

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Заєць Анастасія Юріївна

УДК 629.563.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЛЬДОВИХ
НАВАНТАЖЕНЬ НА БУРОВІ ПЛАТФОРМИ
ДЛЯ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ**

Спеціальність 05.08.03 – конструювання та будування суден

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному морському університеті (ОНМУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник –

кандидат технічних наук, доцент
Бондаренко Олександр Валентинович,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, директор
Кораблебудівного навчально-наукового
інституту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кравцов Віктор Іванович
Національний авіаційний університет,
професор кафедри машинознавства

кандидат технічних наук, доцент
Давидов Ігор Пилипович
Національний університет «Одеська морська
академія», завідувач кафедри теорії та
устрою судна

Захист відбудеться "27" червня 2018 р. об 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.02 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, просп. Героїв України, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: м. Миколаїв, просп. Героїв України, 9.

Автореферат розісланий "26" травня 2018р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

В.В. Зайцев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення енергетичної незалежності України. Вирішення цієї важливої народногосподарської задачі неможливе без освоєння родовищ на континентальному шельфі Азово-Чорноморського басейну. Облаштування морських родовищ вуглеводнів пов'язане з конструюванням і будівництвом бурових платформ різних типів.

Успішне проектування нафтогазопромислових бурових платформ, призначених для експлуатації на шельфі морів і океанів, залежить від достовірних методів розрахунку зовнішніх впливів, зокрема льодових навантажень. Зовнішні навантаження на бурові платформи є основними факторами при виборі їх типів і конструктивних особливостей у процесі проектування з урахуванням природно-кліматичних умов конкретного району експлуатації. Об'єктивний розрахунок цих навантажень дозволить оптимізувати вартість таких споруд, які повинні успішно протистояти впливу вітрового хвилювання і дрейфуючим льодовим утворенням у замерзаючих морях, забезпечуючи ефективну експлуатацію промислів і екологічну безпеку цілих регіонів. Діючи в даний час нормативні документи щодо визначення цих навантажень не містять цілого ряду рекомендацій, які б враховували різні форми проєктованих споруд та усю різноманітність розрахункових сценаріїв, які можуть реалізуватися в процесі їх терміну служби. З цієї причини розвиток існуючих і створення нових методів розрахунку льодових навантажень на бурові платформи специфічних форм є досить актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертація виконана в рамках прикладних державних бюджетних науково-дослідних робіт «Гідродинаміка глибоководних платформ для умов Чорного моря» (№ держ. реєстрації 0111U003328), «Нелінійна динаміка бурових платформ на шельфі Азово-Чорноморського басейну» (№ держ. реєстрації 0113U001254) та відповідно до Енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність».

Мета і завдання наукового дослідження. Метою дисертації є удосконалення проектування бурових платформ на початковій стадії з урахуванням особливостей льодового режиму в Азово-Чорноморському басейні та на основі нейромережевого прогнозування товщини льодових утворень.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішені такі наукові завдання:

- проаналізовано можливі акваторії розміщення морських бурових платформ в Азово-Чорноморському басейні;
- визначено основні фактори впливу зовнішніх навантажень, які необхідно враховувати при проектуванні бурових платформ для шельфу Азово-Чорноморського басейну;
- сформульовано задачу врахування фізичних факторів формування льодових утворень для оцінки величини льодового навантаження на бурові платформи;
- удосконалено методику визначення льодових навантажень на бурові платформи з використанням нейромережових технологій на початкових стадіях проектування.

Об'єктом дослідження є процес силового впливу льодових полів на бурові платформи різного типу.

Предметом дослідження є визначення величини льодового навантаження на бурові платформи на основі обґрунтованого прогнозу товщини льоду в районі їх розміщення.

Методи дослідження. Задача прогнозування товщини льоду в заданому районі сформульована і вирішена за допомогою апарату штучних нейронних мереж. Також у роботі використано наступні наукові методи дослідження:

- метод градієнтного спуску для мінімізації похибки при прогнозуванні товщини льоду з використанням нейронних мереж;
- метод Quick-Prop2 з використанням сполучених градієнтів для оптимізації параметрів навчання;
- метод Левенберга-Маквардта для пошуку параметра масштабування розміру кроку навчання нейронної мережі;
- метод Хебба (при навчанні нейронної мережі) для зміни вагових зв'язків між нейронами.

При вирішенні задачі визначення величин льодових навантажень використані фундаментальні методи Ralston, метод Croasdale, метод Meller, що лежать в основі методик.

Проблемам розрахунку льодових навантажень присвячені роботи К.Н. Шхінека, Ю.В. Долгополова, К.М. Коржавіна, Є.В. Уварової, Т. Доусона, Є.Н. Беллендира, В.П. Афанасьєва, В.М. Кушніра та інших вітчизняних і закордонних науковців. Роботи цих учених стали науковим підґрунтям для виконання дисертації.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі досліджено проблему льодових навантажень на стаціонарні бурові платформи та розроблено новий метод визначення цих навантажень, який на відміну від існуючих робіт цього напрямку враховує реальний стан і довготривалий прогноз льодової обстановки в конкретному районі експлуатації бурових платформ. Наукова новизна результатів, представлених у дисертації, полягає в наступному:

- вперше шляхом застосування штучних нейронних мереж отримано модель прогнозування льодових утворень в акваторії установки стаціонарної бурової платформи як одного з основних способів визначення величини діючого льодового навантаження, що дозволяє оцінювати реальні навантаження як на створювані, так і на існуючі споруди;
- вперше на підставі апроксимації на заданому наборі прикладів функцій фізичних параметрів, що впливають на формування льодових утворень, та за допомогою процедури впровадження ряду в багатовимірне рівняння створено інструментарій для прогнозування експлуатаційних навантажень на вже існуючі бурові платформи. Це дозволяє попередити екстремальні та аварійні ситуації при експлуатації споруд;
- удосконалено методику розрахунку льодових навантажень на бурові платформи шляхом застосування штучних нейронних мереж, що дозволяє враховувати товщину реальних льодових утворень району експлуатації та оцінювати величину льодового навантаження на початкових стадіях проектування бурових платформ для цього району;

- на підставі результатів, отриманих із застосуванням нейромережових технологій, виконано аналіз існуючих проектів льодостійких платформ, надано рекомендації щодо вибору їх архітектурно-конструктивного типу та вдосконалення конструкції з урахуванням вітро-хвильових і льодових навантажень в умовах Азовського моря.

Наукове значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що формулювання і розв'язання задачі проектування з урахуванням розробленої методики аналізу льодового навантаження зараз є актуальними невирішеними проблемами сучасної теорії проектування засобів освоєння шельфу. Розв'язання цієї задачі дає можливість удосконалити процес проектування бурових платформ для Азово-Чорноморського басейну.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні прикладної методики, реалізованої у вигляді розробленого програмного забезпечення, яке дозволяє виконувати прогнозування товщини льоду та оцінку льодового навантаження.

