

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

ДУШКО Вероніка Ростиславівна

УДК 629.327

**СТІЙКІСТЬ МОРСЬКИХ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ НА
М'ЯКИХ ТА РУХЛИВИХ ҐРУНТАХ**

Спеціальність 05.08.03 - Механіка та конструювання суден

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук**

Миколаїв - 2007

Дисертацією є рукопис
Робота виконана у Севастопольському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кушнір Володимир Мойсейович,
Севастопольський національний технічний університет, професор кафедри океанотехніки та кораблебудування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Блінцов Володимир Степанович
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, завідувач кафедри електрообладнання суден

кандидат технічних наук,
Тарабан Анатолій Пилипович,
Севастопольський військово-морський інститут імені П.С. Нахімова,
начальник кафедри живучості корабля, водопідіймальних робіт

Провідна установа: Одеський національний морський університет
Міністерства освіти і науки України, м. Одеса

Захист відбудеться **«12» березня 2007** р. г. о **11** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м Миколаїв, проспект Героїв Сталінграду, 9

Автореферат розісланий " " лютого 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
доктор технічних наук, професор

Радченко М.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розробка родовищ нафти та газу на шельфі України є одним із найважливіших завдань розвитку паливно-енергетичного комплексу держави. На сьогодні країна видобуває самостійно 24..25 % газу та близько 20 % нафти від власної потреби. Рівень видобутку в Україні за 1998 рік склав 780,4 млн. м³ газу та 73,7 тис. тонн нафти і газоконденсату. У 2000 році рівень видобутку зменшився до 764,4 млн. м та 65,1 тис. тонн. Ресурси української частини Азово-Чорноморського басейну складають приблизно 1,3 трлн. м³ газу, 100 млн. тонн конденсату. За деякими оцінками розробка прогнозних ресурсів на акваторіях Азово-Чорноморського регіону складає усього 2,8 %. Настільки низький показник свідчить про те, що подальший розвиток нафтогазової галузі має бути пов'язаний з розробкою шельфу на основі використання морських бурових платформ (МБП) різного типу. Висока вартість і потенційна небезпека для морської екології від пошкоджень та аварій МБП накладають особливі вимоги до їх безпеки при проектуванні та експлуатації.

Спеціальний розділ таких вимог стосується проблеми стійкості МБП на м'яких та рухливих (далі по тексті - слабконесучих) ґрунтах, які переважають на шельфі Азово-Чорноморського басейну. Ці вимоги обумовлюються особливостями експлуатації МБП, які тривалий час знаходяться у точці буріння, і на відміну від суден не можуть уникнути впливу жорстоких штормів, а також необхідністю їх жорсткої фіксації в точці буріння, щоб уникнути пошкодження бурильної колони та свердловини.

Забезпечення стійкості МБП на ґрунті пов'язане з вирішенням відносно складних і недостатньо вивчених питань оцінки екстремальних зовнішніх навантажень і перекидаючих моментів від дії хвиль, вітру, течій, розрахунків сил і моментів утримання платформи на ґрунті з урахуванням заглиблення в нього опорних основ, визначенням характеристик розмиву донного матеріалу під дією придонних хвильових і стаціонарних течій.

Основний комплекс вимог забезпечення стійкості МБП на фунті визначено у спеціальному розділі Правил Російського Морського Регістру Судноплавства (МРС), що офіційно діє в Україні, а також у нормативних документах аналогічних класифікаційних товариств. Проте ці документи не містять конкретних розрахункових методів, що також обумовлює актуальність розв'язання науково-прикладної задачі створення чисельних методів розрахунку умов і характеристик стійкості МБП на слабконесучих фунтах за широкої варіації зовнішніх умов та конструктивних особливостей бурових платформ на основі сучасних засобів гідродинаміки взаємодії складних конструкцій з хвильовими та стаціонарними течіями, розмиву ґрунту поблизу і безпосередньо під опорною основою МБП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках цільової наукової програми "Наукові основи нарощування мінерально-сировинної бази України" фундаментальних досліджень НАН України (№ держ. реєстрації 0102U001482) і наукового напрямку кафедри Океанотехніки та кораблебудування Севастопольського національного технічного університету, в яких здобувач брала участь як виконавець.

Мета дисертаційної роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення проектування МБП на м'яких та рухливих ґрунтах шляхом розрахунку зовнішніх гідродинамічних сил від дії морських хвиль і течій, а також сил утримання платформи з урахуванням розмиву ґрунту.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішені наступні наукові задачі:

1.Визначено загальні умови стійкості МБП на ґрунті на основі аналізу вимог МРС та оцінки сил зчеплення опорної основи платформи з різними ґрунтами.

2.Розроблено математичну модель тривимірної взаємодії хвильових і стаціонарних течій з просторовими конструкціями МБП різного типу.

3.Виконано верифікацію математичної моделі шляхом порівняння з результатами лабораторних експериментів.

4.Встановлено закономірності розмиву ґрунту поблизу та під опорною основою МБП.

5.Отримано залежності критеріїв стійкості МБП зі зсуву та перекиданню від параметрів зовнішніх впливів.

6.Реалізовано розроблені розрахункові методики і чисельні схеми при проектуванні МБП на слабконесучих ґрунтах.

Об'єктом дослідження є процес силової взаємодії морських хвиль і течій з МБП різного типу.

Предметом дослідження є вплив конструктивних параметрів МБП на їхню стійкість на слабконесучих ґрунтах за широкої варіації параметрів морських хвиль і течій.

Методи дослідження: метод кінцевих об'ємів, використаний для чисельного розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса з осередненням за Рейнольдсом, що описують просторові розподіли швидкості і тиску під час обтікання конструктивних елементів МБП хвильовими та стаціонарними морськими течіями; метод чисельного розрахунку розмиву дна поблизу і під опорною основою МБП на основі статистичного узагальнення моделі В.О. Іванова та О.Є. Міхінова; метод кінцевих елементів, застосований для розрахунку напруженого стану і деформації опорних колон під дією зовнішніх сил.

Наукова новизна отриманих результатів.

1.Вперше складено і досліджено математичну модель взаємодії просторових конструкцій МБП з хвильовими та постійними течіями, яка описує тривимірний залежний від часу розподіл швидкостей і тиску, що дає змогу визначати діючі на МБП зовнішні сили за широкої варіації параметрів морських хвиль і течій.

2.Отримала подальший розвиток модель розмиву донного матеріалу, яка на відміну від існуючих враховує статистичний розподіл фракцій донного матеріалу за розмірами часток ґрунту, а також поле придонних течій з впливом на нього конструктивних елементів МБП, що дає змогу встановити основні закономірності розмиву ґрунту поблизу та під опорною основою МБП.

3.Удосконалено чисельні схеми розрахунку критеріїв стійкості МБП на м'яких та рухливих ґрунтах шляхом врахування спільної дії зовнішніх сил і моментів від впливу морських течій і хвиль (напрямку, висоти та періоду), а також сил і моментів утримання таких систем на ґрунті, що утворює базову технологію проектування МБП на м'яких та рухливих ґрунтах.

Достовірність результатів дисертаційної роботи. Достовірність теоретичних і прикладних результатів, висновків дисертаційної роботи підтверджується коректною постановкою задачі; коректним чисельним розв'язанням фундаментальних рівнянь гідромеханіки; відповідністю результатів чисельного моделювання даним лабораторних досліджень.

Практичне значення мають:

- методика і комп'ютерна програма розрахунку нестационарного просторового розподілу складових швидкості та тиску (зовнішніх сил) під час впливу морських хвиль і течій на МБП різного типу;

- методика розрахунку характеристик розмиву ґрунту поблизу та під опорною основою МБП;

- конструктивне рішення у вигляді додаткового укріплення заглибної бурової установи (ЗБУ), що забезпечує підвищення її стійкості на ґрунті зі зсуву.

