для систем пасивного захисту МСП [6], тому визначимо їх для льодоруйнуючих систем.

В даному випадку до функціональних критеріїв можуть бути віднесені: показники, що характеризують ефективність руйнування морського льоду (максимальна товщина руйнованого льоду, швидкість досягнення стану крихкого руйнування льоду, максимально можливі навантаження на пристрій); показники надійності льодоламної конструкції (довговічність, ремонтпридатність, стійкість до руйнування).

До технологічних критеріїв можуть бути віднесені показники трудомісткості виготовлення та експлуатації МСП у морі і технологічних можливостей в процесі експлуатації; до економічних – вартість відновлення всіх властивостей надійності під час роботи, особливо основних елементів МСП. Екстремальні умови



1 – короб з матовим склом і лампами; 2 – поляризатор; 3 – модель; 4 – аналізатор; 5 – екран

Рисунок 1 – Поляризаційна установка

роботи елементів сучасних конструкцій, складність їх форми і великі габарити роблять виключно важкими і дорогими здійснення натурального та напівнатурного експерименту, особливо якщо йдеться про встановлення граничних (руйнуючих) навантажень. Створення конструкцій такого типу неможливе без удосконалення і автоматизації процесу проектування, застосування нових матеріалів і технологій. Необхідність впровадження у виробництво складних конструкцій у короткі терміни вимагає створення систем автоматизованого проектування. Важливу роль в цих системах відіграє розрахунок на міцність.

У основі будь-якого розрахунку на міцність лежить розрахункова схема, що включає імітацію конструкції і навантаження, що діють на неї (механічні і температурні). Надалі, залежно від кінцевої мети розрахунку, використовуючи ті або інші моделі матеріалу конструкції, визначаються напруження і деформації елементів конструкції. Моделюванням на основі аналізу поля напружень встановлюється найбільш небезпечний перетин, при цьому використовуються ті або інші гіпотези міцності, залежно від властивостей матеріалу і умов роботи конструкції.

Природно, що при створенні розрахункової схеми складної конструкції вдаються до деякої ідеалізації її форми, при цьому ступінь цієї ідеалізації впливає на достовірність результатів розрахунку. Теорії пружності і пластичності, теорія пластин і оболонок та інші аналітичні теорії вирішують велику кількість технічних і архітектурних завдань, пов'язаних з дослідженням напружено-деформованого стану твердих тіл. Проте, багато практичних важливих технічних завдань не можуть бути вирішені аналітично унаслідок складності геометрії конструкції та граничних умов. Так, наприклад, конструкції з простою геометрією можуть бути вирішені аналітично для набуття значень внутрішнього напруження, зміщень, частот власних коливань.

Завдання з складною геометрією (наприклад, гребний гвинт бурового судна) зазвичай вирішуються чисельними методами, до яких відноситься, зокрема, і метод кінцевих елементів, який повинен також підтвердити дослідження поляризаційно-оптичним методом [5].

Поляризаційно-оптичний (або просто оптичний) метод моделювання дає змогу визначити розподіл і значення напружень в льодових масивах при пружних і пластичних деформаціях у умовах, коли деформації відбуваються без розриву суцільності. Метод ґрунтується на явищі оптичної анізотропії, котре призводить до подвійного заломлення променів у момент (після) прикладення механічного навантаження. Така анізотропія характерна для ряду прозорих матеріалів (різних видів скла, бакеліту, целулоїду, затверділим епоксидним смолам тощо).

Властивість подвійного заломлення світла в таких матеріалах, які ще називають оптично чутливими, виникає у момент їх деформування під навантаженням і зникає після зняття останнього. Цю властивість виявив відомий англійський фізик Д. Брюстер в 1816 році, що і відкрило можливість для моделювання методом фотопружності. Основним приладом для вивчення напружень у моделях із оптично чутливих матеріалів є полярископ (рис. 1).

Промінь світла від джерела 1, проходить крізь поляроїд 2, який називають поляризатором, і плоско поляризується. Поляризоване світло, пройшовши далі крізь напружену модель 3, заломлюється вдруге. Це заломлення різне в різних точках моделі, і залежить від значень та напрямку головних напружень в цих точках.

Далі обидва промені, що утворилися в розглядуваній точці моделі внаслідок подвійного заломлення, проходять крізь поляроїд 4, який називають аналізатором, приводячись при цьому в одну площину.

Після проходження крізь аналізатор відбувається інтерференція плоско поляризованих

променів за певної оптичної різниці ходу, котра пропорційна різниці головних напружень у відповідній точці моделі.