Розроблена методика прогнозування товщини льодових утворень і програмне забезпечення впроваджені і використані в порядку дослідної експлуатації в Морському інженерному бюро (м. Одеса), в навчальному процесі Одеського національного морського університету та Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, а також при виконанні науково-дослідницької роботи «Кафедри теорії і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і висновки, методи, методики, програмний комплекс, аналітичні й емпіричні залежності, що виносяться на захист, належать особисто авторові. З робіт, опублікованих у співавторстві, на захист виносяться тільки ті частини, які розроблені особисто автором.

У роботах, написаних у співавторстві, дисертантові належить:

- [1], [2] – виконано аналіз та обробку статистичної бази;
- [3], [4], [5] – розроблено нейромережову модель прогнозування товщини льодових утворень, виконано перевірку й коректування отриманих результатів;
- [5], [6], [7] – розроблено рекомендації для проектування стаціонарних бурових платформ на основі запропонованої методики розрахунку льодових навантажень.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи були представлені та обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу НУК ім. адмірала Макарова (Миколаїв, 2012 р.); на міжнародних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Севастопольського національного технічного університету (Севастополь, 2012, 2013, 2014 рр.); на науковій конференції Морського гідрофізичного інституту Національної академії наук України «Системи контролю навколишнього середовища» (Севастополь, 2012); на міжнародній науково-технічній конференції Одеського національного морського університету «Актуальні проблеми судноплавства, суднобудування та судноремонтів», присвяченій пам'яті професора Воробйова Ю.Л. (Одеса, 2015).

Публікації. Основні результати досліджень, що увійшли до дисертації, викладені у 13 друкованих працях, а саме: 7 статтях у фахових виданнях, що

рекомендовані ДАК МОН України, 1 статті, що входить до наукометричної бази даних Scopus (з них – 6 статей без співавторів), 5 публікацій у збірниках матеріалів українських і міжнародних науково-технічних конференцій (з них 2 – без співавторів).

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 103 найменування, 3-х додатків. Основний матеріал викладено на 131 сторінці машинописного тексту, з них 25 таблиць і 44 рисунки. Додатки представлено на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, представлено наукову новизну і практичну цінність результатів роботи.

У **першому розділі** розглянуто стан проблеми визначення льодових навантажень з урахуванням особливостей умов Азово-Чорноморського басейну. Виконано аналіз перспективи видобутку вуглеводневої сировини на Азово-Чорноморському шельфі, особливостей зовнішніх умов досліджуваного регіону та видобутку вуглеводневої сировини в умовах Азово-Чорноморського басейну.

Проаналізовано досвід використання бурових платформ в Азовському морі та типи бурових платформ для умов Азово-Чорноморського басейну. Причинами аварії при будівництві опорної конструкції для видобувної споруди виявилися відсутність досвіду зведення подібних споруд на шельфі та проблема визначення фактичних льодових навантажень на опорні конструкції морських споруд при впливі льодових полів і окремих льодових утворень, а також моніторингу та урахування фізичних властивостей льоду Азово-Чорноморського басейну.

Розглянуто існуючі методики розрахунку льодових навантажень, у яких використовується або максимальна зафіксована, або визначена за емпіричними формулами товщина льоду.

Були розглянуті наступні методи оперативного вимірювання товщини льоду:

- кліматичні умови;
- аналіз інформації зі штучних супутників Землі (ШСЗ);
- аналіз інформації з експедиційних суден і криголамів;
- дані авіаційних льодових розвідок (з літаків і вертольотів);
- дані гідрометеорологічних станцій;
- дані з суден і платформ;
- інтерпретація результатів модельних розрахунків і прогнозів.

Проаналізовано основні недоліки існуючих методів оцінки фізико-механічних властивостей льоду (товщини), які говорять про те, що необхідно:

1) уміти прогнозувати товщину льодових утворень як об'єкта силового впливу на конструкцію;

2) правильно конвертувати характеристики льодових утворень у величини силового впливу на конструкцію;

3) розрахувати й обґрунтувати, як уточнені навантаження від зовнішньої дії впливають на можливі конструктивні рішення;

4) Оцінювати вплив описаних вище факторів на загальноекономічний баланс, витрати при будівництві та експлуатації, а також прибуток від отриманої сировини.

Вибрано актуальний напрямок дослідження, який полягає у розробці методики визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейну, та створенні нейромережової моделі прогнозування й оцінки реальних льодових навантажень, яка дозволяє виробити рекомендації при проектуванні бурових платформ на шельфі Азово-Чорноморського басейну.

Прикладним результатом виконання дисертаційної роботи є розробка програмного комплексу «Ice Loads v.1», що реалізує методику розрахунку льодових навантажень з урахуванням прогнозування товщини.

Другий розділ присвячено опису алгоритму визначення льодових навантажень на бурові платформи з використанням нейромережової моделі прогнозування товщини льоду.

Як інструмент для прогнозування товщини льодових полів пропонується використовувати нейронні мережі: однопараметричні і багатофакторні. Перевагою застосування нейромережових технологій є можливість прогнозувати товщину льодових утворень як на найближчі години, так і на весь термін експлуатації бурової платформи. Цей прогноз є гнучким, при змінах вхідних параметрів буде змінюватися і прогнозована товщина.

У загальному вигляді алгоритм визначення величини льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду передбачає наступні кроки:

1) на початковому етапі відбувається відбір і обробка статистичних даних фізичних параметрів, що впливають на формування льодових утворень;

2) вибір типу нейронної мережі для аналізу параметрів льодових утворень (одно- або багатопараметрична нейронні мережі);

3) поділ статистичних даних на дві категорії: навчальна вибірка (за допомогою неї буде проводитися «тренування і навчання» мережі) і перевірочні дані (після отримання результатів за допомогою нейронної мережі необхідно виконати верифікацію отриманих даних, порівнявши їх з реальними значеннями);

4) підготовка статистичних даних до введення в нейронну мережу;

5) виконання прогнозу;

6) введення отриманих даних у відомі методики з визначення льодових навантажень на бурові платформи.

Для попередньої оцінки льодового навантаження у дисертаційній роботі була розроблена *однопараметрична нейронна мережа*, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщини льоду, зібраними за деякий період. Для більш точного прогнозу і мінімізації похибки слід підібрати статистику з найбільшим числом даних. В однопараметричній мережі є три шари – вхідний, прихований, і вихідний шари. Номер нейрона кожного шару n , m і l відповідно. Початкові ваги W_1 ,

W_2 і пороги Θ_1, Θ_2 нейронної мережі генеруються за допомогою відповідності випадкової послідовності як вихідних даних. Як функція активації між шарами нейронної мережі вибирається сігмовидна функція

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (1)$$

Q групи навчальних вибірок $X_p = \{x_{p1}, x_{p2} \dots x_{pn}\} (1 \leq p \leq Q)$ повинні бути введені в нейронну мережу і далі розраховується загальна середня похибка нейронної мережі

$$E_{avg} = \frac{1}{2Q} \sum_{p=1}^Q \sum_{k=1}^l (y_{t_k} - y_k)^2, \quad (2)$$

де E_{avg} – спільна середня похибка з Q груп зразків навчання, y_{t_k} і y_k – очікуваний і реальний виходи нейронної мережі відповідно.