Основні результати роботи використані наступними організаціями: ВАТ Центральне конструкторське бюро «КОРАЛ» (м. Севастополь) під час проектування МКСП «Шельф-7» (методика та програма розрахунку хвильової складової гідродинамічного навантаження на морську бурову установку); Морський гідрофізичний інститут Національної академії наук України під час виконання проекту «Ресурси шельфу» цільової наукової програми «Наукові основи нарощування мінерально-сировинної бази України», номер державної реєстрації 0102U001482 (аналіз і обґрунтування оптимальних характеристик бурових платформ і магістральних трубопроводів у шельфових зонах Азово-Чорноморського басейну). Методика та програма розрахунку зовнішніх гідродинамічних сил на МБП різного типу використовується в навчальному процесі, а також у науково-дослідній роботі кафедри Океанотехніки та кораблебудування Севастопольського національного технічного університету.

Конкретна особиста участь автора в одержанні наведених у дисертації наукових результатів полягає у створенні математичної моделі просторової структури нестационарних полів швидкості та тиску, які формуються під час впливу морських хвиль і течій на МБП; у розробці методики розрахунку характеристик розмиву та акумуляції ґрунту з урахуванням статистичного розподілу фракцій донного матеріалу і поля придонних течій; у встановленні залежностей критеріїв стійкості МБП зі зсуву та перекидання від параметрів зовнішніх впливів (морських течій і хвиль).

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені і обговорені на науково-технічних конференціях Морського гідрофізичного інституту Національної академії наук України «Системи контролю навколишнього середовища» (Севастополь, 2001, 2002, 2004 р.); VII Севастопольській Міжнародній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми моніторингу і прогнозу стихійних, техногенних і соціальних катастроф» (Севастополь, 2004 р.); міжкафедральному семінарі факультету Морських технологій і судноплавства (Севастополь, 2004 р.); науковому семінарі кафедри морських технологій НУК ім. адмірала Макарова (Миколаїв, 2005 р.); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу НУК ім. адмірала Макарова (Миколаїв, 2004, 2006 р.).

Публікації За темою дисертації опубліковано 11 друкованих праць, зокрема 5 статей у збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України для опублікування матеріалів дисертаційних досліджень.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 100 найменувань, 3-х додатків. Основний матеріал викладено на 113 сторінках машинописного тексту, з них 16 таблиць і 56 рисунків. Додатки представлено на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, її основну мету, вирішені задачі, отримані наукові результати, зв'язок з науковими програмами, наукову новизну і практичну цінність.

У першому розділі виконано аналіз основних факторів, що забезпечують стійкість морських бурових платформ на м'яких та рухливих ґрунтах відповідно до вимог МРС. Виділено основні фактори, що визначають умови стійкості МБП на ґрунті:

- механічні навантаження від впливу хвиль і течій;
- сили утримання МБП на морському дні;

-розмив донного матеріалу під дією хвиль і течій поблизу і під опорною основою МБП.

Розглянуті постановка завдання дослідження і стан проблеми.

Наведено огляд існуючих методів розрахунку стійкості МБП на ґрунті у вітчизняній і закордонній літературі. Роботи, присвячені питанням стійкості і міцності при проектуванні споруд морського шельфу, виконані: О.О. Алисейчиком, І.М. Галаховим, К.Я. Капустіним, В.О. Лобановим, Р.І. Вяхіревим, В.П. Шостаком. Однак, через істотні відмінності архітектури, режимів і умов експлуатації МБП, існуючі методи розрахунку умов стійкості МБП на ґрунті носять загальний характер і не враховують можливого різноманіття процесів їхньої взаємодії з морським середовищем. Необхідно відзначити роботи, присвячені вивченню питань визначення гідродинамічних навантажень на МБП від дії хвиль, вітру, течій (Л.Є. Анапольська, М.Ф. Барштейн, Б.Х. Глухівський, В.М. Кушнір, Д.Д. Лаппо, О.Є. Литонов, І.Ш. Халфін), вирішенню завдання розрахунку сил утримання МБП на ґрунті (Т. Доусон). В галузі теорії літодинамічних процесів на морському шельфі відомі дослідження В.О. Іванова, О.Є. Міхінова, В.М. Кушніра. Відомі методи розрахунку зовнішніх сил і моментів не враховують основні особливості й різноманіття процесів взаємодії конструкції платформ з морськими хвилями і течіями, зони концентрації перепадів тиску і пов'язаних із цим сил, а також не враховується вплив неоднорідності поля хвильових і стаціонарних течій на розмив ґрунту під опорною основою МБП. Досягнення закордонних фахівців знайшли відбиття в Правилах класифікаційних товариств, однак ці правила містять лише принципові вимоги до конструкцій, а конкретні методи розрахунку умов стійкості в них відсутні. Таким чином, у відомих роботах відзначена принципова важливість питання стійкості МБП на ґрунті, визначено основні напрямки вирішення цієї проблеми «шляхом розрахунку зовнішніх сил і моментів, а також зіставлення їх з силами й моментами утримання установки.

Розроблено напрямки дослідження і технологічна карта дисертаційної роботи. Наведено класифікацію типів слабконесучих ґрунтів та їх фізико-механічних властивостей.

Розроблено чисельну схему розрахунку осідання в ґрунт і критичного зусилля зрушення опорної основи МБП. Як приклад, виконано розрахунки цих величин стосовно ЗБУ «Тазов-1» проекту ЦКБ «Корал» (м. Севастополь) при різних значеннях притискового навантаження і характеристик шарів ґрунту. Отримані результати показали, що величини заглиблення опорної основи відносно мало залежать від комбінації параметрів ґрунту і визначаються, в основному, характеристиками його верхнього шару й величиною притискового навантаження. Чисельні розрахунки показали також, що при характерних параметрах заглиблення 0,1...0,2 м, зусилля зсуву передньої крайки ґрунту стосовно зусилля тертя й зрушення є величиною біля одного відсотка.

У другому розділі побудована загальна теоретична база дисертаційної роботи.

Обґрунтовано методи розрахунку зовнішніх сил на складні конструкції МБП різного типу. Враховано імовірнісний розподіл зовнішніх сил на МБП залежно від швидкості вітру й напрямку поширення хвиль. Показано, що імовірнісні розподіли параметрів поверхневих хвиль (висоти, періоду, довжини) для хвиль малої амплітуди відповідають імовірнісному розподілу Вейбула.

Складено тривимірну математичну модель взаємодії хвильових і стаціонарних течій з просторовими конструкціями МБП на основі використання рівнянь Нав'є-Стокса з осередненням за Рейнольдсом.

Розрахунок просторового розподілу складових швидкості течії $u_k, k = 1, 2, 3$ нестисливої в'язкої рідини виконаний у відповідності з наступними рівняннями

$$\frac{\partial u_k}{\partial x_k} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i u_k - \frac{1}{\rho} \tau_{ik}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = S_i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}[(E + \frac{p}{\rho})u_k - \frac{\tau_{ik} u_i}{\rho}] = S_k u_k, \quad (3)$$

де S_i – розподілені зовнішні сили, віднесені до одиниці маси; E – загальна енергія, віднесена до одиниці маси, $\text{м}^2/\text{с}^2$; $\tau_{ik} = \mu(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij}) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$ – тензор в'язких зсувних напруг; $\mu = \mu_l + \mu_t$, де μ_l – коефіцієнт динамічної в'язкості, кг/мс ; μ_t – коефіцієнт турбулентної в'язкості кг/мс ; δ_{ij} – дельта-функція Кронекера ($\delta_{ij} = 1$ при $i = j$; $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$); p – тиск, Па ; k – кінетична енергія турбулентності, $\text{м}^2/\text{с}^2$; ρ – густина води, кг/м^3 .

Для замикання системи використовуються транспортні рівняння кінетичної енергії турбулентності і швидкості її дисипації в одиниці об'єму (k - ϵ модель турбулентності).