Залежність оптичної різниці ходу і різниці головних напружень у розглядуваній точці моделі має вигляд:

$$\Gamma = C \cdot d(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (1)$$

де: Γ – оптична різниця ходу, м;

C – константа, яку називають оптичним коефіцієнтом напруження, $\text{м}^2/\text{Н}$;

d – товщина моделі, м;

σ_1 і σ_2 – головні нормальні напруження, Па.

Якщо джерело 1 випромінює біле світло, то після проходження променів крізь поляризатор, модель і аналізатор на екрані 5 отримують зображення, забарвлене у різні кольори спектра. При цьому кожна кольорова смуга є геометричним місцем точок з однакою оптичною різницею ходу Γ і, відповідно, з однакою різницею головних напружень $\sigma_1 - \sigma_2$. Піврізниця головних нормальних напружень, як відомо, є максимальним дотичним напруженням:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (2)$$

Таким чином, кольорові смуги на екрані полярископа є лініями рівних дотичних напружень досліджуваної моделі. Ці лінії називають ізохромами.

Картину ізохром можна візуально спостерігати, стоячи перед аналізатором. В деяких точках досліджуваної моделі площа коливання променя співпадає з напрямом якогось головного нормального напруження. В таких точках подвійного заломлення променя не відбувається. Якщо площини поляризатора і аналізатора взаємноперпендикулярні, тобто якщо вони схрещені, то промені у вказаних вище точках моделі крізь аналізатор не проходять. В результаті на екрані з'являються чорні криві лінії, які перетинають кольорову картину ізохром. Ці лінії є геометричним місцем точок, в яких напрями головних нормальних напружень σ_1 і σ_2 паралельні. Такі лінії називають ізоклінами.

Суть випробувань полягає в тому, щоб відобразити та розпізнати лінії і картину розподілу напружень у разі втискування в модель інденторів різної форми. Форма індентора повинна відповідати формі льодоламної конструкції. Оптимальним буде вважатися форма льодоламної структури, концентрація навантаження на «льодове поле» в якій буде максимальною, що максимально сприятиме руйнуванню льоду. Для перевірки отриманих даних слід застосувати чисельне дослідження міцності конструкцій, яке вклучає наступні основні етапи: побудова фізичної моделі, побудова математичної моделі, метод дослідження математичної моделі і аналіз отриманих результатів. Побудова фізичної моделі вклучає ідеалізацію властивостей конструкції і зовнішніх дій. Для опису льодового поля реальне тверде тіло замінюється уявним (модельним) суцільним середовищем. Прийmemo, що середовище називається суціль-

ним, якщо будь-який об'єм, виділений з неї, містить речовину. Таке уявлення про льодове поле протирічить уявленню про атомну будову речовини, проте воно надзвичайно спрощує математичний опис поведінки твердих тіл під дією прикладеного навантаження.

Ще однією ідеалізацією реального твердого тіла є надання йому властивостей однорідності (механічні властивості виділених з нього малих об'ємів однакові). У міцнісних завданнях, де визначаються поля переміщень, деформацій і напруження, мінімізується потенційна енергія деформованого тіла (у нашому випадку – руйнуючого конуса). Для льодового поля формується зворотна задача. Апроксимуючі функції найчастіше вибираються у вигляді лінійних, квадратичних або кубічних поліномів. Для кожного елемента можна підбирати свій поліном, але поліноми підбираються так, щоб зберегти безперервність величини уздовж меж елемента.

Таким чином, при використанні методу скінчених елементів розв'язання крайової задачі для заданої області шукається у вигляді набору функцій, визначених на деяких підобластях (кінцевих елементах). Згідно методу скінчених елементів, модель конструкції складної форми поділяється на дрібніші частини (скінчені елементи) порівняно простої форми, в межах яких шукається наближене рішення. Результатом такого моделювання, звичайно, є поле напружень і зсувів в цілій конструкції.

Попередні дослідження здійснювалися за поляризаційно-оптичним методом з підтвердженням отриманих даних методом скінчених елементів. Однак для визначення функціональних критеріїв оптимізації конструкції льодоламних пристроїв, які виступають у даному випадку критеріями оптимізації, необхідно виділити чинники, які суттєво на них впливають.

Метод випадкового балансу вибрано з інших можливих методів відсіюючого експеримента (наприклад, метод рангової кореляції), оскільки він є найбільш точним і дає змогу використовувати результати попередніх дослідів, а не літературні дані і оцінки експертів.

