

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи та проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«МОРСЬКІ НАФТОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності
185 – Нафтогазова інженерія та технології,
освітня програма «Нафтогазова інженерія та технології»)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Морські нафтогазові технології» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології, освітня програма «Нафтогазова інженерія та технології») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : І. І. Капцов, В. М. Орловський, Н. І. Капцова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 24 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. І. І. Капцов
канд. техн. наук, доц. В. М. Орловський
канд. техн. наук, доц. Н. І. Капцова

Рецензент

В. Г. Котух, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри нафтогазової інженерії і технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою нафтогазової інженерії і технологій,
протокол № 13 від 28 травня 2025*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРАКТИЧНІ РОБОТИ.....	5
1.1 Визначення горизонтального вітрового навантаження на бурову платформу.....	5
1.2 Визначення рівнодіючої сили вітрового навантаження на маяк.....	5
1.3 Визначення горизонтальної і вертикальної складової вітрового навантаження на розкіс ферми.....	6
1.4 Визначення парусності споруди, на яку діє вітрове навантаження.....	7
1.5 Визначення максимального льодового навантаження.....	7
1.6 Визначення сумарного навантаження на колони від наносів.....	7
1.7 Визначення хвильового числа, швидкості хвилі та зміни горизонтальної складової швидкості частин рідини на різних глибинах під гребенем хвилі.....	8
1.8 Визначення профілю хвильової поверхні і розподілу горизонтальних швидкостей частин рідини під гребенем хвилі.....	9
1.9 Визначення підвищення гребеня хвилі, яка поширюється на акваторії.....	11
1.10 Визначення періоду, профілю і горизонтальної швидкості хвилі на гребені і в підошві.....	12
1.11 Визначення максимального навантаження і його моменту відносно основи колони, зумовленого хвилями, які поширюються на акваторії.....	13
1.12 Визначення максимального хвильового навантаження на колону, яка встановлена на дні і досягає поверхні води.....	14
1.13 Визначення хвильового навантаження на елемент фронтальної сторони основи бурової платформи.....	15
1.14 Визначення загального горизонтального навантаження на споруду від хвиль.....	16
2 ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	20
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.....	21
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	23

ВСТУП

«Морські нафтогазові технології» – одна з основних дисциплін спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології».

У цих методичних рекомендаціях розглядаються практичні задачі щодо технології видобування вуглеводнів на морському шельфі. Методичні рекомендації призначені для викладачів, які проводять практичні заняття, а також для студентів очної і заочної форм навчання.

Метою цих методичних рекомендацій є оволодіння студентами теоретичних положень, набуття навичок проведення технологічних розрахунків при розробленні морських нафтових і газових родовищ.

Завданням практичних занять є поглиблення знань, отриманих студентами на лекціях і в процесі проходження виробничої практики. Паралельно із засвоєнням теоретичних засад морських нафтогазових технологій, що подаються в лекційній частині, студенти, які вивчають цю дисципліну, повинні оволодіти методиками і практичними навичками розрахунків при розробці морських родовищ.

Розглянуті задачі дозволяють отримати якісні результати при розрахунках морських нафтогазовидобувних споруд.

Порядок оформлення робіт такий:

1. Титульний аркуш.
2. Завдання для виконання практичної роботи.
3. Зміст роботи.
4. Список використаної літератури.

1 ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1.1 Визначення горизонтального вітрового навантаження на бурову платформу

Визначити горизонтальне вітрове навантаження на бурову платформу (рис. 1.1) при швидкості вітру 72 м/с. Сумарна площа парусності елементів платформи і бурової вишки з навітряної сторони дорівнює 65 м², а збоку – 37,5 м², площа парусності житлового блока з навітряної сторони дорівнює 20 м².



Рисунок 1.1

Загальна площа платформи і вишки, що обдувається, з урахуванням всіх чотирьох сторін

$$A = 2 \cdot 65 \cdot 2 \cdot 37,5 = 205 \text{ м}^2.$$

При $C = 1$ знайдемо горизонтальне вітрове навантаження:

$$F_1 = 0,539 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 205 \cdot 72^2 = 572,8 \text{ кН}.$$

Площа парусності житлового блока дорівнює 20 м² і $C = 1,5$; визначаємо горизонтальне навантаження:

$$F_2 = 0,539 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 72^2 = 83,8 \text{ кН}.$$

Загальне вітрове навантаження

$$F = F_1 + F_2 = 572,8 + 83,8 = 656,6 \text{ кН}.$$

Такі розрахунки дають завищені значення вітрового навантаження, оскільки навантаження на похилі елементи вважаються горизонтальними, тоді як в дійсності вони нормальні щодо поверхні елементів.

1.2 Визначення рівнодіючої сили вітрового навантаження на маяк

Визначити рівнодіючу F вітрового навантаження на маяк (рис. 1.1) і її точку прикладання над підшовою верхньої будови при розрахунковій швидкості вітру 80 м/с (з урахуванням поривів). Верхня будова маяка (1) має розміри 12 м × 12 м × 4,5 м, а вишка (2) – діаметр 3 м і висоту 6 м.

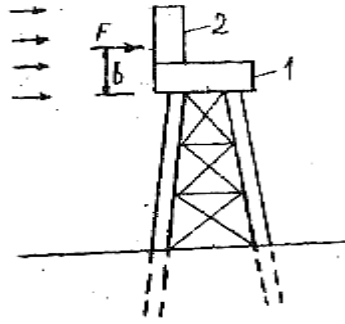


Рисунок 1.2

$$F_1 = 0,539 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 4,5 \cdot 80^2 = 279,4 \text{ кН.}$$

$$F_2 = 0,539 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 80^2 = 31,04 \text{ кН.}$$

$$F = F_1 + F_2 = 279,4 + 31,04 = 310,44 \text{ кН.}$$

$$M_1 = 279,4 \cdot 2,25 = 628,7 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M_2 = 31,04 \cdot 3 = 93,12 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M = M_1 + M_2 = 628,7 + 93,12 = 721,82 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$b = \frac{M}{F} = \frac{721,82}{310,44} = 2,32 \text{ м.}$$

Відповідь: рівнодіюча $F = 310,44 \text{ кН}$, $b = 2,32 \text{ м}$.

