

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Заєць Анастасія Юріївна

УДК 629.563.2

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.08.03 — Конструювання та будування суден

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

А.Ю. Заєць

Науковий керівник

Бондаренко Олександр Валентинович
канд. техн. наук, доцент

Одеса — 2018

АНОТАЦІЯ

Засць А. Ю. Удосконалення методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи для Азово-Чорноморського басейну. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 – «Конструювання та будування суден». — Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2018.

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. 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, зовнішніх умов досліджуваного регіону та особливостей 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 виявилася 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 обліку фізичних властивостей льоду Азово-Чорноморського басейну.

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

Вибрано актуальний напрямок дослідження, який полягає в розробці методики визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейну та створенні нейромережової моделі прогнозування та 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 льодових утворень.

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

У якості 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.

Для попередньої оцінки льодового навантаження у дисертаційній роботі була розроблена однопараметрична нейронна мережа, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщини льоду, зібраних за деякий період. Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації

бурової платформи в дисертації була розроблена багатофакторна нейронна мережа, в якій в якості входних даних крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкості вітру, рівень моря і тип погодних умов, згідно з метеорологічним кодуванням.

Встановлено, що прогнозована товщина льоду, яка була отримана з використанням однопараметричної нейронної мережі практично збігається з реальними статистичними значеннями, а похибка не перевищує 5%, а 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.

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

У дисертаційній роботі розглянуто методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи з похилими гранями згідно ISO 19906, авторську методику К.Н. Шхінека, Правил Регістру морського 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 багатофакторної 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 у якості розрахункових та визначення льодових навантажень з використанням прогнозованих товщин льоду.

Розрахунок льодових навантажень з використанням прогнозованої товщини льоду дає досить точні значення льодових навантажень в 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 величин параметрів зовнішніх впливів, які необхідно враховувати при проектуванні бурової платформи для шельфу Азовського моря.

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 архітектурно-конструктивного типу бурової платформи в дисертаційній роботі були розраховані льодові навантаження на багато опорну платформу типу ЛСП-1 та одноопорну платформу типу СМОЛП, які мають похилу конструкцію в районі ватерлінії. Згідно розрахунків платформа типу ЛСП-1 піддається меншим льодовим навантаженням. Для забезпечення видобутку вуглеводної сировини протягом року для льодостійкої платформи типу ЛСП-1 в умовах Азовського моря були розраховані конструктивні параметри, що 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 м, 10 м та 12 м. Для цих глибин було розраховано кліренс платформи, який становить 7 м.

Ключові слова: бурові платформи, льодові навантаження, Азово-Чорноморський басейн, методика визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, фундаментальні методи Ralston, метод Croasdale, метод Meller.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких викладено основні наукові результати дисертації:

1. Лопатнева А.Ю. Использование спутниковой информации при автоматизации процессов расчета ледовых нагрузок. Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління. 2014. Вып. 146. С.118—121.
2. Душко В. Р., Лопатнёва 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. Вып. 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 (Scopus). 2016. Вып. 3/7 (81). С.62—70.[входить до науково-метричної бази Scopus]

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Душко В.Р. Лопатнёва А. Ю., Шоларь С. А. Влияние скорости движения ледовых полей на конструкции буровых платформ конической формы. Матеріали VII Всеукраїн. наук.—техн. конф. молодих вчених і студентів. (Севастополь, 5–7 декабря 2012 г.). Севастополь: СевНТУ, 2012. С.216—220.

Дата проведення конференції 5.12.2012 – 7.12.2012. – форма участі доповідач.

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.

Дата проведення конференції 22.05.2012 – 24.05.2012. – форма участі доповідач.

10. Лопатнёва 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 2013р.). Севастополь: СевНТУ, 2013. С. 32—34.

Дата проведення конференції 25.09.2013 – 27.09.2013. – форма участі доповідач.

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, 2014г.). Севастополь: СевНТУ, 2014. С.145—150.

Дата проведення конференції 23.09.2014 – 27.09.2014. – форма участі доповідач.

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.

Дата проведення конференції 20.06.2015 – 22.06.2015. – форма участі доповідач.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Заец А. Ю. Крамарь В. А. Гарантоспособность океанотехнических систем. Науков-технічний журнал Радіоелектронні 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.