Метод заснований на тому, що якщо всі досліджувані чинники, які є незалежними дослідними елементами, і які впливають на об'єкт дослідження, розташувати у порядку спадання внесеного їх вкладу в дисперсію параметра оптимізації, тоді отримаємо ранжований ряд зі спаданням експоненційного вигляду. За результатами відносно невеликої кількості дослідів ранжований ряд можна відтворити і за допомогою регресійного аналізу оцінити найбільш значимі ефекти чинників, які виділились на "шумовому полі". Оцінку впливу чинників на інтенсивність руйнування льодових полів, назви незалежних змінних і їх рівні подано у табл. 1. Для побудови матриці випадкового балансу застосовували матрицю повного факторного експерименту типу 23. Перші три стовпчика (чинники X_1 , X_2 , X_3) були побудовані за звичайним планом. Вони склали піврепліку типу 23-1. Фактори X_4 і X_5 утворили другу пів-

Таблиця 1 – Чинники, що визначають інтенсивність руйнування льдових полів

Чинники	Розмірність	Позначення		Рівні чинників		
		натуральне	кодове	кодові		
				+0	1	-1
				натуральні		
1. Навантаження	кН	P	X ₁	800	1400	200
2. Конусність елемента споруди	град.	-	X ₂	45	60	30
3. Зовнішній діаметр льодоламного пристрою	м	D	X ₃	1,5	1,6	1,4
4. Водоцементне співвідношення бетонного розчину	-	В/Ц	X ₄	0,65	0,70	0,60
5. Тип поверхневої обробки сталі	-	-	X ₅	1	2	3

Таблиця 2 – Матриця планування випадкового балансу

№ досліду	Рівні чинників, їх значення					Параметр оптимізації. Інтенсивність руйнування льоду			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Значення поточних дослідів			Середнє
	P	-	D	В/Ц	-	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _c
1	+1400	+60	+1,5	-0,6	-3	11,1	10,2	10,1	10,47
2	+1400	+60	-1,5	-0,6	+3	18,4	17,3	16,7	17,47
3	+1400	-30	+1,5	+0,7	+3	9,5	11,2	10,8	10,5
4	+1400	-30	-1,5	+0,7	-1	20	19,4	18,2	19,2
5	-200	+60	+1,5	+0,7	-1	5,1	7,3	6,7	6,37
6	-200	+60	-1,5	+0,7	+3	7	8,2	9,7	8,3
7	-200	-30	+1,5	-0,6	+3	6,9	5,8	6,8	6,5
8	-200	-30	-1,5	-0,6	-1	7,2	8,4	9,3	8,3

Таблиця 3 – Визначення ступеня впливу чинників на параметр оптимізації

Чинники		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Значення медіан параметра оптимізації для різних рівнів	верхній +	14,41	10,6525	8,46	11,0925	10,6925
	нижній -	7,3675	11,125	13,3175	10,685	11,085
Різниця значення медіан		+7,0425	-0,4725	-4,8575	+0,4075	-0,3925

Таблиця 4 – Додаткове ранжування чинників

Чинники	+X ₁	-X ₁
+X ₃	Σy1=20,97 yc1= 10,485	Σy2=12,87 yc2=6,435
-X ₃	Σy3=36,67 yc3= 18,335	Σy4=16,6 yc4=8,3

репліку за генеруючих співвідношень: X₄=(-X₁X₂), X₅=(-X₂X₃).

Матриця планування і результати експерименту представлені в табл. 2.

Для попереднього аналізу значимості впливу окремих чинників на параметр оптимізації – інтенсивність руйнування – розглянемо ще одну таблицю (табл. 3), в якій показані значимі лінійні ефекти через значення медіан для кожного чинника окремо по верхньому і нижньому їх рівнях.

Попередня послідовність чинників за значущістю їх впливу на параметр оптимізації, яка визначалася за величиною різниці значень медіан для різних рівнів, виявилася такою: X₁, X₃, X₂, X₄, X₅. Таким чином, попередньо встановлено, що зовнішній діаметр льодоруйнуючого

пристрою (X₃) має більший вплив на інтенсивність руйнування ніж його конусність (X₂). Оскільки чинники X₁ і X₃ мають однаковий порядок, слід провести додаткове ранжування чинників і їх взаємодії за кількісною оцінкою за допомогою таблиці 4 з двома входами.