1.3 Визначення горизонтальної і вертикальної складової вітрового навантаження на розкіс ферми

Визначити горизонтальну і вертикальну складові вітрового навантаження на розкіс ферми (рис. 1.3). Елемент має довжину 10 м, діаметр 0,6 м і нахилений на 60° по відношенню до напрямку вітру.

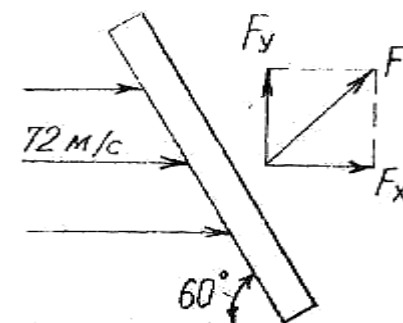


Рисунок 1.3

При $C = 0,5$ і $\alpha = 30^\circ$, визначимо

$$F = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 0,6 \cdot 12^2 = 9,53 \text{ кН.}$$

Горизонтальна складова

$$F_x = F \cdot \cos \alpha = 9,53 \cdot 0,89 = 8,48 \text{ кН.}$$

Вертикальна складова

$$F_y = F \cdot \sin \alpha = 9,53 \cdot 0,45 = 4,29$$

Крім цього, визначимо моменти цих сил відносно нижнього кінця елемента

$$M_1 = F_x \cdot l \cdot \sin 60^\circ = 8,48 \cdot 10 \cdot 0,87 = 73,78 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M_2 = F_y \cdot l \cdot \cos 60^\circ = 4,29 \cdot 10 \cdot 0,5 = 21,45 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

При цьому обидва моменти діють за годинниковою стрілкою.

1.4 Визначення парусності споруди, на яку діє вітрове навантаження

Визначити парусність споруди, на яку діє вітрове навантаження 300 кН.

Швидкість вітру 70 км/год, кут нахилу споруди 10° .

$$F = 0,5 \cdot \rho \cdot C \cdot v^2 \cdot \cos^2 \alpha;$$

$$A = \frac{F}{0,5 \cdot v^2 \cdot C \cdot \rho \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{3 \cdot 10^5}{0,5 \cdot 19,5^2 \cdot 1,5 \cdot 1,226 \cdot 0,174^2} = 2,86 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$$

1.5 Визначення максимального льодового навантаження

Льодостійка споруда опирається на дві колони із зовнішнім діаметром 4,5 м. Визначити максимальне навантаження на кожну колону при прорізанні нею льодового поля товщиною 1,0 м. Межа міцності льоду 2,0 МПа.

$$F = C \cdot f \cdot A;$$

$$F = 0,5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 4,5 = 4,5 \text{ МН};$$

$$\Sigma F = 4,5 \cdot 2 = 9 \text{ МН.}$$

Відповідь: навантаження на колони дорівнює 9МН.

1.6 Визначення сумарного навантаження на колони від наносів

Шар м'якої глини потужністю 6 м насувається на шість занурених у ґрунт колон діаметром 1,2 м. Приймаючи $\tau = 10 \text{ МПа}$, $N = 9$, визначити сумарне навантаження.

$$f = N \cdot \tau \cdot D = 9 \cdot 10 \cdot 1,2 = 108 \text{ МН/м};$$

$$F = 108 \cdot 6 = 648 \text{ МН};$$

$$\Sigma F = 648 \cdot 6 = 3890 \text{ МН}.$$

Відповідь: $F = 3\,890 \text{ МН}$.

1.7 Визначення хвильового числа, швидкості хвилі та зміни горизонтальної складової швидкості частин рідини на різних глибинах під гребенем хвилі

Нехай на акваторії глибиною 15 м поширюється хвиля висотою 1,2 м і періодом 6 с. Визначити хвильове число, швидкість хвилі та зміну горизонтальної складової швидкості частин рідини на різних глибинах під гребенем хвилі.

Хвильове число визначаємо з виразу

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3,14}{6} = 1,047 \text{ с}^{-1}.$$

Також можна записати у такому вигляді:

$$k = \frac{\omega^2}{g \cdot \text{th } kh}.$$

Розв'язок цього рівняння можна отримати ітераційним шляхом. Як перше наближення, прийнемо $\text{th } kh = 1$ і отримаємо за останньою формулою:

$$k = \frac{1,047^2}{9,8 \cdot 1} = 0,1118 \text{ м}^{-1}.$$

Якщо $h = 15 \text{ м}$, то $kh = 1,675$ і $\text{th } kh = 0,932\,2$. Підставляючи ці значення в праву частину рівняння, отримаємо значення k в другому наближенні: $k = 0,1197$. Продовжуючи ітераційний процес, можна досягти збігу значень k в лівій і правій частинах з певною точністю. Результати обчислень зведені в таблицю 1.1. Після четвертого кроку ітерації знаходимо: $k = 0,118\,5$.

Таблиця 1.1

Прийняте k , м^{-1}	kh	$\text{th } kh$	Обчислене k , м^{-1}
0,111 7	1,675	0,932 2	0,119 7
0,119 7	1,796	0,946 3	0,118 7
0,118 1	1,771	0,943 6	0,118 4
0,118 4	1,776	0,942 6	0,118 5

Відповідно до цього значення довжина хвилі

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = 53 \text{ м}.$$

Далі знаходимо швидкість поширення хвилі:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{53}{6} = 8,83 \text{ м/с.}$$

Горизонтальні складові швидкості частин рідини на різних глибинах під гребенем хвилі знаходимо так: якщо $kx - \omega t = 0$, то $\gamma_x = 0,229 \cdot \text{ch}ky$.