Функція відповідності алгоритму полягає в наступному:

$$F_v = \frac{1}{1 + E_{avg}^v},$$

де F_v – відповідність v -го значення у вибірці; E_{avg}^v – середня похибка v -го значення ($1 \leq v \leq N$). Відповідність між процесом відбору і можливістю вибору p_s обчислюється з використанням (3), і процес відбору буде завершено:

$$p_s(U^i) = \alpha p_f(U^i) + (1 - \alpha) p_d(U^i) = \alpha \frac{f(U^i)}{\sum_{i=1}^M f(U^i)} + (1 - \alpha) \frac{1}{N} e^{C_i/\beta}. \quad (3)$$

Адаптивна ймовірність перетину і ймовірність зміни розраховуються з використанням залежностей (4) і (5) відповідно, процеси перетину та зміни будуть завершені, і генеруються значення нового покоління:

$$p_c = \begin{cases} k_1 \frac{f_{\max} - f_m}{f_{\max} - f_{avg}}, & f_m \geq f_{avg} \\ k_2, & f_m < f_{avg} \end{cases}; \quad (4)$$

$$p_c = \begin{cases} k_3 \frac{f_{\max} - f_l}{f_{\max} - f_{avg}}, & f_l \geq f_{avg} \\ k_4, & f_l < f_{avg} \end{cases}. \quad (5)$$

Розрахунок відбувається до тих пір, поки середня похибка E_{avg} з оптимального значення задовольняється $E_{avg} < \varepsilon_1$, де ε_1 є глобальною точністю пошуку. Адаптивний алгоритм застосовується для оптимізації ваги і порога нейронної мережі з використанням (6), поки середня похибка E_{avg} оптимального значення не задовольняє $E_{avg} < \varepsilon_2$, де ε_2 є остаточною точністю:

$$\Delta W = \eta \frac{\partial E_{avg}}{\partial W}, \quad (6)$$

де ΔW є коригування ваги, η – швидкість навчання, розраховується з використанням (7):

$$\eta(k+1) = \begin{cases} 1,05\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) < E_{avg}(k) \\ 0,7\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) > 1,04E_{avg}(k) \\ \eta(k), \text{ інакше.} \end{cases} \quad (7)$$

Після всіх дій навчені ваги W_1 , W_2 і пороги Θ_1 , Θ_2 нейронної мережі зберігаються і готові для зразків тестування.

Виконано верифікацію однопараметричної нейромережевої моделі шляхом порівняння прогнозованих товщин льоду із зафіксованими (таблиця 1).

Таблиця 1 – Максимальні значення товщини льоду в Азовському морі, спрогнозовані за розробленою моделлю нейронної мережі

Дата	Реальна товщина льоду, см	Прогнозована товщина льоду розробленої нейронної мережі, (см) і похибка (%)
05.12.2014	5	4,9 (2)
02.01.2015	5	4,95 (1)
20.01.2015	10	9,98 (0,2)
12.01.2016	10	9,9 (1)
27.12.2016	10	10,2 (2)
23.01.2017	10	9,84 (1,6)
30.01.2017	15	14,63 (2,5)
07.02.2017	15	14,58 (2,8)
13.02.2017	30	28,75 (4,3)

Як видно з розрахунків, прогнозована товщина льоду практично збігається з реальними статистичними значеннями, а похибка не перевищує 5%. Отже, розроблена модель нейронної мережі здатна прогнозувати з достатньою точністю товщину льоду.

Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи в дисертації була розроблена багатофакторна нейронна мережа, в якій як вхідні дані крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкість вітру, рівень моря і тип погодних умов згідно з метеорологічним кодуванням.

Як вхідні сигнали на вхід мережі подаються значення параметрів, що визначають чинники, які впливають на формування льоду. На виході мережі – прогноз значення шуканого параметра (товщина льоду). При цьому кількість входів мережі (кількість врахованих факторів) може варіюватися від 1 до деякого натурального числа N , а кількість нейронів M , розташованих у прихованому шарі, підлягає визначенню.

Математично постановка задачі може бути описана наступним чином.

Нехай дана вибірка $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$, де x_i — вектор параметрів, що описує i -й прецедент, y_i — значення залежної змінної на i -му прецеденті, n — кількість прецедентів. Потрібно побудувати нейронну мережу, що дозволяє отримати прогноз вигляду $\hat{y} = f(x)$. Для випадку багатофакторної залежності вхідні параметри можуть бути описані у вигляді матриці X , а необхідний прогноз — у вигляді $\hat{Y} = f(X)$.

Кількість входів мережі (визначається кількістю факторів, які були обрані з набору статистичних даних) $N_x = 4$. Кількість виходів мережі (відповідно до структури мережі є тільки один вихід — оцінка значення товщини льоду) $N_y = 1$. Число навчальних вибірок (визначається як 75–80% від загальної кількості статистичних даних) $Q = 35$.

Запропоновано проводити розрахунок кількості нейронів прихованого шару за допомогою Matlab-функції.

Отримана за допомогою функції `calc_N` кількість нейронів прихованого рівня використовується як третій параметр стандартної Matlab-функції `newfit`, за допомогою якої створюється та проводиться навчання нейронної мережі. У загальному вигляді прототип функції має вигляд

$$\text{net} = \text{newfit}(P, T, S),$$

де P — матриця, що містить значення вхідних параметрів; T — вектор виходів, відповідних вхідним вибіткам; S — розмірність прихованого рівня, обчислена за допомогою функції `calc_N`; `net` — ідентифікатор мережі.

Прогноз товщини льоду обчислюється за допомогою Matlab-функції

$$Y0 = \text{sim}(\text{net}, X0),$$

де `net` — ідентифікатор мережі, отриманий за допомогою функції `newfit`; $X0$ — тестова вибірка, матриця, яка містить набір значень параметрів з решти статистичних даних, що не використовувалися для навчання мережі; $Y0$ — вектор оцінок незалежної змінної — товщини льоду.

Описаний підхід може бути представлений у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 1.



Рисунок 1 – Етапи побудови нейронної мережі

Виконано верифікацію *багатофакторної нейронної мережі* шляхом порівняння прогнозованих товщин льоду із зафіксованими (таблиця 2).

На підставі даних, наведених у таблиці 2, запропонований багатофакторний підхід дозволяє отримати прогноз товщини льоду в заданому регіоні з відносною похибкою, що не перевищує 1,5%. Таким чином, багатофакторний підхід дозволяє підвищити точність прогнозу, однак вимагає великих обчислювальних потужностей і більше часу, який витрачається на навчання мережі.