Звідси отримаємо ефекти чинників:

$$b_1 = \frac{y_{c1} + y_{c3}}{2} - \frac{y_{c2} + y_{c4}}{2};$$

$$b_3 = \frac{y_{c1} + y_{c2}}{2} - \frac{y_{c3} + y_{c4}}{2}; \quad (3)$$

$$b_1 = 7,0425; \quad b_3 = -4,8575.$$

Для оцінки значень ефектів чинників визначали їх значимість за t-критерієм, який розраховували за формулою:

Таблиця 5 – Розрахунок t-критерію

Номер клітинки таблиці	n_i	$\sum \bar{y}_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	s^2	$\frac{s^2}{n_i}$
1	2	20,97	439,741	219,8709	0,0004	0,0002
2	2	12,87	165,637	82,8269	0,0084	0,0042
3	2	36,67	1344,689	673,8409	1,4964	0,7482
4	2	16,6	275,56	137,78	0	0

Таблиця 6 – Відкореговані значення параметра оптимізації

№ досліду	Рівні чинників, їх знаки					Перерахований параметр оптимізації
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
	P	-	D	В/Ц	-	
1	+ 1400	+ 60	+ 1,6	- 0,6	-1	8,285
2	+ 1400	+ 60	-1,4	- 0,6	+ 3	10,4275
3	+ 1400	30	+ 1,6	+ 0,7	+ 3	8,315
4	+ 1400	30	-1,4	+ 0,7	1	12,1575
5	- 200	+ 60	+ 1,6	+ 0,7	1	11,2275
6	- 200	+ 60	-1,4	+ 0,7	+ 3	8,3
7	- 200	- 30	+ 1,6	- 0,6	+ 3	11,3575
8	- 200	- 30	-1,4	- 0,6	- 3	8,3

$$t = \frac{(y_1 + y_3 + \dots + y_n) - (y_2 + y_4 + \dots + y_{n+1})}{s \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (4)$$

де t – середня квадратична помилка, яка характеризує розсіювання відносно середніх значень y_c в клітинках табл. 2.4, в даному випадку з двома входами (статистичне розсіювання):

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_{ci}^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (5)$$

де n_i – кількість дослідів в табл. 5 з двома входами.

Для розрахунку t-критерія використовували табл. 5, враховуючи формулу (5).

Отримаємо $\Sigma=0,7526$.

Далі розрахуємо t-критерії для чинників X_1 і X_3 , за формулою (4):

$$t_{x1} = \frac{(10,485 + 18,335) - (6,435 + 8,3)}{\sqrt{0,7526}} = 16,2358;$$

$$t_{x3} = \frac{(10,485 + 6,435) - (18,335 + 8,3)}{\sqrt{0,7526}} = -11,1985.$$

При 5%-вому рівні значимості і кількості ступенів свободи $f = \Delta n_i - k = 8 - 4 = 4$, де k – кількість клітинок у табл. 6, табличне значення t-критерію дорівнює 2,776. Оскільки, $t_{розр} > t_{табл}$ можна вважати ефект чинника X_1 статистично значимим. Незважаючи на дещо менший вплив на параметр оптимізації, чинник X_3 також є статистично значимим.

Після оцінки ефектів чинників X_1 і X_3 проведемо корегування результатів дослідів для чіткішого виділення нижчих чинників і їх парних взаємодій. Для зняття дії виділених ефектів чинників X_1 і X_3 за всіма результатами на рівні

+ X_1 додаємо -7,0425, а на рівні X_3 додаємо +4,8575.

Результати перерахунку значень параметра оптимізації подано у табл. 6.

Для скорегованих результатів визначимо значення медіан чинників для параметра оптимізації (табл. 7).

Для оцінки виділених ефектів будемо допоміжну табл. 8.

Таким чином, оцінка ефектів корегованих значень чинників X_1 і X_3 за t-критерієм свідчить, що вони є статистично незначимі, а це, в свою чергу, дає можливість оцінити інші чинники. За аналогічною методикою виділимо ефекти від чинників X_3 , X_4 , X_5 , а потім ефекти їх парних взаємодій (табл. 9).

В табл. 9 подано величини ефектів чинників і їх парних взаємодій з врахуванням знаків та їх ранжирування за значимістю і t-критерієм.

Величини значень виділених ефектів для решти подвійних взаємодій виявилися статистично незначимі.

Таким чином, визначено, що основними чинниками, які впливають на інтенсивність руйнування льодових полів під час випробувань на полярископі є навантаження (при його збільшенні збільшується інтенсивність руйнування) і зовнішній діаметр льодоруйнуючого пристрою. Конусність льодоруйнуючого елемента займає досить суттєве значення, а вододцентне співвідношення і тип сталі, незважаючи на твердження деяких дослідників [7], на його льодоламні властивості (за високих контактних напружень) порівняно з вищенаведеними чинниками, суттєвого впливу не мають. Більшість парних взаємодій чинників виявилися статистично незначимі і враховані не будуть (табл. 9).