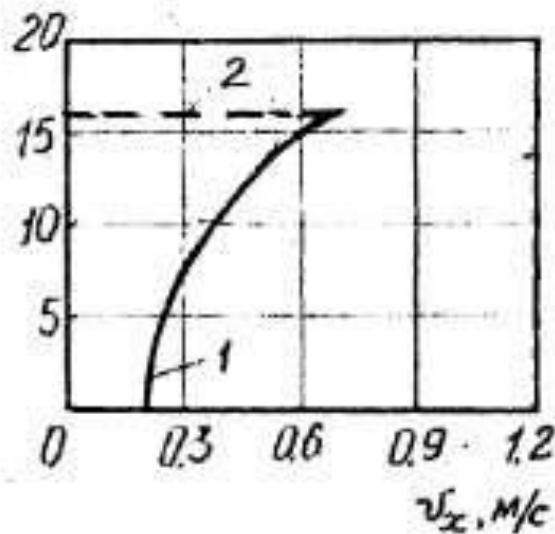
Визначивши, що $ky = 0,1185 \cdot (15/0,6) = 1,849$, знайдемо максимальне значення швидкості на гребені хвилі:

$$\gamma_{x \max} = 0,229 \cdot \text{ch}1,849 \text{ м/с,}$$

а біля дна при $ky = 0$ швидкість буде такою:

$$\gamma_x = 0,229 \text{ м/с.}$$

Проміжні значення швидкості знаходимо з отриманого виразу. Змінювання швидкості частин рідини під гребенем хвилі і з глибиною показане на рисунку 1.4.



1 — дно моря; 2 — гребінь хвилі

Рисунок 1.4

1.8 Визначення профілю хвильової поверхні і розподілу горизонтальних швидкостей частин рідини під гребенем хвилі

Для хвилі з висотою $H = 15$ м і довжиною 115 м, яка поширюється на акваторії з глибиною 23 м, визначимо профіль хвильової поверхні і розподіл горизонтальних швидкостей частин рідини під гребенем хвилі, використовуючи теорію Стокса п'ятого порядку.

Спочатку визначимо параметр a висоти хвилі, який може бути поданий у вигляді

$$a = \frac{\kappa H}{2} - a^3 \cdot F_{33} - a^5 (F_{35} - F_{55}) c^{-1}$$

і обчислений методом ітерації. При $\frac{h}{\lambda} = 0,20$ отримаємо $k = 0,055 \text{ м}^{-1}$, $\frac{KH}{2} = 0,292$, $F_{33} = 0,996$, $F_{35} = 3,679$, $F_{55} = 1734$. Як перше наближення, можна прийняти $a = 0,292$, а після декількох ітерацій $a = 0,267$. Потім, підставивши відповідні значення параметрів, отримаємо вираз відхилення схвильованої поверхні від рівня спокійної води:

$$\eta = 4,84 \cdot \cos \theta + 1,32 \cdot \cos 2\theta + 0,44 \cdot \cos 3\theta + 0,116 \cdot \cos 4\theta + 0,0427 \cos 5\theta,$$

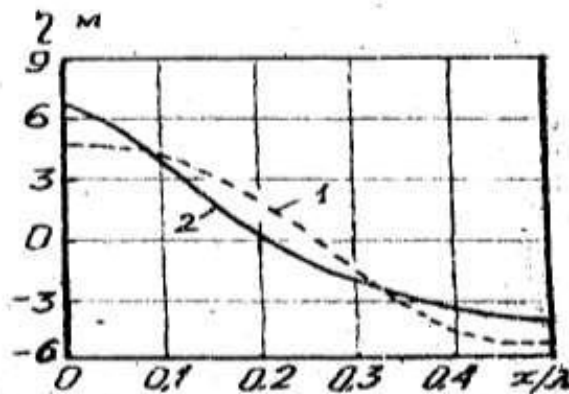
де $\theta = kx = \omega t$.

Максимальне і мінімальне значення відхилень (відповідно, на вершині при $\theta = 0$ і в підосві хвилі при $\theta = \pi$)

$$\eta_{\max} = 6,76 \text{ м},$$

$$\eta_{\min} = -0,390 \text{ м}.$$

Розрахунковий профіль хвилі, що відповідає періоду, показаний на рисунку 1.5 для моменту $t = 0$, там же для порівняння показаний профіль хвилі, отриманий за теорією Ері.



1 — за теорією Ері; 2 — за теорією Стокса

Рисунок 1.5

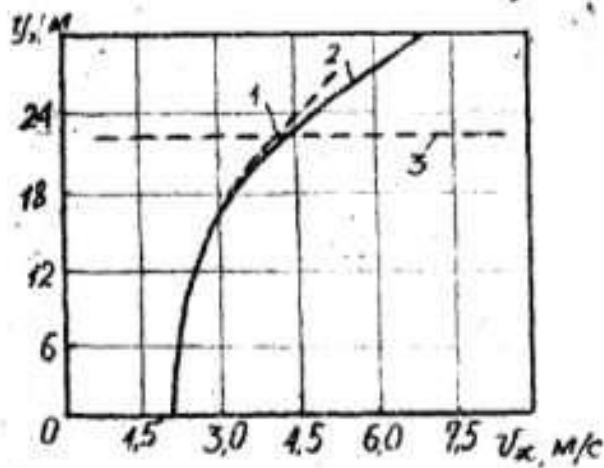
Далі знайдемо горизонтальну складову частин рідини. Знайдемо кругову частоту ω хвилювання:

$$\omega = \sqrt{9,8 \cdot 0,055 \cdot (1 + 0,267^2 \cdot 1,549 + 0,267^2 \cdot 5,044) \cdot th(0,55 \cdot 10,7)} = 0,723 \text{ с}^{-1}.$$

Підставивши це значення, отримаємо:

$$\gamma_x = 3,145 \cdot \frac{ch ky}{sh kh} + 0,710 \cdot \frac{ch 2ky}{sh 2kh} + 0,0457 \cdot \frac{ch 3ky}{sh 3kh} - 0,0118 \cdot \frac{ch 4ky}{sh 4kh} + 0,0006 \cdot \frac{ch 5ky}{sh 5kh}.$$

На вершині хвилі при $y = 29,7 \text{ м}$ $u_{\max} = 6,7 \text{ м/с}$. Епюра швидкості частин води під гребенем хвилі представлена на рисунку 1.6, там же для порівняння приведена епюра, отримана за теорією Ері.