Ефективність застосування нейромережевого алгоритму полягає в скороченні часу розрахунків, оперативності оцінки льодової обстановки і проведенні більш складних математичних розрахунків, що в свою чергу надасть можливість вчасного прийняття оперативних заходів при виникненні загрози аварійної ситуації для вже існуючих споруд на шельфі Азовського моря та проведення комплексної оцінки навантаження при проектуванні бурових платформ для перспективних місць видобутку вуглеводної сировини.

Таблиця 2 – Результати моделювання нейронної мережі

Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °C	Погодні умови, кодування WMO4501	Рівень моря, см	Товщина льоду, см	Прогнозована товщина льоду розробленої нейронної мережі, см	Відносна похибка, %
4	−1	2	150	14	14,2	1,41
2	−2	2	165	14	14,1	0,71
0	−1	2	165	16	16,15	0,93
0	0	2	155	15	14,82	1,21
2	5	0	180	12	11,95	0,42

Продовження таблиці 2

0	0	2	170	10	10,12	1,19
2	-6	7	110	3	3,01	0,33
2	0	2	160	4	3,99	0,25
3	-1	2	135	4	4,04	0,99

Третій розділ присвячено визначенню льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду.

На ранній стадії проектування бурових платформ потрібний множинний аналіз статичного навантаження в найбільш поширених льодових умовах для області, що цікавить. Існує чотири різних режими взаємодії льодової структури Løset: граничне навантаження, максимальне напруження, граничний момент і руйнування. Основним параметром є рівень льодових навантажень.

У дисертаційній роботі розглянуто методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи з похилими гранями згідно з ISO 19906, авторську методику К.Н. Шхінека, Правила морського реєстру судноплавства, API RP 2N. В основі цих методик лежать моделі і методи Croasdale і Ralston. Важливим параметром в наведених методиках є товщина льоду. При цьому необхідно враховувати, що товщина льоду є змінною випадковою величиною.

У дисертації виконано розрахунок льодових навантажень для існуючого проекту льодостійкої стаціонарної платформи ЛСП-1 з урахуванням отриманої за допомогою багатofакторної нейронної мережі прогнозованої товщини льоду.

Для верифікації математичної моделі з розрахунку льодових навантажень на ЛСП-1 було виконано розрахунок льодових навантажень з урахуванням товщин льоду, які прийняті як розрахункові та визначено льодові навантаження з використанням прогнозованих товщин льоду (таблиці 3–6).

Таблиця 3 – Порівняння значень льодових навантажень (горизонтальна складова, платформа носом) від реальної і прогнозованої товщини льоду, %

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,312	0,316	0	0,288	2,889
-0,235	-0,296	0	-0,213	-1,464
0,987	0,994	1,626	1,050	3,481
1,176	1,290	1,628	1,372	3,689
-0,429	-0,463	-0,639	-0,505	2,118
0,726	0,814	1,071	0,785	3,228
1,425	1,614	2,120	1,301	3,907
-1,224	-1,406	-1,789	-1,383	1,363
0,935	1,088	1,397	0	2,533

Таблиця 4 – Порівняння значень льодових навантажень (вертикальна складова, платформа носом) від реальної і прогнозованої товщини льоду, %

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
3,205	0,391	2,128	0,794	–1,774
–0,292	–0,281	0	–0,588	–2,341
0,866	1,107	1,471	0,581	–0,990
1,203	1,842	1,681	1,266	–0,923
–0,436	–0,990	–0,660	–0,524	–2,567
0,738	1,260	1,034	0,725	–1,371
1,425	2,467	–0,262	1,580	–0,657
–1,208	–2,203	–1,675	–1,368	–3,329
0,929	1,690	1,471	0	–2,106

Таблиця 5 – Порівняння значень льодових навантажень (вертикальна складова, платформа бортом) від реальної і прогнозованої товщини льоду, %

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,543	0,385	0,485	1,395	–0,787
–0,453	–0,241	–0,678	–0,173	–1,370
1,174	1,045	1	1,027	–0,135
1,258	1,463	1,429	1,308	0,054
–0,478	–0,255	–1,072	–0,516	–1,571
0,694	1,083	0,820	0,813	–0,427
1,378	1,877	1,854	1,612	0,282
–1,298	–1,128	–2,064	–1,414	–2,374
0,938	1,392	1,427	1,061	–0,203

Таблиця 6 – Порівняння значень льодових навантажень (вертикальна складова, платформа бортом) від реальної і прогнозованої товщини льоду, %

Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,271	0,686	3,390	0	0,299
-0,306	0,123	0	0	-1,250
1,008	1,572	1,205	1,415	0,890
1,124	2,960	1,379	1,377	1,154
-0,612	0,529	-0,811	-0,429	-0,489
0,804	2,653	0,213	0,711	0,701
1,427	3,900	2,292	1,528	1,329
-1,230	-0,756	-1,761	-1,342	-1,242
0,928	3,249	1,375	1,014	0,890

Як видно з таблиць, розрахунок льодових навантажень з використанням прогнозованої товщини льоду дає досить точні значення льодових навантажень у порівнянні з навантаженнями, розрахованими з використанням реальної товщини льоду. Похибка не перевищує 5%, що дозволяє в подальшому використовувати прогнозовані значення товщини льоду для розрахунку льодових навантажень.

Четвертий розділ присвячено визначенню архітектурно-конструктивного типу бурових платформ для шельфу Азовського моря.

Для вибору типу платформи у дисертаційній роботі були зроблені допущення, які необхідно враховувати при проектуванні бурової платформи для шельфу Азовського моря:

1. Глибина моря в перспективних і діючих місцях видобутку вуглеводнів 8–12 м.
2. Цілорічний видобуток.
3. Верхній шар слабого мулистого ґрунту становить: на західному узбережжі 4–5 м, середня частина моря – 7 м.
4. Екстремальна висота хвилі 3%-ої забезпеченості, період повторюваності 1 раз у 100 років – 4,3 м.
5. Екстремальний прилив з наганням 3,34 м.
6. Відсутність стійкого припаю.
7. Товщина льоду в зимовий період. За допомогою розробленої в дисертації багатофакторної нейронної моделі була спрогнозована максимальна товщина льоду на наступний період із застосуванням нейронних мереж, яка становить 0,298 м.

Було проведено аналіз і застосування зарубіжного досвіду проектування та експлуатації бурових платформ в умовах, близьких до умов шельфу Азовського моря, який показав, що більше переваг матимуть льодостійкі стаціонарні платформи.

Для визначення АКТ бурової платформи в дисертаційній роботі були розраховані льодові навантаження на багатоопорну платформу типу ЛСП-1 та одноопорну платформу типу СМОЛП, які мають похилу конструкцію в районі ватерлінії.

Згідно з розрахунками на платформу типу ЛСП-1 діють менші льодові навантаження. У таблицях 7 та 8 наведені результати розрахунку льодових навантажень.