Таблиця 7 – Медіани для оптимізації

Чинники		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Значення медіан для оптимізації	верхній +	9,7962	9,56	9,79625	10	9,6
	нижній -	9,79625	10,0325	9,79625	9,5925	9,9925
Різниця значення медіан		0	-0,4725	0	+0,4075	-0,3925

Таблиця 8 – Додаткове ранжування чинників після корегування

Чинники	+X ₁	-X ₁
+X ₃	Σy ₁ =16,6 y _{c1} =8,3	Σy ₂ =22,585 y _{c2} =11,2925
-X ₃	Σy ₃ =22,585 y _{c3} =11,2925	Σy ₄ =16,6 y _{c2} =8,3

Таблиця 9 – Визначення величини ефекту чинників

№ чинника в ранжованому ряді	Позначення чинника	t-критерій		Рівень значимості	Величина ефекту	Знак ефекту
		табличний	розрахунковий			
1	2	3	4	5	6	7
1	X ₁	2,776	16,2358	0,05	7,0425	+
2	X ₃	2,776	11,1985	0,05	4,8575	-
3	X ₁ X ₃	0,741	0,58938	0,5	2,9925	-
4	X ₄ X ₅	0,741	0,58922	0,5	2,9925	+
5	X ₂	0,741	0,07613	0,5	0,4726	-
6	X ₃ X ₅	0,741	0,093035	0,5	0,4725	+
7	X ₁ X ₄	0,741	0,079934	0,5	0,4725	-
8	X ₃ X ₄	0,741	0,07801	0,5	0,4575	-
9	X ₁ X ₅	0,741	0,0774	0,5	0,4575	-
10	X ₁ X ₂	0,741	0,08026	0,5	0,4075	-
11	X ₄	0,741	0,065618	0,5	0,40735	+
12	X ₅	0,741	0,06614	0,5	0,3925	-
13	X ₂ X ₃	0,741	0,064967	0,5	0,392475	+

У статті розроблено методику дослідження ефективності льодозахисних пристроїв активного типу морських стаціонарних платформ, яка включає поляризаційно-оптичний метод та метод скінчених елементів. Визначено також параметри оптимізації ефективності конструкцій даного типу та розраховано основні визначальні чинники даної оптимізації

Література

1 Хотнянская Е.В. Работа трубобетонных опорных стоек стальных стационарных платформ при ледовом воздействии [Текст] / Елена Хотнянская // Строительство и техногенная безопасность: сборник научных трудов. – Симферополь, НАПКС, 2004. – № 10. – С. 39-41.

2 Пронкин А.П. Морские буровые моноопорные основания. Теоретические основы проектирования и эксплуатации [Текст] / А.П.Пронкин, И.С.Хворостовский, С.С.Хворостовский; под ред. Хворостовского С.С. – М.: 000 "Недра-Бизнесцентр", 2002. – 303 с.: ил. – ISBN 5-8365-0106-8.

3 Вяхирев Р.И. Обустройство и освоение морских нефтегазовых месторождений [Текст] / Р.И. Вяхирев, Б.А. Никитин, Д.А. Мирзоев. – М.: Академия горных наук, 1999. – 373 с. – ISBN 5-7892-0032-X.

4 Gerwick Ben C. Jr. Construction of Marine and Offshore Structures [Text]: Third Edition / Ben C. Jr. Gerwick. – CRC, 2007. – 840 p. – ISBN 0849330521.

5 Хотнянская О.В. Методика визначення ефективності льодоламних архітектурних рішень морських стаціонарних платформ [Текст] / О.В. Хотнянская, С.О. Овечький // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте: Международ. науч.-практ. конф., Одесса, 15-30 июня 2009 г.: Сб. научных трудов по материалам конф. – Одеса, 2009. – С. 22-23. – ISBN 978-966-555-055-6.

6 Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера [Текст]: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с. – ISBN5-354-00238-9.

7 Возний В.Р. Морські нафтогазові споруди [Текст]: Підручник / В.Р. Возний, М.К. Ільницький, Р.С. Яремійчук. – Львів: Світ, 1996. – 343 с. – ISBN 5-7763-8525-3.

Стаття поступила в редакційну колегію 17.11.09

Рекомендована до друку професором О. В. Паневником