1 — за теорією Ері; 2 — за теорією Стокса;
3 — рівень спокійної рідини

Рисунок 1.6

1.9 Визначення підвищення гребеня хвилі, яка поширюється на акваторії

Використовуючи теорію Стокса, визначити підвищення гребеня хвилі з висотою 18 м і довжиною 250 м, яка поширюється на акваторії глибиною 100 м:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 0,02512 \text{ м}^{-1}$$

$$\frac{h}{\lambda} = 0,4.$$

$$kH = 2 \cdot [a + a^3 \cdot F_{33} + a^5 \cdot (F_{33} + F_{55})].$$

$$a = \frac{kH}{2} = 0,226; F_{33} = 0,410, F_{35} = 1,33, F_{55} = 0,373.$$

Методом ітерацій визначимо a :

$$a_1 = 0,2207;$$

$$a_2 = 0,2196;$$

$$a_3 = 0,2113;$$

$$a_4 = 0,221;$$

Визначимо:

$$F_1 = 0,221;$$

$$F_2 = 0,027;$$

$$F_3 = 0,005;$$

$$F_4 = 89 \cdot 10^{-5};$$

$$F_5 = 19 \cdot 10^{-5};$$

$$kx - \omega t = 0.$$

Одержимо:

$$\eta = \frac{1}{0,02512} \cdot \{0,211 \cdot \cos(1 \cdot 0) + 0,027 \cdot \cos(2 \cdot 0) + 0,005 \times \\ \times \cos(3 \cdot 0) + 89 \cdot 10^{-5} \cdot \cos(4 \cdot 0) + 19 \cdot 10^{-5} \cdot \cos(5 \cdot 0)\} = 10,1146 \text{ м.}$$

1.10 Визначення періоду, профілю і горизонтальної швидкості хвилі на гребені і в підшві

Розглянемо хвилю з висотою 3 м і довжиною 130 м, яка поширюється на акваторії глибиною 12 м. Використовуючи теорію кноїдальних хвиль, визначити період, профіль і горизонтальну швидкість хвилі на гребені і в підшві.

Спочатку знайдемо модуль m . За умовою задачі $\frac{H\lambda^2}{h^2} = 29,3$.

Отримаємо $m = 0,86$, $K = 2,46$, $E = 1,13$. Далі отримаємо, відповідно, хвильове число і кругову частоту:

$$k = \frac{2K}{\lambda} = \frac{2 \cdot 2,46}{130} = 0,0378 \text{ м}^{-1};$$

$$\omega^2 = g \cdot h \cdot k^2 \cdot \left[1 + \frac{H}{m \cdot h} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{E}{K} \right) \right]^2.$$

$$\omega^2 = 9,8 \cdot 12 \cdot 0,0378^2 \cdot \left[1 + \frac{3}{0,86 \cdot 12} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1,13}{2,46} \right) \right]^2 = 0,18 \text{ с}^{-2};$$

$$\omega = 0,419 \text{ с}^{-1}.$$

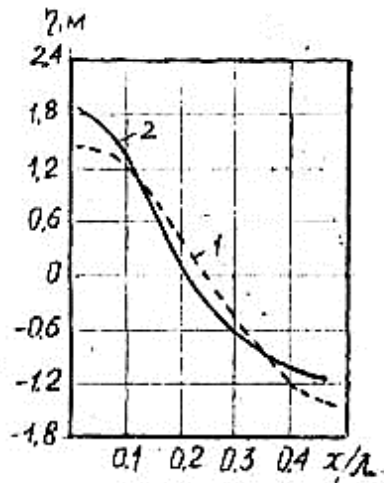
Період хвилі знаходимо за формулою

$$T = \frac{2K}{\omega} = \frac{2 \cdot 2,46}{0,419} = 11,7 \text{ с.}$$

Профіль хвилі описується рівнянням, де $H = 3$, а η_{msn} знаходимо з рівняння

$$\eta_{msn} = \frac{H \cdot K \cdot (1 - m) - E}{m \cdot k} = \frac{3 \cdot 2,46 \cdot (1 - 0,86) - 1,13}{0,86 \cdot 0,0378} = -1,1.$$

Профіль хвилі, побудований за отриманими даними, показаний на рисунку 1.7 і співставлений з профілем, отриманим за теорією Ері. Як видно, гребінь хвилі, побудованої за теорією кноїдальних хвиль, вищий, ніж гребінь хвилі, побудованої за теорією Ері.



1 — за теорією Ері; 2 — за теорією кноідальних хвиль

Рисунок 1.7

Знайдемо значення швидкості частин рідини на гребені і в підшві хвилі:

$$\gamma_{x_{max}} = \sqrt{\frac{9,8}{12}} \cdot 1,9 = 1,65 \text{ м/с};$$

$$\gamma_{x_{min}} = \sqrt{\frac{9,8}{12}} \cdot (-1,1) = -1,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

1.11 Визначення максимального навантаження і його моменту відносно основи колони, зумовленого хвилями, які поширюються на акваторії

Визначити максимальне навантаження і його момент відносно основи колони діаметром 1,22 м, зумовлене хвилями з висотою 10,7 м і довжиною 115 м, які поширюються на акваторії глибиною 23 м. Прийняти $C_{шв} = 1$ і $C_{ін} = 2$.

Теорія Ері не дозволяє отримати у цьому випадку точний розв'язок, бо висота хвилі відносно велика, тому її можна використати для наближеної оцінки хвильового навантаження. Хвильове число

$$K = 2\pi/\lambda = 2 \times 3,14/115 = 0,055 \text{ м}^{-1}.$$

Кругова частота хвилювання $\omega = 0,677 \text{ с}^{-1}$. Оскільки відношення висоти хвилі до діаметра колони значно більше одиниці, швидкісною складовою хвильового навантаження знехтувати не можна. Швидкісна та інерційна складові рівнодійного навантаження на колону визначаються при $\rho = 1,026 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; $D = 1,22 \text{ м}$; $H = 10,7 \text{ м}$.

$$F_{шв} = 14,06 \times [\text{sh}2k \times (h + \eta) + 2k \times (h + \eta)] \times |\cos\omega t| \times \cos\omega;$$

$$F_{in} = -65,61 \cdot \text{sh}k \cdot (h + \eta) \cdot \sin\omega t,$$

де

$$\eta = (H/2)\cos\omega t = 5,35 \cdot \cos\omega t.$$

Рівнодійна хвильового навантаження визначається, як $F = F_{шв} + F_{in}$, при цьому числовий аналіз при різних значеннях ωt показує, що максимальне значення навантаження спостерігається при $\omega t = 6,0$ (345) і дорівнює 223,9 кН. У цей момент часу відхилення хвильової поверхні над рівнем спокійної води біля палі складає 5,1 м, тобто вільна поверхня води розміщується відносно дна моря на рівні

$$y = h + \eta = 28,1 \text{ м.}$$

Момент хвильового навантаження при вказаних значеннях ωt і y дорівнює 3 991 кН м. Таким чином, рівнодійна хвильового навантаження прикладена на рівні $\frac{3991}{223,9} = 17,8$ м від основи колони.