Відповідно до k - ϵ моделі турбулентності, μ_t визначається через величини кінетичної енергії турбулентності k і дисипації цієї енергії ϵ $\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}$, де $f_\mu = [1 - \exp(-0,025 R_y)]^2 (1 + \frac{20,5}{R_T})$; $R_y = \frac{\rho y \sqrt{k}}{\mu_l}$, $R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_l \epsilon}$; $C_\mu = 0,09$; y – відстань від твердої поверхні стінки. Функція f_μ дає змогу врахувати перехід від ламінарного руху до турбулентного.

Кінетична енергія турбулентності k і дисипація цієї енергії ϵ визначаються в результаті розв'язання двох рівнянь:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_k)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}[(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_k}] + S_k, \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_k)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}[(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k}] + S_\epsilon, \quad (5)$$

де $S_k = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon + \mu_t P_B$; $S_\epsilon = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} (f_1 \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B) - C_{\epsilon 2} f_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k}$; ϵ – швидкість дисипації кінетичної енергії турбулентності в одиниці об'єму, $\text{м}^2/\text{с}^3$;

$P_B = -\frac{g_i}{\sigma_B} \cdot \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$, g_i – складова гравітації по осі x_i , м/с²; $\sigma_B = 0,9$; $C_B = 1$ при

$P_B > 0$; $C_B = 0$ при $P_B \leq 0$; $f_1 = 1 + \left(\frac{0,05}{f_\mu}\right)^3$, $f_2 = 1 - \exp(-R_T^2)$; $C_\mu = 0,09$;

$C_{\varepsilon 1} = 1,44$; $C_{\varepsilon 2} = 1,92$; $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $\sigma_k = 1$, $\sigma_c = 0,9$ – емпіричні коефіцієнти.

Розв'язання рівнянь (1-3) виконується при заданих граничних умовах. Загальна розрахункова схема розв'язання крайового завдання показана на рис. 1. Осі координат утворюють декартову систему, у якій вісь ox спрямована вздовж діаметральної площини МБП, вісь oy – впоперек цієї площини, вісь oz – вертикально нагору від поверхні моря.

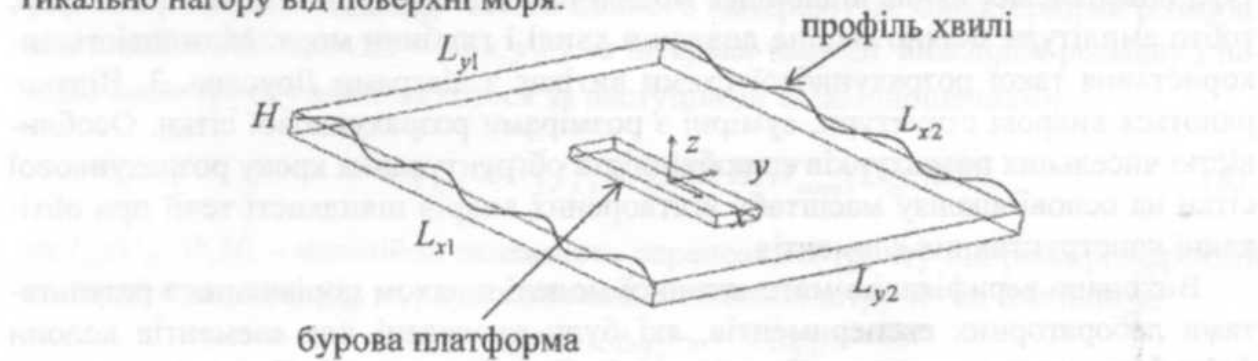


Рис. 1. Загальна розрахункова схема завдання обтікання конструктивних елементів МБП різного типу (H – глибина моря).

Граничні умови:

1. З боку зовнішнього (вхідного) потоку L_{y1} задаються профіль хвильової течії з потенціалом швидкості, що дорівнює

$$F(x, y, z, t) = \frac{\omega a \cosh[k(H + z)]}{k \sinh(kH)} \cos(\omega t - kx \cos \alpha - ky \sin \alpha), \quad (6)$$

де $\omega = 2\pi/T$ – кругова частота хвильових коливань, рад/с; T – період хвильових коливань, с; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число, рад/м; H – глибина моря, м; a – амплітуда хвилі, м; α – кут між поздовжньою віссю платформи ox і напрямком поширення хвилі.

На поверхні моря задається лінеаризована динамічна умова:

$$\omega^2 w + g \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (7)$$

де w – вертикальна хвильова швидкість, м/с; $\omega = 2\pi/T$ – кругова частота хвильових коливань, рад/с; g – прискорення вільного падіння, м/с².

На поверхні моря дрейфова швидкість течії U_p утворює з віссю ox кут β . Складові швидкості поверхневої течії вздовж осей ox , oy залежно від швидкості вітру обчислюються з використанням відомих емпіричних співвідношень або гідродинамічних моделей, а також за даними кліматичних довідників.

2. Визначається геометрія МБП у заданій системі прямокутних декартових координат x , y , z . На поверхні конструкції МБП і на дні задається умова прилипання (складові вектора швидкості течії дорівнюють нулю, тобто $u = v = w = 0$).

3. На бічній границі (стінка L_{y2}), яку хвиля й середня течія проходять після взаємодії з платформою, задається умова Зоммерфельда (умова не відбиття хвильових збурень).

Для розв'язання завдання необхідно задати початкові умови. У розглянутому випадку, у початковий момент часу задається однорідний потік з постійною швидкістю й незбурене хвильове поле, а також, з огляду на турбулентний характер течії, задаються інтенсивність турбулентності I_t та шлях перемішування l_p . Чисельне розв'язання завдання виконується методом кінцевих об'ємів, при якому дискретні рішення визначаються як середні значення за обсягом чарунки і ці значення приписуються її центру. Використано наступні припущення: 1. Постійна глибина моря на відстані не

менше 10 довжин хвиль. 2. Структура поверхневих хвиль відповідає моделі потенційних хвиль малої амплітуди, тобто амплітуда значно менше довжини хвилі і глибини моря. Можливість використання такої розрахункової схеми витікає з діаграми Доусона. 3. Відтворюються вихрові структури, сумірні з розмірами розрахункової сітки. Особливістю чисельних розрахунків є необхідність обґрунтування кроку розрахункової сітки на основі аналізу масштабу відтворених вихрів швидкості течії при обтіканні конструктивних елементів.

Виконано верифікацію математичної моделі шляхом порівняння з результатами лабораторних експериментів, які були проведені для елементів колони фермового типу триопорної самопіднімальної плавучої бурової установи (СПБУ) у масштабі 1:60 в дослідному басейні ЦНДІ ім. акад. О.М. Крилова (м. Санкт-Петербург). У ході досліджень експериментальним шляхом визначено коефіцієнти хвильового та інерційного опору фермових конструкцій, а також виконано аналіз хвильових навантажень для різних кутів а підходу хвиль до площини симетрії колони. Коефіцієнти опору визначалися за навантаженнями, обміряними на маятниковій установці. Розрахункова й експериментальна залежності хвильових навантажень F_v та коефіцієнтів хвильового опору C_x опори СПБУ за різних кутів поширення хвиль показані на рис. 2, 3, де видно, що вони близькі, розбіжності складають 10...15 %.

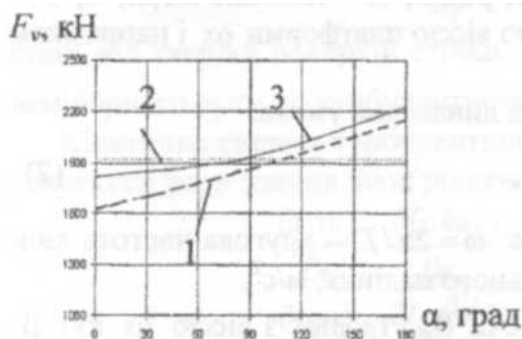


Рис. 2. Результати зіставлення величин хвильових навантажень, діючих на опору СПБУ за різних кутів поширення хвиль 1 – експериментальні дані, 2 – дані ЦКБ, 3 – гідродинамічний розрахунок.