Дата проведення конференції 3.06.2014 – 05.06.2014. – форма участі доповідач.

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

Дата проведення конференції 24.09.2014 – 26.09.2014. – форма участі доповідей.

ABSTRACT

Zaiets Anastasiia. Improving the method for calculating ice loads on the drilling platforms for the Azov-Black Sea basin. — Qualification scientific work as manuscript.

The Dissertation 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.

In the dissertation the actual scientific and applied task of the improvement of the design process for the drilling platforms at the initial stage, taking into account the features of the ice regime in the Azov-Black Sea basin and on the basis of the neural network prediction of the thickness of ice formations, is solved. The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation, formulates the purpose and tasks of the work, defines the object and the subject of the research, and presents the scientific novelty and practical value of the results of work.

In the first section the state of the problem in determining the ice load according to the Azov-Black Sea basin peculiarities is considered. The analysis of prospects for extraction of hydrocarbon raw materials on the Azov-Black Sea shelf, the external conditions of the region under study and the features of extraction of hydrocarbon raw materials in the Azov-Black Sea basin is provided.

The experience of using drilling platforms in the Sea of Azov and the types of drilling platforms for the conditions of the Azov-Black Sea basin have been analysed. The lack of experience in the construction of such structures on the shelf and the problem of determining the actual ice loads on the supporting structures of marine facilities under the influence of ice fields and individual ice formations as well as monitoring and accounting of physical properties of ice in the Azov-Black Sea basin, were the causes of the accident in the construction of the supporting structure for the extractive facility.

The existing methods of calculating ice loads where the thickness of ice is used or maximum measured, or determined by empirical formulas are considered.

A topical area for research, which concerns the development of the method for determining ice load on the basis of neural network technologies taking into account long-term real statistical data of the Azov-Black Sea basin and the creation of the neural network model for predicting and estimating actual ice loads, which allows the development of recommendations for designing drilling platforms on the shelf of the Azov-Black Sea basin, has been chosen.

The applied result of the dissertation work is the development of the "Ice Loads v.1" software complex, which implements the method for calculating ice loads, taking into account the prediction of ice formation thickness.

The second section is devoted to the description of the algorithm for determining ice loads on ocean engineering facilities using a neural network model for prediction of ice thickness.

As a tool for predicting thickness of ice fields, we suggest using neural networks: one-parameter and multi-factor ones. The advantage of applying neural network technologies is the ability to predict the thickness of ice formations both for the next few hours and for the entire lifetime of the ocean engineering facility. This prediction is flexible, and with the changes in input parameters the predicted thickness will change, too.

For the preliminary estimation of the ice load, a one-parameter neural network, which predicts the ice thickness based on statistical data of ice thickness collected for a certain period, has been developed in the dissertation.

In order to evaluate the ice load at a particular point of operation of the ocean engineering facility a multifactor neural network, in which as input data other than ice thickness data on air temperature, wind speed, sea level, and type of weather conditions are also entered, according to meteorological coding was developed in the dissertation.

It is established that the predicted ice thickness being obtained using a one-parameter neural network practically coincides with real statistical values, the

error does not exceed 5% and the proposed multi-factor approach allows obtaining prediction of ice thickness in a given region with a relative error of not more than 1,5%. Thus, the multifactor approach allows you to improve the accuracy of the forecast but requires large computing power and more time spent learning the network.

The effectiveness of using the neural network algorithm is to reduce the time of calculations, the efficiency of the ice situation assessment and the implementation of more complex mathematical calculations, which in turn will enable the timely adoption of operational measures in the event of an emergency situation for existing structures on the shelf of the Sea of Azov and comprehensive assessment of the load designing of oceanic facilities for perspective places for the extraction of carbohydrate raw materials.

The third section is devoted to the determination of ice loads, taking into account the predicted ice thickness.

In the dissertation methods of calculation of ice loads on ocean engineering buildings with sloping faces according to ISO 19906, K.N. Shinek's author technique, Rules of the Register of Shipping, APIRP 2N are considered. The basis of these techniques is models and methods Croasdale and Ralston. An important parameter in these techniques is the ice thickness. It should be considered that the ice thickness is a variable random value.