Таблиця 7 – Розрахунок величин погонних навантажень для ЛСП-1

	Борт			Носова частина		
Рівень прикладання, м	12	10	8	12	10	8
$F_{гор}$, кН	19440	19440	19440	16020	16020	16020
$F_{верт}$, кН	7092	7092	7092	6343	6343	6343
L , м	69	71	73	58	59,5	61
$g_{гор}$, кН/м	281,74	273,80	266,30	276,21	269,24	262,62
$g_{верт}$, кН/м	102,78	99,89	97,15	109,36	106,61	103,98

Таблиця 8 – Розрахунок величин погонних навантажень для СМОЛП

Рівень прикладання, м	12	8; 10
$F_{гор}$, кН	22470	31180
$F_{верт}$, кН	9160	9160
L , м	41,6	43
$g_{гор}$, кН/м	540,1	725,1
$g_{верт}$, кН/м	220,2	213,0

Для подальшого розгляду та надання рекомендацій при проектуванні було проаналізовано льодостійку платформу типу ЛСП-1.

Для забезпечення видобутку вуглеводної сировини протягом року для льодостійкої платформи типу ЛСП-1 в умовах Азовського моря були розраховані конструктивні параметри, здатні зменшити вітро-хвильові навантаження в період, коли море не покрите льодом, та льодові навантаження в зимовий період.

У роботі розглядаються три глибини постановки бурової платформи, на яких можна розробляти найбільш перспективні ділянки видобутку вуглеводної сировини – 8, 10 та 12 м. Для цих глибин було розраховано кліренс платформи, який становить 7 м.

Отримані оцінки і співвідношення дозволяють у загальному вигляді обчислити залежності максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на ЛСП в залежності від кута нахилу грані до горизонту β . Перетин цих залежностей відповідає оптимальній величині конусного розширення опори ЛСП. Нижче наведені апроксимаційні співвідношення для таких розрахунків.

$$P_{\text{л}} = (2 \cdot 10^{-5} D_{\text{л}} + 0,0006) \beta^2 + (0,001 D_{\text{л}} + 0,0293) \beta + (0,0002 D_{\text{л}}^2 - 0,0144 D_{\text{л}} + 0,0488),$$

$$D_{\text{л}} = D_1 + \Delta / \operatorname{tg} \beta,$$

$$P_{\text{с}} = 0,3796 D_{\text{с}} + 1,4247,$$

де $D_{\text{с}} = \frac{D_1 \Delta}{H} + D_2 \left(\frac{H - \Delta}{H} \right) + \frac{2 \Delta^2}{H \operatorname{tg} \beta}$ – еквівалентний діаметр опори з конусним розширенням $D_2 = D_1 + \frac{2 \Delta}{\operatorname{tg} \beta}$;

D_1 – діаметр опори без конусної частини, м;

$D_{\text{л}} = \frac{D_1 + D_2}{2}$ – діаметр опори в місці впливу льоду, м;

Δ – висота опори, м;

H – глибина моря в місці установки платформи, м;

β – кут нахилу твірної конуса до горизонталі, град.

На рисунках 2–4 наведено спільні залежності вітро-хвильових і льодових навантажень в залежності від глибини постановки бурової платформи та кут нахилу твірної конуса до горизонталі.

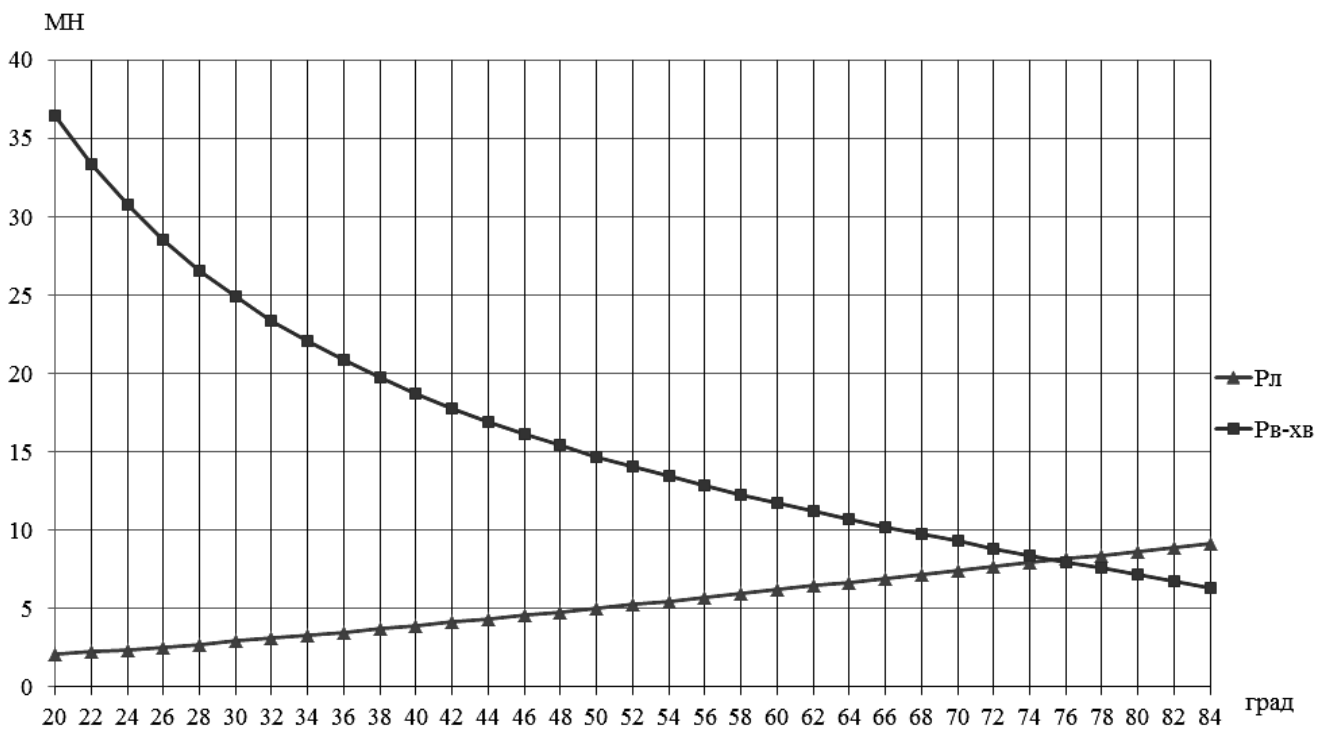


Рисунок 2 – Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для споруди типу ЛСП-1 для глибини постановки 8 м, $\beta = 75,4^\circ$.