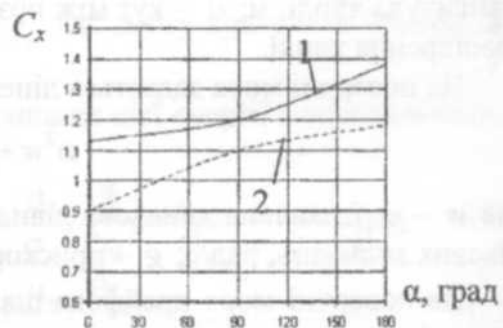


Рис. 3. Результати зіставлення коефіцієнтів хвильового опору опори СПБУ за різних кутів поширення хвиль 1 – гідродинамічний розрахунок, 2 – експериментальні дані.

Розроблено методику розрахунку величин розмиву та акумуляції донного матеріалу поблизу і безпосередньо під опорною основою МБП різного типу, на підставі статистичного узагальнення моделі В. О. Іванова та О. Є. Міхінова. Ця модель доведена до рівня розрахункової схеми. У ній враховано формування тангенціальних напруг на деформованому дні в умовах його рифельної будови під дією гідродинамічних процесів: вітрового хвилювання і течій, а також використано результати чисельних, аналітичних і експериментальних досліджень характеристик енергетичних втрат турбулентного потоку в береговій зоні відкритих водойм. Особливістю даної розрахункової схеми є те, що в ній фігурує середній діаметр часток донного матеріалу, у той час, коли реальний піщаний ґрунт містить частки розміром 0,05...10 мм. Через це у роботі враховано імовірнісний розподіл $W_{\text{імов}}(D_{\text{сп}})$ часток донного матеріалу за характерними розмірами, а зміна глибини $\Delta H = f(x, y, t)$ за інтервал часу Δt внаслідок розмиву і накопичення ґрунту обчислюються за наступними співвідношеннями

$$\langle q_{x,y} \rangle = \int_0^{\infty} f_{x,y}(D_{zp}, W, H) W_{\text{мос}}(D_{zp}) dD_{zp}, \quad (8)$$

де $f_{x,y}(D_{zp}, W, H)$ – нелінійна залежність перенесення ґрунту від розмірів фракцій донного матеріалу D_{zp} за різних значень швидкості вітру W та глибини H .

$$\frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{\langle \Delta q_x \rangle}{\Delta x} + \frac{\langle \Delta q_y \rangle}{\Delta y}, \quad (9)$$

де $\Delta q_x, \Delta q_y$ – збільшення середніх величин перенесення донного матеріалу на відрізках $\Delta x, \Delta y$, уздовж координатних осей x, y .

При виконанні розрахунків враховується структура течій поблизу дна, сформована під час взаємодії фонових хвильового й стаціонарного потоків з опорною основою ПБУ. При цьому розв'язання рівнянь (1-3) виконується зі змінними, через певні інтервали розрахункового часу, крайовими умовами на дні з урахуванням зміни напрямку хвиль і течії.

У третьому розділі об'єктом дослідження є процес силової взаємодії морських хвиль і течій з МБП різного типу. Виконано аналіз стійкості ЗБУ «Тазов-1» від параметрів зовнішніх дій. Розрахункова схема розв'язання завдання обтікання опорної основи ЗБУ хвильовою і стаціонарною течіями наведена на рис. 4.

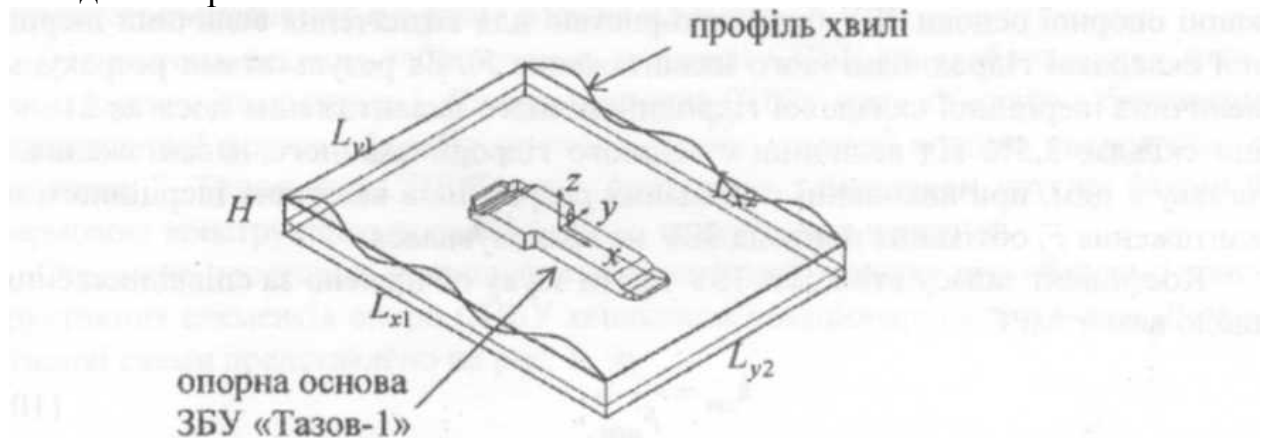


Рис. 4. Розрахункова схема задачі взаємодії хвильового і стаціонарного потоків з опорною основою ЗБУ «Тазов-1».

Розміри розрахункової області: $L_{x1} = L_{x2} = 100$ м, $L_{y1} = L_{y2} = 100$ м, $H = 10$ м. Вибір цих величин обумовлений, з одного боку, максимальною довжиною хвилі (43 м при швидкості вітру 40 м/с) і, з іншого, обмеженням можливості комп'ютера (кількості розрахункових чарунок). Центр координат знаходиться на поверхні моря, у центрі розрахункової області.

При виконанні розрахунків використовувались параметри поверхневих хвиль, що відповідають швидкості штормового вітру в діапазоні 20...40 м/с, обчислені для глибини $H = 10$ м на основі напівемпіричних моделей, які застосовують для інженерних гідродинамічних розрахунків.

Як характерний приклад на рис. 5, 6 представлені результати чисельних розрахунків просторового розподілу складових швидкості течії і тиску при обтіканні опорної основи ЗБУ.

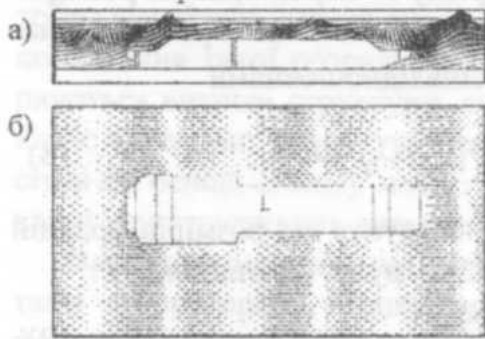


Рис. 5. Результати чисельного розрахунку просторового розподілу швидкості течії при обтіканні опорної основи ЗБУ. Швидкість вітру $W=20$ м/с, кут поширення хвиль $\alpha=0^\circ$ (а – вид збоку, б – вид зверху).

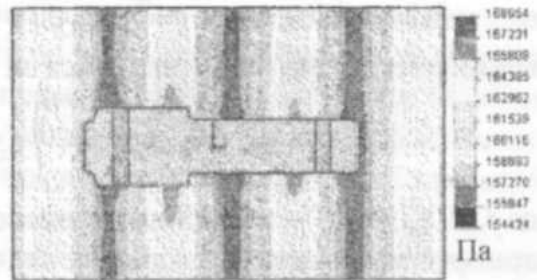


Рис. 6. Просторовий розподіл складової тиску при швидкості вітру 30 м/с, кут поширення хвиль $\alpha=0^\circ$. Величини тиску відповідають шкалі на рисунку.

Дані обчислення тиску на поверхні опорної основи були використані для визначення горизонтальних гідродинамічних сил F_x , F_y за різних кутів поширення хвиль щодо осей опорної основи. Аналіз результатів досліджень показав, що при куті поширення хвиль $\alpha=90^\circ$ значення F_v є максимальним і приблизно в 1,5 рази перевищує значення сил при інших кутах і досягає величини 8000 кН.