1.12 Визначення максимального хвильового навантаження на колону, яка встановлена на дні і досягає поверхні води

Як і у попередній практичній роботі, розглянемо хвилю з висотою 10,7 м і довжиною 115 м, яка поширюється на акваторії глибиною 23 м.

Визначимо максимальне хвильове навантаження на колону з діаметром 1,22 м, яка встановлена на дні і досягає поверхні води.

Скористаємося теорією хвиль Стокса п'ятого порядку і приймемо $C_{шв} = 1$ і $C_{in} = 2$. Оскільки ми розглядаємо ті самі параметри хвилі за теорією хвиль Стокса, що й у попередній роботі, можна використати й деякі отримані попередньо результати. При $\rho = 1,026 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; $D = 1,22 \text{ м}$; $\omega = 0,723 \text{ с}^{-1}$ і $k = 0,055 \text{ м}^{-1}$ сумарне хвильове навантаження на колону знаходять за допомогою виразу, у якому необхідно припустити, що $y = h + \eta$. Результати обчислень змінювання сумарного хвильового навантаження F на колону і її швидкісної $F_{шв}$ та інерційної F_{in} складових у часі, виконані за допомогою калькулятора, представлені на рисунку 1.8. Вони показують, як змінюються сумарне хвильове навантаження, а також його швидкісна та інерційна складові залежно від ωt .

Хвильове навантаження має максимальне значення у момент часу, який приблизно дорівнює $\omega t = 6,0$ і складає $F_{max} = 264,2 \text{ кН}$. У певний момент часу швидкісна складова хвильового навантаження дорівнює 205,5 кН, а інерційна – 58,7 кН.

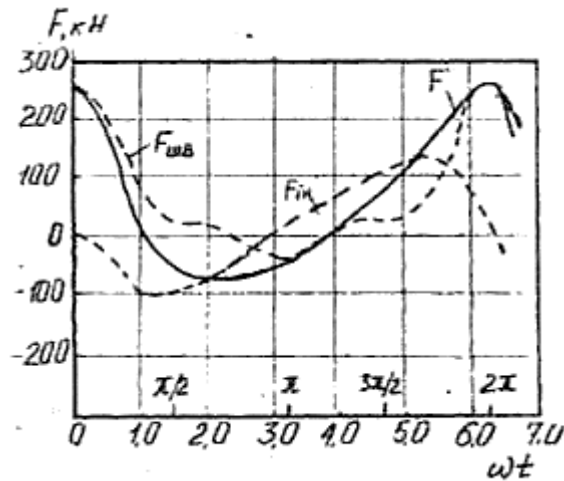


Рисунок 1.8

Для визначення моменту, який відповідає обчисленому хвильовому навантаженню, необхідно обрати найбільше значення $y = h + \eta = 28,1$ м при $\omega t = 6,0$. Значення моментів, отримані при розбиванні довжини колони на різну кількість ділянок N , наведені в таблиці 1.2. Зі збільшенням N від 10 до 20 значення моментів практично не змінюються і дорівнюють 5 193 кН·м. Значення моменту при $N = 5$ відрізняється від цього на 1 %, при $N = 2$ – на 8 %. Рівнодійна хвильового навантаження прикладена на висоті $b = M/F = 19,6$ м над дном моря.

Таблиця 1.2

N	2	5	10	20
M , кН·м	4 800	5 139	5 180	5 193

Отримані результати можна співставити з результатами за теорією Ері. Було отримано: $F_{max} = 223,9$ кН; $M = 3991$ кН·м, а за більш точним методом отримано: $F_{max} = 264,2$ кН; $M = 5 193$ кН·м.

1.13 Визначення хвильового навантаження на елемент фронтальної сторони основи бурової платформи

Визначити хвильове навантаження на елемент 1-2 фронтальної сторони основи бурової платформи (рис. 1.9), припускаючи дію хвилі порівняно рівномірною по довжині елемента, при таких значеннях швидкостей і прискорень рідини: $\gamma_x = 4,2$ м/с; $\gamma_y = 1,2$ м/с; $a_x = 1,2$ м/с²; $a_y = 1,8$ м/с². Ці характеристики відповідають рівню 28,5 м над дном моря. Діаметр елемента – 0,61 м.

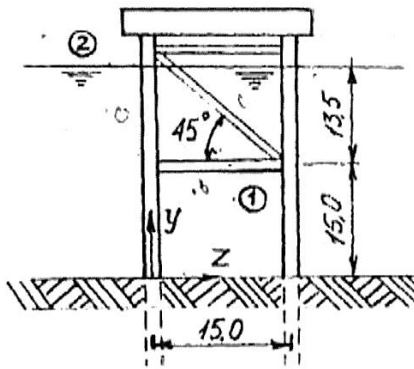


Рисунок 1.9

З рисунка видно, що кути, які визначають положення елемента в просторі, такі: $\theta = 90^\circ$; $\varphi = 135^\circ$. Отримаємо:

$$C_x = \sin 135^\circ \cdot \cos 90^\circ = 0;$$

$$C_y = \cos 135^\circ = -0,707;$$

$$C_z = \sin 135^\circ \cdot \sin 90^\circ = 0,707.$$

Знайдемо складові нормальних до осі елемента швидкості і прискорення руху води:

$$\gamma_{nx} = 4,2 \text{ м/с}; \gamma_{ny} = \gamma_{nz} = 0,6 \text{ м/с};$$

$$\alpha_{nx} = 1,2 \text{ м/с}^2; \alpha_{ny} = \alpha_{nz} = -0,9 \text{ м/с}^2;$$