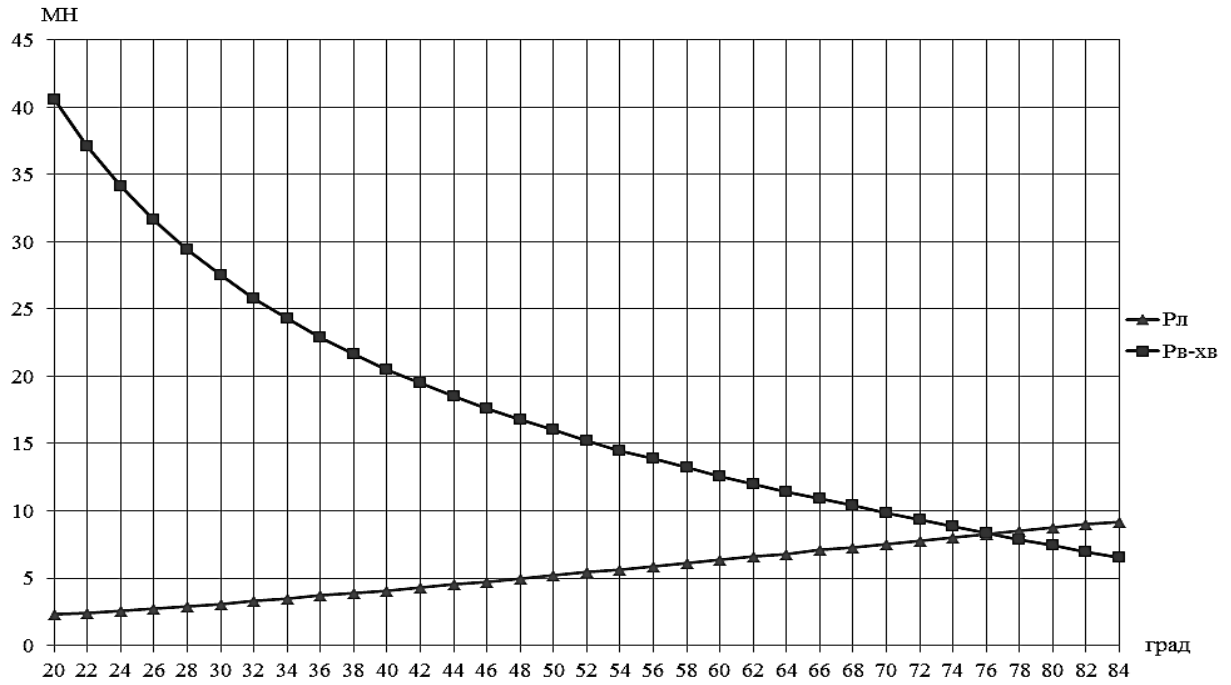


Рисунок 3 – Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для споруди типу ЛСП-1 для глибини постановки 10 м, $\beta = 76,3^\circ$

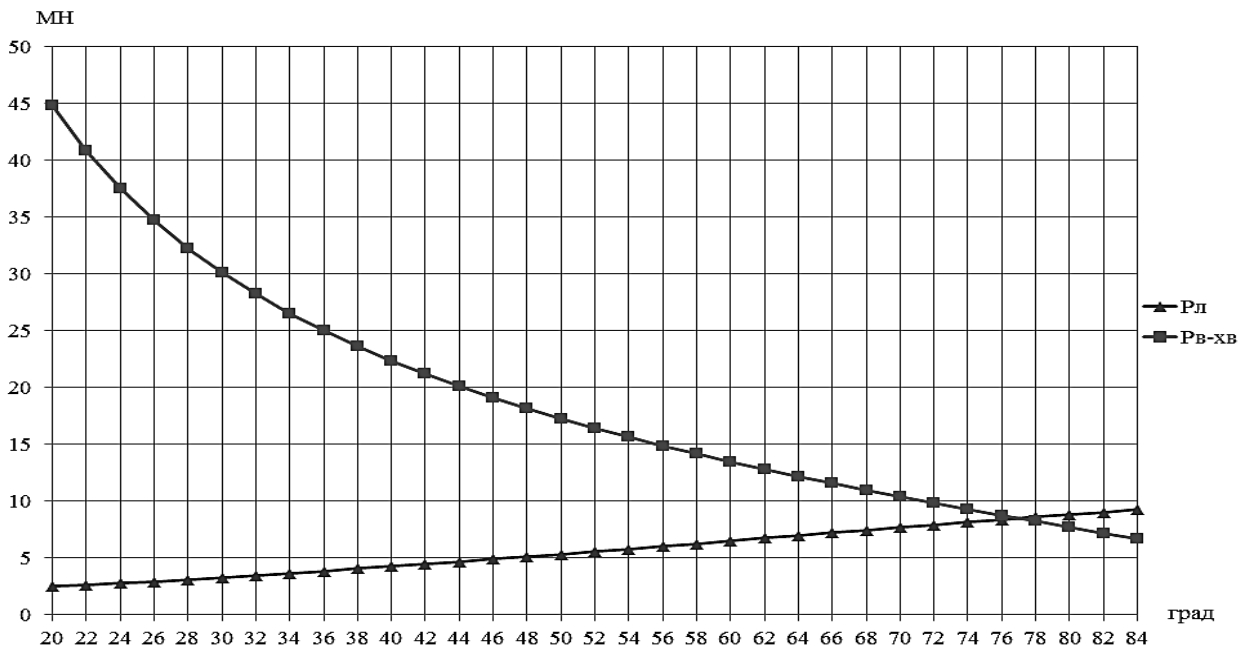


Рисунок 4 – Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для спорудия типу ЛСП-1 для глибини постановки 12 м, $\beta = 77^\circ$

У таблиці 9 представлені розрахунки погонних навантажень для отриманих значень навантажень з урахуванням кута нахилу твірної до горизонту β .

Таблиця 9 – Розрахунок величин погонних навантажень для споруди типу ЛСП-1

	Борт			Носова частина		
Рівень прикладання, м	12	10	8	12	10	8
$F_{гор}$, кН	13820	13820	13820	11210	11210	11210
$F_{верт}$, кН	4740	4740	4740	2880	2880	2880
L , м	72,26	74,2	76,24	59,06	61	63,04
$g_{гор}$, кН/м	191,25	186,25	181,26	189,81	183,77	177,82
$g_{верт}$, кН/м	65,60	63,88	62,17	48,76	47,21	45,69

Порівнявши значення навантажень на конструкцію типу ЛСП-1 у таблицях 7 і 9 відповідно, можна зробити висновок, що вибір оптимального кута нахилу твірної опори до горизонту дозволяє зменшити льодове навантаження.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача удосконалення процесу проектування бурових платформ на початковій стадії з урахуванням особливостей льодового режиму в Азово-Чорноморському басейні та на основі нейромережевого прогнозування товщини льодових утворень. Актуальність поставленої наукової задачі зумовлена необхідністю проектування льодостійких бурових платформ для Азово-Чорноморського басейну та удосконалення існуючих методів урахування льодових навантажень на бурові платформи, а також програмного забезпечення для розрахунків навантажень на бурові платформи при проектуванні.