Результати розрахунку просторового розподілу швидкості течії при обтіканні опорної основи ЗБУ були використані для визначення величини інерційної складової гідродинамічного навантаження F_i . За результатами розрахунків величина інерційної складової гідродинамічного навантаження досягає 216 кН, що складає 2,5% від величини сумарного гідродинамічного навантаження. У зв'язку з цим, при виконанні подальших розрахунків величина інерційного навантаження F_i обтікання понтона ЗБУ не враховувалася.

Коефіцієнт запасу стійкості ЗБУ проти зсуву обчислено за співвідношенням щодо вимог МРС

$$k_{cm} = \frac{P}{F_{зідр}}, \quad (10)$$

де P – сила утримання платформи на ґрунті, кН; $F_{зідр}$ – величина горизонтальної

гідродинамічної сили, що діє на опорну основу ЗБУ при хвильовому і стаціонарному обтіканні, кН.

Виконані чисельні розрахунки основних складових коефіцієнта запасу стійкості k_{cm} проти зсуву ЗБУ для різних типів ґрунтів (мул, глина, пісок), швидкостей вітру і напрямку поширення хвиль показали, що в деяких випадках імовірні зсуви платформи (коефіцієнт запасу стійкості істотно менший критичного значення, що дорівнює 1,5). Така ситуація може, зокрема, виникнути, коли бурова установка встановлена на мулистому ґрунті, швидкість вітру досягає 40 м/с, напрямок поширення хвиль і течії становить кут 90° стосовно поздовжньої осі платформи, а притисне зусилля є мінімальним внаслідок витрати основних технологічних запасів бурової установки (рис. 7).

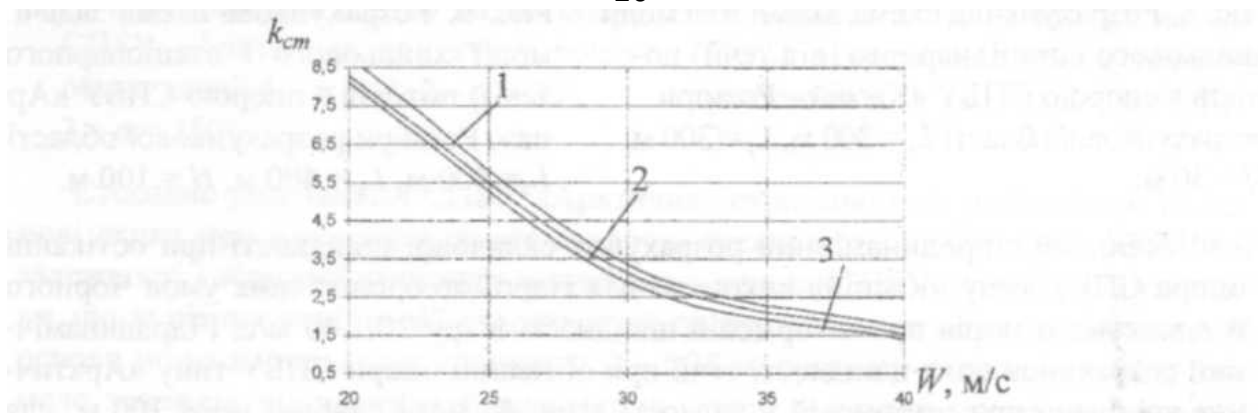


Рис. 7. Графік залежності $k_{cm} = f(W)$ за різних значень притисного навантаження для мулистого ґрунту $\alpha = 90^\circ$:
1 – 20000 кН, 2 – 15000 кН, 3 – 13000 кН

Отримані дані послужили підставою для додаткового зміцнення платформи на ґрунті за допомогою трьох масивних паль, що вдавлюються у ґрунт на глибину до 12 м і установки на корпусі конструкцій для кріплення таких паль.

Виконано чисельний розрахунок розмиву ґрунту дна, який показав, що за швидкості штормового вітру 40 м/с і куті поширення хвиль 45° поблизу опорної основи ЗБУ формуються локальні області розмиву донного матеріалу, причому максимальна величина розмиву досягає 2,0 м/доб. При зменшенні швидкості штормового вітру до 20 м/с і при тому ж куті поширення хвиль, величина розмиву зменшується приблизно в 4 рази і досягає 0,5 м/доб.

Досліджено питання забезпечення стійкості СПБУ на слабконесучих ґрунтах, стосовно двох типів: 1. Чотирьохопорна СПБУ типу «Каспій» з башмаком шестигранної форми і фермовою конструкцією опорної колони, квадратною в перетині; 2. Триопорна СПБУ типу «Арктична» з башмаком круглої форми й фермовою конструкцією опорної колони, трикутною в перетині.

Отримано просторові розподіли швидкості течії та тиску при обтіканні конструктивних елементів опори СПБУ хвильовим і стаціонарним потоками. Розрахункові схеми представлено на рис. 8,9.

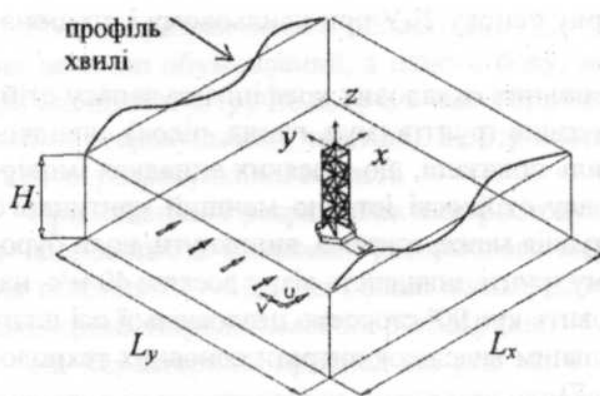


Рис. 8. Розрахункова схема задачі взаємодії хвильового і стаціонарного (від течії) потоків з опорою СПБУ «Каспій». Розміри розрахункової області $L_x = 300$ м, $L_y = 300$ м, $H = 30$ м.

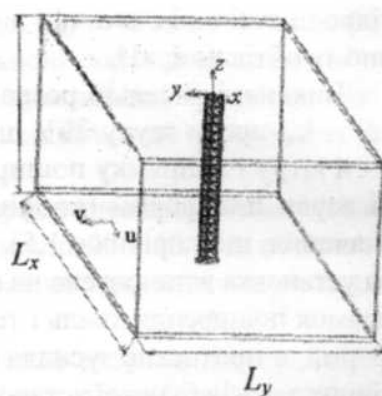


Рис. 9. Розрахункова схема задачі взаємодії хвильового і стаціонарного (від течії) потоків з опорою СПБУ «Арктична». Розміри розрахункової області $L_x = 400$ м, $L_y = 400$ м, $H = 100$ м.

Чисельний гідродинамічний розрахунок складової швидкості при обтіканні опори СПБУ типу «Каспій» виконано для гідрометеорологічних умов Чорного й Азовського морів при штормовій швидкості вітру 20...40 м/с. Гідродинамічний розрахунок поля швидкості течії при обтіканні опори СПБУ типу «Арктична» виконано при штормовій швидкості вітру 45 м/с і глибині моря 100 м, для трьох кутів поширення хвиль $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 180^\circ$. Характерний приклад результатів розрахунків у векторному вигляді показано на рис. 10.

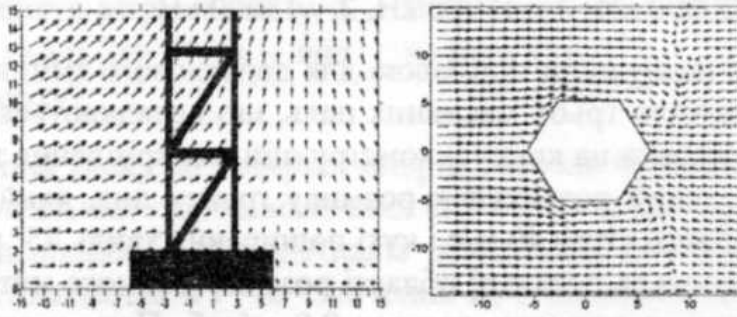


Рис. 10. Результати чисельного гідродинамічного розрахунку просторового розподілу швидкості течії обтікання опори СПБУ «Каспій» при $W = 40$ м/с і $\alpha = 0^\circ$.