In the dissertation, the calculation of ice loads for an existing project of ice-resistant stationary platform LSP-1 is considered taking into account the predicted ice thickness obtained through a multi-factor neural network. In order to verify the mathematical model for calculating ice loads on LSP-1, ice loads were calculated taking into account the ice thickness being taken as calculation and determination of ice loads using predicted ice thickness.

Calculation of ice loads using the predicted ice thickness gives fairly accurate values of ice loads compared to loads calculated using the actual ice thickness. The error does not exceed 5%, which allows you to use the predicted values of ice thickness for calculating ice loads in the future.

The fourth section is devoted to the definition of the architectural and constructive type of oceanographic structures for the shelf of the Sea of Azov. For the choice of the platform type assumptions of the values of the parameters of external influences, which should be taken into account when designing the oceanic construction for the shelf of the Sea of Azov, were made in the dissertation.

An analysis and application of foreign experience in the design and operation of ocean engineering facilities in conditions close to the conditions of the Azov Sea shelf was demonstrated, it showed that ice-resistant stationary platforms would have more advantages.

In the dissertation in order to determine the architectural and constructive type of the oceanographic construction ice loading on a large number of support platforms of the LSP-1 type and a single-axle platform of type SMOLP having an oblique construction in the area of waterline, were calculated. According to calculations, the platform of the LSP-1 type is subject to a lower ice load. In order to ensure the extraction of carbohydrate raw materials during the year for ice-resistant platform LSP-1 in the conditions of the Sea of Azov, constructive parameters that could reduce wind-wave loads in the period when the sea is not covered with ice and ice loads in the winter period were calculated.

In this work, three depths of the setting of the ocean engineering facility on which the most perspective areas of extraction of hydrocarbon raw materials can be developed - 8 m, 10 m and 12 m are considered. For these depths the clearance of the platform of 7 m was calculated.

Key words: drilling platforms, ice loads, Azov-Black Sea basin, methods of determining the ice load on the basis of neural network technologies, fundamental methods of Ralston, Croasdale method, Meller method.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЛЬДОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ УМОВ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ	24
1.1 Перспективи видобутку вуглеводневої сировини на Азово-Чорноморському шельфі.....	25
1.2 Аналіз досвіду використання бурових платформ в Азовському морі.....	26
1.3 Азовське море. Опис регіону	28
1.4 Особливості видобутку вуглеводневої сировини в умовах Азово-Чорноморського басейну	35
1.4.1 Типи бурових платформ для умов Азово-Чорноморського басейну	35
1.4.2 Особливості визначення величини льодових навантажень відомими методиками при проектуванні бурових платформ	39
1.4.3 Методи оперативного вимірювання товщини льоду	40
1.4.4 Основні недоліки існуючих методів оцінки фізико-механічних властивостей льоду (товщини)	46
Висновки за розділом 1.....	48
РОЗДІЛ 2	
ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ТОВЩИНИ МОРСЬКОГО ЛЬОДУ, ЯК ВАЖЛИВОГО ЧИННИКА ВЕЛИЧИНИ ЛЬДОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ	50
2.1 Загальні поняття нейронної мережі.....	50
2.2 Розробка узагальненого алгоритму визначення льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду	53

2.2.1	Алгоритм і послідовність дій при визначенні льодових навантажень із застосуванням нейромережових технологій	54
2.2.2	Опис пропонованих нейронних мереж для прогнозу товщини льоду і верифікація отриманих значень	58
2.2.2.1	Однопараметрична нейронна мережа.....	58
2.2.2.2	Багатофакторний підхід для розрахунку льодових навантажень за допомогою нейронної мережі.....	67
Висновки за розділом 2.....		75
РОЗДІЛ 3		
ВИЗНАЧЕННЯ ЛЬДОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗОВАНОЇ ТОВЩИНИ ЛЬОДУ		76
3.1	Сучасні методики визначення величини льодових навантажень на початкових стадіях проектування	79
3.1.1	Методика розрахунку льодового навантаження згідно ISO 19906	79
3.1.2	Методика розрахунку льодового навантаження за авторською методикою К.Н. Шхінека	84
3.1.1	Методика розрахунку льодового навантаження згідно API RP 2N.....	87
3.1.4	Методика розрахунку льодового навантаження згідно Правил морського Регістра судноплавства Росії	90
3.2	Визначення льодових навантажень за пропонованим алгоритмом...	95
3.2.1	Вхідні параметри для розрахунку льодових навантажень	95
3.2.2	Результати розрахунку льодових навантажень з використанням прогнозованої товщини льоду	99
3.2.3	Порівняння отриманих результатів	103
Висновки за розділом 3.....		111