2. Проаналізовано акваторії розміщення бурових платформ в Азово-Чорноморському басейні. Розглянуто особливості видобутку вуглеводневої сировини. Як основні фактори, які необхідно враховувати при проектуванні бурових платформ, розглянуті льодові навантаження. Визначено, що до теперішнього часу мало вивчена проблема функціонування і проектування бурових платформ з урахуванням особливостей льодової обстановки, моніторингу та фізичних властивостей льоду Азово-Чорноморського басейну.

3. Для вирішення проблеми врахування реальних зовнішніх впливів на МБП в Азово-Чорноморському басейні була розроблена методика визначення льодового навантаження на підставі нейромережевих технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейну. Ця методика включає в себе формулювання і розв'язання задачі з урахуванням впливу багатофакторності фізичних властивостей льоду на оцінку льодового навантаження, що дозволило, створивши нейромережеву модель прогнозування та оцінки реальних льодових навантажень, виробити рекомендації при проектуванні бурових платформ на шельфі Азово-Чорноморського басейну.

4. Уперше шляхом застосування штучних нейронних мереж отримано модель прогнозування льодових утворень в акваторії установки бурової платформи як одного з

основних факторів величини льодового навантаження, що дозволяє оцінювати реальні навантаження як на уже спроектовані, так і на існуючі споруди. Для попередньої оцінки льодового навантаження запропоновано використовувати однопараметричну нейронну мережу, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщин льоду, зібраних за деякий період.

5. Вперше створено інструментарій для прогнозування експлуатаційних навантажень на вже існуючі бурові платформи на підставі апроксимації функцій фізичних параметрів, що впливають на формування льодових утворень, за заданим набором прикладів за допомогою процедури впровадження ряду в багатовимірне рівняння.

Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи запропоновано багатофакторну нейронну мережу, в якій як вхідні дані крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкість вітру, рівень моря і тип погодних умов згідно з метеорологічним кодуванням. Ефективність застосування нейромережевого алгоритму полягає в скороченні часу розрахунків, оперативності оцінки льодової обстановки і проведенні більш складних математичних розрахунків, що в свою чергу дасть можливість вчасного прийняття оперативних заходів при виникненні загрози аварійної ситуації для вже існуючих споруд на шельфі Азовського моря та проведення комплексної оцінки навантаження при проектуванні бурових платформ для перспективних родовищ вуглеводної сировини.

6. Удосконалено методику розрахунку льодових навантажень на бурові платформи шляхом застосування штучних нейронних мереж, що дозволяє аналізувати товщину льодових утворень і оцінювати величину льодового навантаження на початкових стадіях проектування. Для оцінки льодового навантаження на платформі MatLab складена програма, що дозволяє обчислювати льодові навантаження на підставі розглянутих методик розрахунку впливу з урахуванням багатопараметричного нейромережевого прогнозу.

7. Для верифікації отриманої розрахункової моделі було проведено розрахунок льодових навантажень на реально існуючу платформу ЛСП 1, який показав, що максимальна величина відхилення отриманих значень від прийнятих за розрахункові льодові навантаження становить 3,9%, що свідчить про високу точність проведених розрахунків.

8. На підставі результатів, отриманих із застосуванням нейромережевих технологій, виконано аналіз існуючих проектів льодостійких платформ з рекомендацією архітектурно-конструктивного типу та вдосконалено конструкцію з урахуванням вітро-хвильових і льодових навантажень в умовах Азовського моря.

9. Достовірність теоретичних і практичних результатів роботи забезпечено за рахунок коректної постановки задачі, використаних теоретичних та експериментальних методів її розв'язання.

10. Практичне використання результатів дисертаційної роботи. Запропонована удосконалена методика розрахунку льодових навантажень і рекомендації при виборі архітектурно-конструктивного типу морської стаціонарної платформи можуть бути використані проектними організаціями і конструкторськими бюро на початкових етапах проектування бурової платформи, орієнтованої для роботи на шельфі Азово-Чорноморського басейну.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові професійні видання:

1. Лопатнєва А. Ю. Использование спутниковой информации при автоматизации процессов расчета ледовых нагрузок. Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління. 2014. Вип. 146. С.118–121.
2. Душко В. Р., Лопатнєва А. Ю. Анализ условий ледовой обстановки Азово-Черноморского бассейна. Збірник наукових праць НУК. Електр. видання. 2013. №1. С.44–46.
3. Заец А. Ю. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования толщины морского льда. Вісник СевНТУ. Оптимізація виробничих процесів. 2014. Вип. 15. С. 228–233.
4. Заец А. Ю. Особенности проектирования МСПБУ для условий Азово-Черноморского бассейна. Вісник ОНМУ. 2015. Вип. 3 (45). С.207–210.
5. Заец А. Ю. Determining optimal parameters of a neural network for sea ice thickness prediction. Вісник ОНМУ. 2015. Вип. 4 (46). С.68–74.
6. Заец А. Ю. К учету ледовых нагрузок в задачах проектирования инженерных сооружений для шельфа Азовского и Черного морей. Збірник наукових праць НУК. 2015. Вип. 6. С.4–10.
7. Заец А. Ю. О возможности применения современных проектных решений океанотехнических сооружений для шельфа Азовского моря. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Вып. 3/7 (81). С.62–70.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Душко В. Р. Лопатнєва А. Ю., Шоларь С. А. Влияние скорости движения ледовых полей на конструкции буровых платформ конической формы. Матеріали VII Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених і студентів. (Севастополь, 5–7 декабря 2012 г.). Севастополь: СевНТУ, 2012. С.216–220.
9. Душко В. Р., Благовидова И. Л., Лопатнева А. Ю. Обзор методик расчета ледовых нагрузок на морские буровые платформы. Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. (Миколаїв, 22–24 травня 2013 р.). Миколаїв: НУК, 2013. С. 302–305.
10. Лопатнєва А. Ю. Применение спутниковой информации в прогнозировании толщины льда с применением нейронной сети. Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми в океанотеніці». (Севастополь, 25–27 вересня 2013 р.). Севастополь: СевНТУ, 2013. С. 32–34.
11. Душко В. Р., Заец А. Ю., Крамарь В. А., Альчаков В. В. Многофакторный подход для расчета ледовых нагрузок с помощью нейронной сети. Материалы 4-го научно-технического семинара «Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления». (Севастополь, 23–27 сентября, 2014 г.). Севастополь: СевНТУ, 2014. С.145–150.

12. Заец А. Ю. Расчет ледовых нагрузок с использованием нейросетевых технологий для условий Азово-Черноморского бассейна. Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. (Миколаїв, 20–22 травня 2015 р.). Миколаїв: НУК, 2015. С.52–55.

Публікації, в яких додатково викладено зміст дисертації

13. Заец А. Ю. Крамарь В. А. Гарантоспособность океанотехнических систем. Науково-технічний журнал Радіoeлектронні і комп'ютерні системи. 2014. №6 (70). С.7–11.