Результати розрахунку просторового поля тиску для СПБУ «Арктична» при штормовій швидкості вітру $W = 45$ м/с і різних кутах набігання хвилі показали, що спостерігаються певні деформації природного хвильового поля тиску, обумовлені опорою СПБУ. Особливості просторового поля тиску полягають у наступному: значна неоднорідність у вигляді областей збільшення й зменшення тиску з характерними перепадами порядку 200...350 Па у вузлах фермової конструкції, 150...200 Па поблизу різних частин башмака основи. Особливо виражені області збільшення тиску перед опорою у напрямку поширення течії, де його швидкість зменшується. Результати розрахунку величин хвильової та інерційної складової гідродинамічного навантаження показані на рис. 11, 12.

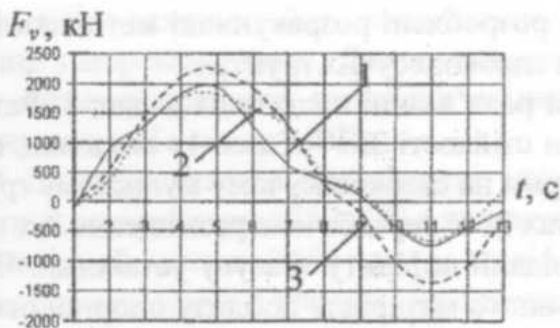


Рис. 11. Характер зміни величини хвильової складової гідродинамічного навантаження F_v , що діє на опору СПБУ «Арктична» при кутах поширення хвилі: 1 – $\alpha = 0^\circ$, 2 – $\alpha = 90^\circ$, 3 – $\alpha = 180^\circ$.

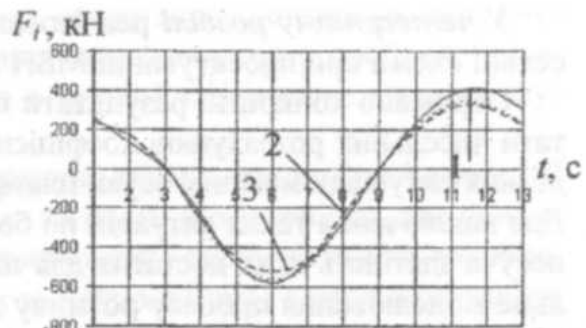


Рис. 12. Характер зміни величини інерційної складової гідродинамічного навантаження F_i , що діє на опору СПБУ «Арктична» при кутах поширення хвилі: 1 – $\alpha = 0^\circ$, 2 – $\alpha = 90^\circ$, 3 – $\alpha = 180^\circ$.

Стосовно розглянутої СПБУ «Арктична» отримано наступні оцінки: на основі даних про параметри ґрунту в районі експлуатації СПБУ були обчислені залежності і відносні величини заглиблення основи СПБУ. Розрахунки показали, що за різних комбінацій властивостей ґрунту величина заглиблення опорної основи може змінюватися у межах 0,78...1,36 м, причому ці величини відносно мало залежать від комбінації параметрів ґрунту й обумовлюються, головним чином, характеристиками його верхнього шару та величиною притискного навантаження. Отримані оцінки можливого заглиблення основи використані для оцінок граничних горизонтальних навантажень на СПБУ. Ці навантаження визначаються, головним чином, значеннями притискних навантажень, площею основи та характеристиками верхнього шару ґрунту.

На основі використання тривимірної гідродинамічної моделі обтікання СПБУ «Арктична» хвильовими і стаціонарними течіями обчислено екстремальні сили зсуву та перекидні моменти. Ці величини зіставлені з величинами сил і моментів утримання установки, які враховують осідання опорних основ у ґрунт. У результаті отримані детальні залежності коефіцієнтів запасу

стійкості СПБУ за різних умов. Значення розрахункових коефіцієнтів зсуву k_{zc} перевищують нормативні і знаходяться у межах 4,75...5,25. Таким чином, вимоги МРС у частині стійкості щодо зсуву задовольняються (рис. 13). Розрахункові значення коефіцієнтів запасу щодо перекидання k_{nep} перевищують нормативні $k_{nep} \geq 1,5$, аналогічно висновку щодо зсуву.

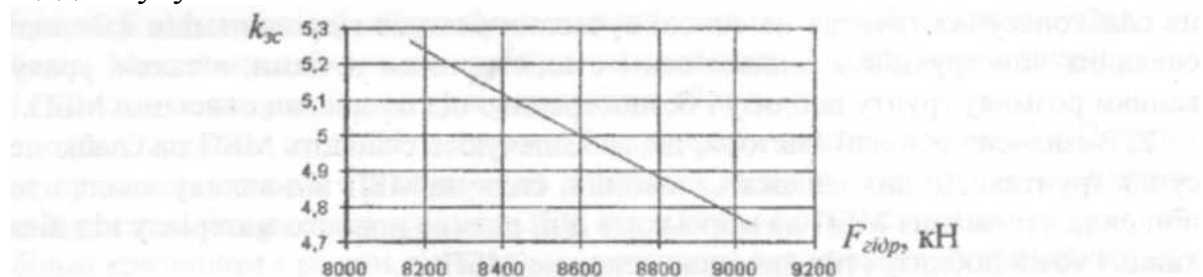


Рис. 13. Коефіцієнт запасу стійкості щодо зсуву СПБУ «Арктична» при величині осідання в ґрунт опори $\Delta h = 1,0$ м.

У четвертому розділі реалізовано розроблені розрахункові методики і чисельні схеми при проектуванні МБП на слабконесучих ґрунтах.

Отримано конкретні результати при розв'язанні наступних задач: 1. Результати чисельних розрахунків коефіцієнтів стійкості ЗБУ «Тазов-1» показали, що в деяких ситуаціях можливі зсуви платформи на слабконесучому мулистому ґрунті. Для виключення таких ситуацій по бортах ЗБУ передбачене розміщення 3-х паль, несуча здатність яких достатня для ліквідації дефіциту зі зсуву установки. Чисельне моделювання процесу розмиву донного матеріалу поблизу опорної основи бурової платформи й безпосередньо під нею, дає змогу завчасно виявити найнебезпечніші ситуації, пов'язані з нахилами та/або зсувом ЗБУ, а також здійснити різні заходи для запобігання втрати стійкості. 2. На основі використання тривимірної гідродинамічної моделі обтікання СПБУ хвильовими і стаціонарними течіями виконано розрахунок напруг і деформації металоконструкції опори СПБУ «Арктична» для найбільш несприятливого кута вітрохвильового впливу. Міцність металоконструкції опори перевірена при навантаженнях робочого режиму на глибині стоянки 100 м. Як розрахунковий метод при перевірці загальної міцності конструкції, використовується метод кінцевих елементів при стрижневій ідеалізації конструкції. Результати показали, що загальна міцність і стійкість опори в робочому режимі забезпечена відповідно до вимог Правил МРС. 3. Виконані чисельні розрахунки коефіцієнтів стійкості проти зсуву і перекидання для триопорної СПБУ «Арктична» і чотириопорної СПБУ «Каспій» при однакових впливах морського середовища показали, що запас стійкості чотириопорної установки в 1,5 рази вище ніж у триопорної.

У додатках наведені: верифікація чисельної схеми взаємодії стаціонарних течій з конструкціями циліндричної форми, розрахунок характеристик перенесення донного матеріалу в районах Чорного та Азовського морів, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу удосконалення проектування МБП на м'яких та рухливих ґрунтах шляхом розрахунку зовнішніх гідродинамічних сил від дії морських хвиль і течій, а також сил утримання платформи з урахуванням розмиву ґрунту. Актуальність поставленого наукового завдання обумовлена відсутністю досліджень стійкості МБП на слабконесучих ґрунтах на основі сучасних методів гідродинаміки взаємодії складних конструкцій з хвильовими і стаціонарними течіями, а також урахуванням розмиву ґрунту поблизу і безпосередньо під опорними основами МБП.