РОЗДІЛ 4**ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОГО ТИПУ
БУРОВИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ШЕЛЬФУ АЗОВСЬКОГО**

МОРЯ	112
4.1 Допущення для вибору типу платформи, що враховують особливості регіону видобутку вуглеводневої сировини	112
4.2 Аналіз і застосування зарубіжного досвіду створення та експлуатації морських бурових установок в умовах мілководдя.....	113
4.3 Визначення льодових навантажень на існуючі типи платформ	114
4.4 Вибір конструктивних параметрів льодостійкої стаціонарної платформи для Азовського моря на початкових стадіях проектування	121
Висновки за розділом 4.....	131
ВИСНОВОК	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	135
Додаток А. Загальний вигляд платформи ЛСП-1 та СМОЛП	147
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	153
Додаток В. Список публікацій за темою дисертації.....	159

ВСТУП

Однією з найбільш значущих і гострих проблем сучасної світової цивілізації є швидке зростання споживання основних енергоносіїв (нафти, газу, газового конденсату), яке значно випереджає темпи їх видобутку. Здобуття енергетичної незалежності нашої країни потребує суттєвого зростання видобутку нафти і газу, в першу чергу для збільшення виробництва електроенергії і тепла. Вирішення цієї важливої народногосподарської задачі неможливе без освоєння родовищ на континентальному шельфі Азово-Чорноморського басейну. Облаштування морських родовищ вуглеводнів пов'язано з конструюванням і будівництвом океанотехнічних систем різних типів.

Успішне проектування нафтогазопромислових океанотехнічних систем, призначених для експлуатації на шельфі морів і океанів, залежить від достовірних методів розрахунку зовнішніх впливів, зокрема льодових навантажень. Зовнішні навантаження на океанотехнічні системи є основними факторами при виборі їх типів і конструктивних особливостей в 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 дрейфуючих торосів в замерзаючих морях, забезпечуючи ефективну експлуатацію промислів і екологічну безпеку цілих регіонів. Діючі в даний час нормативні документи щодо визначення цих навантажень, не містять цілого ряду рекомендацій, які б враховували різні форми проєктованих споруд та ту різноманітність різних розрахункових сценаріїв, які можуть реалізуватися в процесі їх терміну служби. З цієї причини, розвиток існуючих і створення нових методів розрахунку льодових навантажень на океанотехнічні системи специфічних форм є досить актуальною проблемою.

У зв'язку з цим слід зазначити основні роботи в яких розглядаються питання аналізу характеристик морського середовища відомих вчених К.Н. Шхінека, Ю.В. Долгополова К.Н Коржавина, Є.В. Уварової, Т. Доусона, Е.Н Беллендира, В.П. Афанасьєва, В.М. Кушніра, В.Р. Душко та ряду інших.

Однією з основних проблем при проектуванні платформи для роботи в льоді, крім інфраструктури і віддаленості області, є досить різні властивості льоду. Лід не є однорідним, і його властивості динамічні. Це ускладнює отримання точних кількісних оцінок льодових навантажень. Сучасні методи проектування і розрахунку конструкцій засновані на використанні максимальних значень льодового навантаження, отриманих за допомогою спостережень в більш ранній час [1-6]. Це не дозволяє оцінити реальну картину навантажень, що діють на споруди, так як за останнє десятиліття спостерігається суттєва зміна кліматичних умов, в тому числі і в місці розташування проектованих бурових платформ.

При розрахунках льодових навантажень на ранніх стадіях проектування використовують нормативні значення параметрів льоду, але єдиного підходу до вибору цих значень немає. Деякі дослідники пропонують, в якості розрахункових, приймати максимально можливі з наявного ряду спостережень величини. Інші рекомендують в розрахунки вводити найбільш імовірні значення [7-12].