14. Заец А. Ю. Душко В. Р., Крамарь В. А., Альчаков В. В. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования ледовых загрузок на океанотехнические сооружения. Всероссийская конференция «Полярная механика». (Санкт-Петербург, 3–5 июня, 2014 г.). Санкт-Петербург: Крыловский государственный научный центр, 2014. С.22–23.

15. Заец А. Ю., Калинина О. И. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования ледовых загрузок, действующих на океанотехнические сооружения. Труды межвузовской научно-технической конференции «Морские технологии». (Севастополь, 24–26 сентября 2014 г.). Севастополь: СевНТУ, 2014. С.73–77.

АНОТАЦІЯ

Заєць Анастасія Юрїївна. Удосконалення методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи для Азово-Чорноморського басейну. – На правах рукопису.

Кваліфікаційна наукова робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 – Конструювання та будівництва суден. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2018.

Метою дисертації є удосконалення процесу проектування на початковій стадії бурових платформ з урахуванням особливостей льодового режиму в Азово-Чорноморському басейні та на основі нейромережевого прогнозування товщини льодових утворень.

Для вирішення проблеми врахування реальних зовнішніх впливів на бурові платформи в Азово-Чорноморському басейні була розроблена методика визначення льодового навантаження на підставі нейромережевих технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейну. Ця методика включає формулювання і розв'язання задачі з урахуванням впливу багатofакторності фізичних властивостей льоду на оцінку льодового навантаження, що дозволило, створивши нейромережеву модель прогнозування та оцінки реальних льодових навантажень, виробити рекомендації при проектуванні бурових платформ на шельфі Азово-Чорноморського басейну.

Задача прогнозування товщини льоду в заданому районі сформульована і вирішена за допомогою апарату штучних нейронних мереж. Також у роботі використано наступні наукові методи дослідження:

- метод градієнтного спуску для мінімізації похибки при прогнозуванні товщини льоду з використанням нейронних мереж;

- метод Quick-Prop2 з використанням сполучених градієнтів для оптимізації параметрів навчання;
- метод Левенберга-Маквардта для пошуку параметра масштабування розміру кроку навчання нейронної мережі;
- метод Хебба (при навчанні нейронної мережі) для зміни вагових зв'язків між нейронами.

При розв'язанні задачі визначення величин льодових навантажень використані фундаментальні методи Ralston, метод Croasdale, метод Meller, що лежать в основі методик.

Розроблено новий програмний комплекс «Ice Loads V.1», що забезпечує реалізацію нового підходу до оцінки реальних льодових навантажень на бурові платформи.

Ключові слова: бурові платформи, льодові навантаження, Азово-Чорноморський басейн, вуглеводна сировина, нейронні мережі, прогнозування.

АННОТАЦИЯ

Заец Анастасия Юрьевна. Совершенствование методики расчета ледовых нагрузок на буровые платформы для Азово-Черноморского бассейна. – На правах рукописи.

Квалификационная научная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 – Конструирование и строительство судов. Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2018.

Целью диссертации является совершенствование проектирования на начальной стадии буровых платформ с учетом особенностей ледового режима в Азово-Черноморском бассейне и на основе нейросетевого прогнозирования толщины ледовых образований.

Для решения проблемы учета реальных внешних воздействий на буровые платформы в Азово-Черноморском бассейне была разработана методика определения ледовой нагрузки на основании нейросетевых технологий с учетом многолетних реальных статистических данных Азово-Черноморского бассейна. Эта методика включает формулировку и решение задачи с учетом влияния многофакторности физических свойств льда на оценку ледовой нагрузки, что позволило, создав нейросетевую модель прогнозирования и оценки реальных ледовых нагрузок, выработать рекомендации при проектировании буровых платформ на шельфе Азово-Черноморского бассейна.

Задача прогнозирования толщины льда в заданном районе сформулирована и решена с помощью аппарата искусственных нейронных сетей. Также в работе использованы следующие научные методы исследования:

- метод градиентного спуска для минимизации погрешности при прогнозировании толщины льда с использованием нейронных сетей;
- метод Quick-Prop2 с использованием сопряженных градиентов для оптимизации параметров обучения;

- метод Левенберга-Маквардта для поиска параметра масштабирования размера шага обучения нейронной сети;
- метод Хебба (при обучении нейронной сети) для изменения весовых связей между нейронами.

При решении задачи определения величин ледовых нагрузок использованы фундаментальные методы Ralston, метод Croasdale, метод Meller, лежащие в основе методик.

Разработан новый программный комплекс «Ice Loads V.1», что обеспечивает реализацию нового подхода к оценке реальных ледовых нагрузок на буровые платформы.

Ключевые слова: буровые платформы, ледовые нагрузки, Азово-Черноморский бассейн, углеводородное сырье, нейронные сети, прогнозирование.

THE SUMMARY

Zaiets Anastasiia. Improving the method for calculating ice loads on the drilling platforms for the Azov-Black Sea basin – Manuscript.

The Qualifying scientific work for an academic degree of the Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.08.03. – Design and building of ships. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, 2018.

The purpose of the dissertation is to improve the design of the drilling platforms at the initial stage. Improvements are based on neural network forecast for the thickness of ice formations while taking into account the ice regime in the Azov-Black Sea basin.

A method for determining the ice load was developed on the basis of neural network technologies that use the long-term statistic data of the Azov-Black Sea basin. This method solves the problem of taking into account actual external impacts on the offshore engineering in the Azov-Black Sea basin. The proposed method includes the formulation and solution of the problem taking into account the effect of the multifactority of the physical properties of ice on the magnitude of the ice load. This allowed to create a neural network model for forecasting and estimating the magnitude of real ice loads, as well as to develop recommendations for the design of drilling platforms on the shelf of the Azov-Black Sea basin.

The task of forecasting the thickness of ice in a given region was formulated and solved with the help of the apparatus of artificial neural networks: the method of gradient descent to minimize the error in predicting ice thickness using neural networks; Quick-Prop2 method using conjugate gradients to optimize training parameters; The Levenberg-McWardt method for finding the parameter of scaling the size of the neural network training step; Hebb method (in training a neural network) to change the weight relationships between neurons. In solving the problem of determining the values of ice loads, the fundamental methods of Ralston, the Croasdale method, and the Meller method underlying the methodologies were used.

A new software package, "Ice Loads V.1", has been developed, which ensures the implementation of a new approach to assessing real ice loads on the ocean-technical constructions.

Key words: drilling platforms, ice loads, Azov-Black Sea basin, hydrocarbon feedstock, neural networks, forecasting.

Підписано до друку 24.05.2018р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний: Друк різнографічний. Обс.-вид.арк.0,9
Тираж ____ прим. Зам. №210.

Віддруковано в копіривальному центрі «Магістр»
м. Одеса, вул. Мечнікова, 36
тел.: 32-19-82
Свідоцтво про реєстрацію № 2670316784 від 16.02.2000р