2.Визначено основні фактори, що забезпечують стійкість МБП на слабконесучих ґрунтах. До них належать: зовнішні сили на МБП від впливу хвиль і течій; сили утримання МБП на морському дні; розмив донного матеріалу під дією хвиль і течій поблизу і під опорною основою МБП.

3. Доведено, що механічні властивості ґрунту й структура його шарів значною мірою визначають параметри взаємодії опорної основи МБП з морським дном, тобто величину його заглиблення, силу опору зсуву установки, силу зчеплення з морським дном. Для визначення цих характеристик розроблено чисельну схему розрахунку величини осідання в ґрунт і критичного зусилля зрушення опорної основи МБП.

4.Вперше складено і досліджено математичну модель тривимірної взаємодії просторових конструкцій МБП з хвильовими та постійними течіями, яка описує тривимірний залежний від часу розподіл швидкостей і тиску на основі використання рівнянь Нав'є-Стокса з осередненням за Рейнольдсом і з параметризацією тензора підсіткових напружень на основі $k-\varepsilon$ моделі турбулентності. Це дало змогу обчислити нестационарні просторові розподіли швидкості і тиску. За результатами розрахованого поля тиску визначено зовнішні сили і моменти, що діють на елементи обтічних конструкцій МБП за широкої варіації параметрів морських хвиль і течій.

5.Виконано зіставлення результатів чисельних розрахунків з даними лабораторних експериментів. Відносне відхилення результатів теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень не перевищує 10...15 %.

6.Отримала подальший розвиток модель розмиву донного матеріалу, яка на відміну від існуючих враховує статистичний розподіл фракцій донного матеріалу за розмірами часток ґрунту, а також поле придонних течій з впливом на нього конструктивних елементів МБП, що дає змогу встановити основні закономірності розмиву ґрунту поблизу та під опорною основою МБП.

7.Удосконалено чисельні схеми розрахунку критеріїв стійкості МБП на м'яких і рухливих ґрунтах шляхом врахування спільної дії зовнішніх сил і моментів від впливу морських течій і хвиль (напрямку, висоти та періоду), а також сил і моментів утримання таких систем на ґрунті, що утворює базову технологію проектування МБП на м'яких та рухливих ґрунтах.

8.Показано, що при хвильовому й стаціонарному обтіканні конструктивних елементів МБП формуються зони збільшення швидкості течії на 40...50% стосовно фонові величини і зони затінення. Поле тиску характеризується значною неоднорідністю із зонами концентрації до 300...400 Па поблизу різних частин конструкції.

9.Отримано загальні залежності швидкості розмиву ґрунту від зовнішніх умов, конструктивних параметрів МБП різного типу та імовірного розподілу розмірів часток ґрунту. Розрахунки розмиву ґрунту поблизу опорної основи ПБУ під дією хвиль і течій показали, що формується плямиста картина переміжних областей розмиву і акумуляції ґрунту з характерними розмірами цих областей 5...10 м уздовж напрямку поширення хвиль і 30...50 м уздовж їхніх гребенів. Максимальний розмив ґрунту може досягати 2 м/доб при безперервному і стійкому за напрямком вітру зі швидкістю 40 м/с.

10. Отримано детальні залежності коефіцієнтів запасу стійкості МБП проти зсуву та перекидання від параметрів зовнішніх впливів. У тому числі визначені найнебезпечніші режими стосовно ЗБУ, які відповідають наступним умовам: найбільш критичним є режим, коли бурова установка встановлена на мулистому ґрунті, у цьому випадку коефіцієнт запасу стійкості щодо зсуву може досягати значень порядку 1,5...2, за реальної величини осідання опорної основи в ґрунт.

11.Реалізація розроблених розрахункових методик і чисельних схем при проектуванні МБП на слабконесучих ґрунтах показана на прикладах підвищення стійкості на ґрунті ЗБУ «Тазов-1», розрахунку міцності

12.металоконструкції опори СПБУ, а також за чисельного моделювання впливу морського середовища на МБП різного типу.

13.Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи відображено в актах впровадження: ВАТ Центральне конструкторське бюро «КОРАЛ» (м. Севастополь), під час проектування МКСП «Шельф-7» (методика та програма розрахунку хвильової складової гідродинамічного навантаження на морську бурову установку); Морський гідрофізичний інститут Національної академії наук України під час виконання проекту «Ресурси шельфу» цільової наукової програми «Наукові основи нарощування мінерально-сировинної бази України», номер державної реєстрації 0102U001482 (аналіз і обґрунтування оптимальних характеристик бурових платформ і магістральних трубопроводів в шельфових зонах Азово-Чорноморського басейну). Результати досліджень впроваджені в навчальний процес, а також у науково-дослідну роботу кафедри Океанотехніки та кораблебудування Севастопольського національного технічного університету.

13. Перспективи подальшого використання результатів дисертаційної роботи полягають у їх застосуванні для проектування МБП на слабконесучих ґрунтах; оптимізації конструктивних параметрів МБП за умови виконання вимог МРС щодо стійкості на ґрунті шляхом моделювання поведінки бурової платформи за широкої варіації зовнішніх умов, у тому числі за найжорсткіших впливів морського середовища.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.Коваленко В.Р.1, Кушнір В.М. Влияние опорного основания погружной буровой установки на поле гравитационных волн // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь, 2001. - С. 232 - 236.

2.Коваленко В.Р.2 Устойчивость гравитационных буровых платформ на мягких грунтах // Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ. - Севастополь, 2002. - С. 321 - 323.

3.Коваленко В.Р. Характеристики литодинамических процессов в Азовском море // Системы контроля окружающей среды: Доклады Международного научно-технического семинара. Часть 2. - Севастополь, 2003. - С. 85 - 88.

4.Душко В.Р., Кушнір В.М. Оценки экстремальных характеристик транспорта донного материала в Азово-Черноморском бассейне // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. Вып. 9 / НАН Украины, МГИ. - Севастополь, 2003. -С. 206-215.

5.Душко В.Р. Прогноз возможной скорости эрозии дна вблизи основания погружной буровой установки: Сб. науч. тр. СНИЯЭиП. - Севастополь, 2003 г. -Вып. 9.-С. 53-56.

6.Душко В.Р. Кешфиев С.Э., Кушнір В.М.. Особенности использования плавучих буровых установок в северо-западной части Черного моря// Екологічні проблеми Чорного моря. - Одеса: ОЦНТЕЛІ, 2004 г. - С. 145 - 149.

7.Душко В.Р., Ожиганов Ю.Г., Жемойдо Ю.Г., Кушнір В.М. Воздействие экстремальных штормовых волн на самоподъемные буровые установки// Сб. науч. тр. СНИЯЭиП.-Севастополь, 2004г.-Вып. П.-С. 127-133.

8.Душко В.Р., Кушнір В.М. Режим обтекания и транспорт донного материала вблизи опоры самоподъемной буровой установки// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование

ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ. - Севастополь, 2005. - Вып. 10. - С. 377-387.

9. Душко В.Р., Кушнир В.М. Статистические характеристики волновых гидродинамических нагрузок на морские буровые платформы// Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук, праць / НАН України, МП. - Севастополь, 2005. - Вип. 13. - С. 433 - 441.

10. Душко В.Р., Кушнир В.М. Характеристики воздействия поверхностных волн и течений на погружную буровую установку// Вестник СевГТУ. - Севастополь: СевГТУ, 2006. - Вып. 75. - С. 65 - 73.

11. Душко В.Р., Кушнир В.М. К вопросу о размыве донного материала вблизи опорного основания погружной буровой установки//Зб. наук, праць НУК. - Миколаїв: НУК. - 2006. - № 3. - С. 30 - 36.