Знайдемо значення швидкості, нормальної до осі елемента:

$$\gamma_n = 4,28 \text{ м/с},$$

а за формулою – складові f_x , f_y , f_z , припускаючи, що $C_{шв} = 1$; $C_{ін} = 2$; $\rho = 1,026 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $D = 0,61 \text{ м}$.

$$f_x = 6,34 \text{ кН/м}; f_y = f_z = 0,26 \text{ кН/м}.$$

Довжина елемента, що розміщується у воді,

$$L = 13,5 \cdot \sqrt{2} = 19,1 \text{ м}.$$

Таким чином, складові хвильового навантаження на елемент

$$F_x = 121 \text{ кН}; F_y = F_z = 5 \text{ кН}.$$

З рисунка 1.9 можна визначити, що отримані результати справедливі і при інших значеннях кутів θ і φ , які визначають положення елемента, а саме, при $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, оскільки вибір позитивного напрямку по осі елемента не має значення у подібних розрахунках. При цих значеннях кутів змінюються знаки у C_x і C_y , але значення нормальних до осі елемента складових швидкості і прискорення, а отже, і навантаження не змінюються.

1.14 Визначення загального горизонтального навантаження на споруду від хвиль

Розглянемо просту за конструкцією споруду (рис. 1.10) з чотирьох колон, які з'єднані горизонтальними і діагональними зв'язками. Фронтальна і зворотна сторони споруди однакові, а також однакові бокові сторони. Визначимо загальне

горизонтальне навантаження на споруду від хвиль із висотою 6 м і довжиною 90 м при глибині води 24 м. Опорні колони мають діаметр 1,22 м, а горизонтальні і діагональні елементи – 0,61 м. Припустимо, що $C_{шв} = 1$ і $C_{ін} = 2$. Максимальне горизонтальне навантаження на споруду визначається шляхом проведення розрахунків при різних значеннях ωt . Припустимо, що перше наближення $\omega t = 6,0$. Для спрощення розрахунків скористаємося теорією Ері, хоча такі розрахунки необхідно було б виконувати з використанням більш точної теорії Стокса. Бокова (а) і фронтальна (б) щодо хвиль сторони основи бурової платформи, а також прийнята система координат зображені на рисунку 1.10.

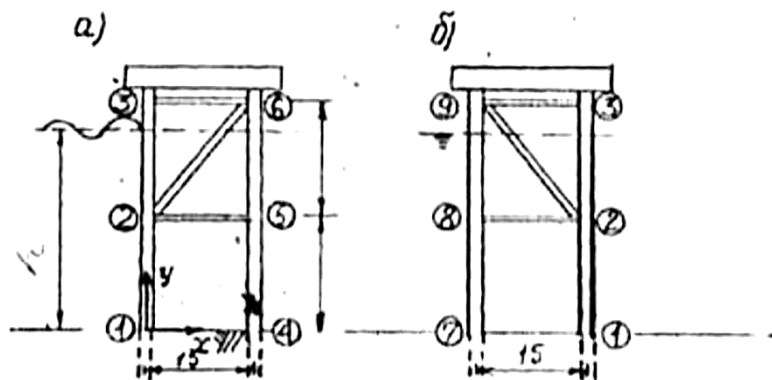


Рисунок 1.10

Вертикальні колони

Для підрахунку хвильового навантаження на вертикальні колони скористаємось формулами для випадку, коли переріз колони становить $x = 0$, відповідно, їх можна застосувати до колони 1-3 при довільному значенні ωt . Щоб підрахувати в той же момент часу навантаження на колону 4-6 ($x = 15$ м), ці формули потрібно змінити. Як уже зазначалося, рух води, обумовлений хвилюванням, визначається тільки параметром $\omega t - kx$, тому достатньо замінити ωt на $\omega t - 15k$. Тоді для колони 1-3 отримаємо: при $x = 0$ $k = 0,07 \text{ м}^{-1}$; $\omega = 0,800 \text{ рад/с}$;

$$H = 6 \text{ м}; \rho = 1,026 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; h = 24 \text{ м};$$

$$F_{1-3} = 1,928 \cdot (sh 2ky + 2ky) \cdot |\cos \omega t| \cdot \cos \omega t - 25,4 \cdot sh ky \cdot \sin \omega t,$$

де

$$y = h + \eta = 24 + 3 \cos \omega t,$$

а навантаження F вимірюється в кілоньютонах.

Для колони 4-6 отримаємо:

$$F_{4-6} = 1,92 \cdot (sh 2ky + 2ky) \cdot |\cos(\omega t - 15k)| \cdot \cos(\omega t - 15k) - 25,4 \cdot sh ky \cdot \sin(\omega t - 15k),$$

де

$$y = h + \eta = 24 + 3 \cos(\omega t - 15k).$$

Оскільки у споруді при $x = 0$ і $x = 15$ є по дві колони, то сумарне хвильове навантаження на всі чотири колони

$$F_k = 2 \cdot (F_{1-3} + F_{4-6}).$$

Підставивши $\omega t = 6,0$, знайдемо:

$$F_k = 2 \cdot (67,6 + 69,5) = 274 \text{ кН}.$$

Горизонтальні елементи фронтальної сторони

Горизонтальне погонне хвильове навантаження (кН/м) на горизонтальні елементи фронтальної сторони опорної основи визначається при $\theta = -90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$. Отримаємо:

$$f_x = 0,313 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_x + 0,600 \cdot a_x;$$

$$\gamma_n^2 = \gamma_x^2 + \gamma_y^2.$$

Для елемента 2-8 при $x = 0$, $y = 15$ м складові швидкості і прискорення руху води при $\omega t = 6,0$ знаходять так:

$$\gamma_x = 1,44 \text{ м/с}; \gamma_y = 0,32 \text{ м/с}; a_x = 0,33 \text{ м/с}^2.$$

Ці значення справедливі на всій довжині елемента, оскільки координати x і y не змінюються по довжині елемента. За цими значеннями знайдемо погонне навантаження $f_x = 0,863 \text{ кН/м}$, яке постійне за довжиною елемента. Загальне горизонтальне навантаження на цей елемент $F_{5-11} = 10,94 \text{ кН}$.

Похилі елементи фронтальної сторони

Горизонтальне погонне хвильове навантаження f_x на похилий елемент, розміщений із фронтальної сторони опорної основи, визначається при $\theta = -90^\circ$; $\varphi = 45^\circ$:

$$f_x = 0,313 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_x + 0,600 \cdot a_x;$$

$$\gamma_n^2 = \gamma_x^2 + \frac{1}{2} \cdot \gamma_y^2.$$

Для елемента 2-9 маємо: $x = 0$ і y змінюється від рівня 15 м до вільної поверхні води. Рівень вільної поверхні визначається залежністю $y = 24 + 3 \cos \omega t$. Тоді при $\omega t = 6,0$ $y = 26,9$ м. Оскільки елемент розміщений під кутом 45° до осі y , довжина його частини, яка піддається хвильовій дії, $26,9 - 15) / 0,707 = 16,8$ м. Погонне хвильове навантаження змінюється по довжині цього елемента відповідно до зміни характеристик руху рідини за напрямом y . Відповідно, загальне хвильове навантаження на елемент потрібно знаходити шляхом числового інтегрування. Для наближення поділимо відрізок довжиною 16,8 м на дві ділянки довжиною по 8,4 м і підрахуємо навантаження f_x для середини довжини кожної ділянки. Загальне для елемента навантаження підраховується в припущенні, що f_x постійне в межах кожної окремої ділянки.

Результати приблизних розрахунків хвильового навантаження при $\omega t = 6,0$ для елемента 2-9 наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

x , м	y , м	γ_x , м/с	γ_y , м/с	a_x , м/с ²	f_x , кН/м
0	18,0	1,71	0,42	1,15	1,16
0	23,9	2,47	0,67	1,82	2,29

Загальне хвильове навантаження на елемент

$$F_{2-9} = (1,16 + 2,29) \cdot 8,4 = 28,98 \text{ кН.}$$

Аналогічні обчислення для похилого елемента 5-12 на зворотному боці опорної основи дають такий результат:

$$F_{5-12} = 15,9 \text{ кН.}$$

Похилі елементи бокової сторони

Горизонтальне погонне навантаження на похилий елемент бокової сторони опорної основи визначають при $\theta = 0^\circ$, $\varphi = 45^\circ$:

$$f_x = 0,156 \cdot \gamma_n \cdot (\gamma_x - \gamma_y) + 0,300 \cdot (a_x - a_y);$$

$$\gamma_n^2 = \frac{1}{2} (\gamma_x - \gamma_y)^2.$$

В елементі 2-6 координати x і y змінюються вздовж його осі до перетину з вільною поверхнею води.

Рівень вільної поверхні води для цього елемента визначається з розв'язку такої системи рівнянь:

$$\begin{cases} y = 24 + 3 \cos(\omega t - kx) \\ y = 15 + x \end{cases}$$

Перше з цих рівнянь відповідає рівню вільної поверхні при заданих значеннях t і x , а друге визначається геометрією елемента. Виключивши з цієї системи рівнянь y , отримаємо: $x = 9 + 3 \cos(\omega t - kx)$. При $\omega t = 6,0$ розв'язок цього рівняння (отриманий ітераційним методом) буде таким: $x = 10,55$ м.

Отже, підйом вільної поверхні води біля елемента, який розглядається, становить $15 + 10,55 = 25,55$ м, а частина його довжини, що піддається дії хвиль, $10,55/0,707 = 14,9$ м. Як і в попередньому випадку, погонне хвильове навантаження змінюється по довжині елемента, тому загальне хвильове навантаження оцінимо, розділивши довжину елемента, що піддається дії хвиль, на дві ділянки по 7,45 м.

Хвильове навантаження f_x визначимо для середин обох ділянок, а загальне навантаження знайдемо, припускаючи, що в межах кожної ділянки хвильові навантаження розділені рівномірно.

Результати наближених значень хвильового навантаження при $\omega t = 6,0$ для елемента 2-6 наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

x , м	y , м	γ_x , м/с	γ_y , м/с	a_x , м/с ²	a_y , м/с ²	f_x , кН/м
2,64	17,64	1,55	0,66	0,62	-1,04	0,58
7,91	22,91	1,62	1,65	1,42	-1,18	0,78

Загальне хвильове навантаження на елемент

$$F_{2-6} = (0,58 + 0,78) \cdot 7,45 = 10,13 \text{ кН.}$$

Аналогічні результати можна отримати для такого ж похилого елемента 8-12, тільки на протилежній боковій стороні опорної основи:

$$F_{8-12} = 10,13 \text{ кН.}$$

Сумарне хвильове навантаження на опорну основу

Верхні горизонтальні елементи опорної основи не піддаються дії хвилі і відповідно не беруть участі у формуванні хвильового навантаження. Нижні горизонтальні елементи на бокових сторонах споруди паралельні до напрямку поширення хвилі і не сприймають хвильового навантаження. Сумарне хвильове навантаження на споруду при $\omega t = 6,0$, що заходять шляхом сумування навантажень на опорні колони та розглянуті вище елементи, дорівнює 363 кН.

Для знаходження максимального значення сумарного горизонтального навантаження на споруду весь процес обчислень необхідно провести для різних значень ωt . Таким чином, горизонтальне навантаження на споруду має максимальне значення при $\omega t = 5,8$ і становить 366 кН.

2 ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Світовий досвід видобування вуглеводнів на континентальному шельфі.

2.2 Класифікація морських нафтогазових споруд (МНГС).

2.3 Призначення і типи морських стаціонарних платформ (МСП) та їх конструкції.

2.4 Гравітаційні морські стаціонарні платформи.

2.5 Гравітаційно-пальові морські стаціонарні платформи (ГПМСП).

2.6 Пальові морські стаціонарні платформи (ПМСП).