Особистий внесок здобувача. [1] - чисельна схема осідання в ґрунт опорної основи ЗБУ при різних комбінаціях параметрів ґрунту; [4] - просторові розподіли середньої величини перенесення донного матеріалу для Чорного і Азовського морів; [6] - огляд різних типів МБП й їхніх конструктивних особливостей, які використовуються в північно-західній частині Чорного моря; [7, 8] - математична модель тривимірного обтікання конструктивних елементів опор СПБУ на основі розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса; [9] - визначення зовнішніх сил, що діють на СПБУ шляхом розрахунку тривимірних полів швидкості і тиску в умовах північно-західного шельфу Чорного моря; [10, 11] - методика розрахунку характеристик розмиву ґрунту поблизу і під опорною основою МБП.

АНОТАЦІЯ

Душко В. Р. Стійкість морських бурових платформ на м'яких і рухливих ґрунтах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 - механіка та конструювання суден. - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2007.

У дисертації розв'язана актуальна науково-прикладна задача удосконалення проектування МБП на слабконесучих ґрунтах шляхом розрахунку зовнішніх гідродинамічних сил від дії морських хвиль і течій, а також сил утримання платформи з урахуванням розмиву ґрунту.

Вперше складено і досліджено математичну модель взаємодії просторових конструкцій МБП з хвильовими та постійними течіями, яка описує тривимірний залежний від часу розподіл швидкостей і тиску, що дає змогу визначати діючі на МБП зовнішні сили за широкої варіації параметрів морських хвиль і течій.

Виконано зіставлення результатів чисельних розрахунків з даними лабораторних експериментів. Відносне відхилення результатів теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень не перевищує 10...15 %.

Отримала подальший розвиток модель розмиву донного матеріалу яка на відміну від існуючих враховує статистичний розподіл фракцій донного матеріалу за розмірами часток ґрунту, а також поле придонних течій з впливом на нього конструктивних елементів МБП, що дає змогу встановити основні закономірності розмиву ґрунту поблизу та під опорною основою МБП.

Удосконалено чисельні схеми розрахунку критеріїв стійкості МБП на м'яких і рухливих ґрунтах шляхом врахування спільної дії зовнішніх сил і моментів від впливу морських течій і хвиль (напрямку, висоти та періоду), а також сил і моментів утримання таких систем на ґрунті, що складає базову технологію проектування МБП на м'яких і рухливих ґрунтах.

Ключові слова: морська бурова платформа, самопіднімальна плавуча бурова установка, заглибна бурова платформа, опорна основа, проектування, стійкість, міцність, розмив донного матеріалу.

АННОТАЦИЯ

Душко В.Р. Устойчивость морских буровых платформ на мягких и подвижных грунтах. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - механика и конструирование судов. - Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2007.

В диссертации решена актуальная научно-прикладная задача усовершенствования проектирования МБП на мягких и подвижных грунтах, путем расчета внешних гидродинамических сил от действия морских волн и течений, а также сил удержания платформы с учетом размыва грунта.

Определены основные факторы, обеспечивающие устойчивость МБП на грунта на основе анализа требований МРС. К ним относятся: внешние силы, действующие на МБП различного типа; силы удержания МБП на морском дне; размыв грунта под действием волн и течений вблизи и непосредственно под опорным основанием МБП.

Приведена классификация различных типов мягких и подвижных грунтов и их физико-механические характеристики.

Разработана численная схема расчета величины просадки в грунт опорного основания и критического усилия сдвига МБП. Выполнены расчеты этих характеристик применительно к погружной буровой установке «Тазов-1» проекта ЦКБ «Коралл» (г. Севастополь).

Впервые разработана и исследована математическая модель трехмерного взаимодействия волновых и стационарных течений с пространственными конструкциями МБП различного типа на основе использования уравнений Навье-Стокса с осреднением по Рейнольдсу и с параметризацией тензора подсеточных напряжений на основе $k-\varepsilon$ модели турбулентности, что позволило вычислить нестационарные пространственные распределения составляющих скорости и давления. По результатам рассчитанного поля давления определены внешние силы и моменты, действующие на элементы обтекаемых конструкций МБП.

Выполнена верификация математической модели путем сопоставления с результатами лабораторных экспериментов, которые были проведены для элементов колонны ферменного типа трехопорной СПБУ в исследовательском бассейне ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург). Относительное отклонение результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований не превышает 10... 15 %, что свидетельствует об адекватности математической модели и объекта исследования.

Разработана методика расчета параметров размыва грунта вблизи и под опорным основанием МБП, в которой учитывается статистическое распределение фракций донного материала по размерам частиц грунта, а также поле придонных течений с влиянием на него конструктивных элементов МБП.

Получены соотношения для расчета среднего значения переноса грунта и величин изменения глубины вследствие размыва донного материала за заданный интервал времени. Выполненные численные расчеты показали, что формируется пятнистая картина чередующихся областей размыва и аккумуляции грунта с характерными размерами этих областей 5... 10 м вдоль направления распространения волн и 30...50 м вдоль их гребней. Максимальный размыв грунта может достигать 2 м/сутки при непрерывном и устойчивом по направлению ветре со скоростью 40 м/с.

Усовершенствованы численные схемы расчетов критериев устойчивости МБП на мягких и подвижных грунтах путем учета совместного действия внешних сил и моментов от морских течений и волн (направление, высота и период), а также сил и моментов удержания таких систем на грунте.

Определены наиболее опасные режимы применительно к МБП, которые соответствуют следующим условиям: буровая установка установлена на илистом грунте, величина прижимной нагрузки является минимальной, скорость ветра равна 40 м/с, в этом случае коэффициент запаса устойчивости достигает значений порядка 1,5... 2.

Реализация разработанных расчетных методик и численных схем при проектировании МБП на слабонесущих грунтах показана на примерах повышения устойчивости на грунте ПБУ «Тазов-1», расчета прочности металлоконструкции опоры СПБУ, численного моделирования воздействия морской среды на устойчивость МБП различного типа.

Ключевые слова: морская буровая платформа, самоподъемная плавучая буровая установка, погружная буровая платформа, опорное основание, проектирование, устойчивость, прочность, размыв донного материала.

SUMMARY

Dushko V. R. Stability of sea drilling platforms on soft and moving grounds. -Manuscript.

Thesis for candidate's degree by specialty 05.08.03 - ship's mechanics and design. - National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Nikolaev, 2007.

The actual scientific task of development of design techniques SDP is solved in the dissertation, taking into account their stability on soft and moving grounds, by calculation of external hydrodynamical interacting forces of complex space structures with sea wave and steady currents.

For the first time the three-dimensional time-dependant velocity distribution and pressure by interacting space structures of SDP with wave and fixed currents were obtained. It has allowed to define outside forces acting on them at a wide variation of parameters of sea waves and currents.

Comparison of results of numerical calculations to the data of laboratory experiments is executed. The relative rejection of results of theoretical calculations and experimental researches does not exceed 10... 15 %.

The model of washout of a ground material has received the further development and the statistical distribution of the ground material fractions on sizes of soil particles is taken into account. And also the field of bottom currents is used considering effect on it of constructive elements of SDP.

The dependences of criterions of SDP stability on soft and moving grounds according to demands of MRS were obtained and have allowed to determine regularities between outside forces and forces of platform deduction on a ground at different altitudes and directions of wave spreading, speeds and directions of sea currents, design features of sea drilling platforms.

Key words: a sea drilling platform, a self-elevating drilling rig, a submersible drilling rig, support basis, design, stability, strength, erosion of ground.

Підписано до друку 25.12. 2006 р. Формат 60х90/16. Папір офсетний. Гарнітура Тайме. Умови, друк, аркуш. 2,2. Тираж 100 прим. Замовл. № 49. Видавництво СевНТУ, НМЦ. 99053, м. Севастополь, Стрілецька балка, Студмістечко, 4-й учбовий корпус.