2.7 Пружні конструкції морських стаціонарних платформ (ПКМСП).

2.8 Самопідйомні плавучі бурові установки (СПБУ).

2.9 Напівзанурені (НЗПБУ) та занурені (ЗПБУ) плавучі бурові установки. Естакади.

2.10 Плавучі бурові судна (ПБС).

2.11 Платформи типу «SPAR» для глибоководного видобутку вуглеводнів.

2.12 Плавучі системи типу «FPSO» для видобутку, зберігання і відвантаження нафтопродуктів.

2.13 Морські споруди для зберігання і транспортування нафти й газу. Морські трубопроводи.

2.14 Технічні засоби для захисту морського середовища при розробці та експлуатації родовищ нафти і газу на шельфі Світового океану.

3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Коли почалося розроблення морських акваторій?
2. Географія освоєння нафтогазоносних шельфів.
3. Закономірності поширення нафтоносних басейнів і розміщення родовищ.
4. Як було виявлено нафтоносність надр Каспійського моря?
5. Хто і коли запропонував будівництво морських металевих платформ?
6. Основні ділянки шельфу Світового океану з видобутку нафти і газу.
7. Скільки родовищ нафти, газу і газового конденсату відкрито на шельфі Чорного моря?
8. Скільки родовищ нафти, газу і газового конденсату відкрито на шельфі Азовського моря?
9. Коли використовуються бурові баржі?
10. Коли під час розроблення морських родовищ використовуються допоміжні судна?
11. Що собою становлять напівзанурені бурові установки і коли їх використовують?
12. Що собою становлять самопідіймальні бурові установки? Коли їх використовують?
13. Що собою становлять бурові судна? Коли їх використовують?
14. Яка інформація потрібна під час проектування морських нафтових споруд?
15. Які дані стосуються метеорологічних умов?
16. Які дані стосуються гідрологічних умов?
17. Перелічіть типи льодових утворень.
18. Якою є конструкція морських свердловин?
19. Перелічіть оснащення морських бурових платформ.
20. Назвіть типи конструкцій гирл підводних свердловин.
21. Як здійснюється підводне облаштування гирл свердловин?
22. Які вимоги ставлять до підводного обладнання морських нафтових і газових свердловин?
23. Як здійснюється експлуатація свердловин із підводним закінченням?
24. У чому полягає технологія підводної розробки нафтових і газових родовищ, запропонованих компанією «Еххоп Mobile»?
25. Перелічіть особливості конструкції гирл одиночних свердловин.
26. У чому полягають особливості «сухого» і «мокрого» виконання підводних свердловин?

27. Назвіть основні напрями освоєння морських родовищ нафти і газу з використанням системи підводного закачування.
28. У чому полягають особливості закачування підводних свердловин?
29. Як здійснюється доступ до вибою підводних свердловин?
30. Як здійснюється управління фонтанною арматурою підводних свердловин?
31. Які системи управління використовують для керування підводною фонтанною арматурою?
32. У чому полягають особливості освоєння маргінальних родовищ?
33. Яке основне обладнання та операції включає підводна підготовка продукції морських свердловин?
34. Охарактеризуйте сепараційне обладнання, що використовують для підводних промислів.
35. Перелічіть системи скидання газу підводних промислів.
36. Які технологічні процеси підготовки нафти і газу використовуються на платформах?
37. Основні вимоги до морських установок з підготовки нафти і газу.
38. Основні вимоги до вибору матеріалів і захисту від корозії обладнання установок підготовки нафти і природного газу морських родовищ.
39. Як поділяється промислова підготовка води на морських родовищах?
40. Які особливості пласта вивчають на моделі при підготовці води?
41. В чому полягає специфіка закачування води на морських родовищах?
42. Суть підготовки морської води для ППТ.
43. Назвіть причини виникнення аварій на морських платформах.
44. Перелічіть слабкі місця в опорних блоках морських платформ.
45. Чим небезпечні розмиви донного ґрунту під морськими спорудами?
46. Назвіть причини аварій на морських стояках.
47. Де відбулося найбільше забруднення морського середовища нафтою? До яких наслідків це призвело?
48. Які заходи необхідно вживати для підвищення надійності морських трубопроводів?
49. Як здійснюється ліквідація забруднень морського середовища?
50. Перелічіть технічні засоби для механічного збору нафти з поверхні забруднених ділянок моря.
51. Перелічіть фізико-хімічні засоби боротьби з розливами нафти.
52. Який комплекс заходів необхідно впроваджувати для дотримання екологічної безпеки на морських платформах?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький В. С. Історія та перспективи нафто газовидобування. Навчальний посібник / В. С. Білецький, Г. І. Гайко, В. М. Орловський. – Київ : ФОП Халіков Р. Х., 2019. – 302 с.
2. Білецький В. С. Основи нафтогазової інженерії / В. С. Білецький, В. М. Орловський, В. Г. Вітрик. – Київ : ФОП Халіков Р. Х., 2018. – 416 с.
3. Возний Р. В. Морські нафтогазові споруди / Р. В. Возний, М. К. Ільницький, Р. С. Яремійчук. – Львів, 1997. – 343 с.
4. Возний Р. В. Розробка та експлуатація морських нафтових і газових родовищ. Конспект лекцій / Р. В. Возний. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 189 с.
5. Возний В. Р. Типові розрахунки в морській нафтогазовій справі : навч. посіб. / В. Р. Возний. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – 133 с
6. Якимечко Я. Я. Морські нафтогазові технології. Конспект лекцій / Я. Я. Якимечко, Я. М. Фем'як, С. О. Овецький. – Івано-Франківськ, 2019. – 198 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до організації самостійної роботи та проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«МОРСЬКІ НАФТОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності
185 – Нафтогазова інженерія та технології, освітня програма «Нафтогазова
інженерія та технології»)*

Укладачі: **КАПЦОВ** Іван Іванович,
ОРЛОВСЬКИЙ Віталій Миколайович,
КАПЦОВА Наталія Іванівна

Відповідальний за випуск *О. В. Ромашко*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2025, поз. 553М

Підп. до друку 24.07.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 1,4.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.