Незважаючи на те, що в основному, існуючі бурові платформи — морські бурові платформи працюють цілком добре за умови правильного урахування дії льоду, виникає ряд проблем як технічного, так і економічного характеру, які викликані або необґрунтованими, або завищеними оцінками товщини льоду в районі їх установки [13]:

- Прогноз зміни товщини льоду, особливо з огляду на різкі кліматичні зміни в останнє десятиліття, підвищує безпеку експлуатації морських бурових платформ (МБП) та сприяє скороченню часу їх простою.

– Невірна орієнтація МБП в залежності від напрямку дрейфу льоду може призвести до невірного урахування розрахованої льодового навантаження.

– Розлом льоду навколо МБП є дуже важливим по відношенню до величини льодових навантажень.

Усі ці фактори беруться до уваги при розробці МБП, що працюють в складну льодову обстановку для того, щоб звести до мінімуму криголамну підтримку, з огляду на можливість опору дії льодового навантаження, яку буде зазнавати МБП з будь-якого напрямку.

Прогнозовані льодові умови використовуються для оцінки льодових навантажень на МБП і, отже, для оцінки життєздатності пропонованої конструкції платформи.

Таким чином, формалізація способу розв'язання задач аналізу впливу навантаження льоду на бурові платформи виявляється досить складною задачею. Разом з тим, вона диктується потребами автоматизації проектування систем на ЕОМ. Уже з цієї досить важливої причини виникає необхідність в пошуку інших підходів.

З урахуванням вищезазначеного, **актуальність** дослідження визначається:

а) необхідністю проектувати льодостійкі морські бурові платформи для Азово-Чорноморського басейну;

б) необхідністю удосконалення існуючих методів урахування льодових навантажень на морські бурові платформи;

в) необхідністю розробки програмного забезпечення для розрахунків навантажень на бурові платформи при проектуванні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконана в рамках прикладних державних бюджетних науково-дослідних робіт «Гідродинаміка глибоководних платформ для умов Чорного моря» (№ держ. реєстрації 0111U003328), «Нелінійна динаміка океанотехнічних споруд на шельфі Азово-Чорноморського басейну» (№

держ. реєстрації 0113U001254) та відповідно до Енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [14].

Мета дисертаційної роботи і завдання дослідження.

Метою дисертації є удосконалення проектування на початковій стадії бурових платформ 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 задачі:

- проаналізовано 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 урахування фізичних факторів формування льодових утворень для оцінки величини льодового навантаження на бурові платформи, яку вперше вирішена з використанням штучних нейронних мереж;
- удосконалено методику визначення льодових навантажень на бурові платформи з використанням нейромережевих 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 розташування.

Методи дослідження. Задачу прогнозування товщини льоду в заданому районі сформульовано і вирішено за допомогою апарату штучних нейронних мереж; використано метод градієнтного спуску для мінімізації

помилки при прогнозуванні товщини льоду із застосуванням нейронних мереж; метод Quick-Prop2 із застосуванням сполучених градієнтів використано 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 використано фундаментальні методи Ralston, метод Croasdale, метод Meller, що лежать в основі методик.

Наукова новизна отриманих результатів:

Наукова новизна результатів, представлених в дисертації, полягає в наступному:

- вперше на підставі застосування штучних нейронних мереж отримана модель прогнозування льодових утворень в акваторії установки бурової платформи, як одного з основних факторів величини льодового навантаження, що дає змогу оцінювати реальні навантаження як на створювані, так і на існуючі споруди;

- вперше створено інструментарій для прогнозування експлуатаційних навантажень на вже існуючі бурові платформи, на підставі апроксимації функцій фізичних параметрів, що впливають на формування льодових утворень, по заданому набору прикладів за допомогою процедури впровадження ряду в багатовимірне рівняння. Що дає змогу попередити екстремальні і аварійні ситуації при експлуатації споруд.

- 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;

- на основі результатів, отриманих із застосуванням нейромережних 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.

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. Вирішення цього завдання дає можливість здійснити удосконалення процесу проектування бурових платформ для Азово-Чорноморського басейну.

Практична цінність роботи.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в створенні прикладної методики реалізованих в розробленому програмному забезпеченні, 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 так само науково-дослідницької роботи кафедри Теорії і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова Одеського національного морського університету.

Особистий внесок автора в отриманні наведених у дисертації наукових результатів, які полягають в запропонованій багатофакторній методиці аналізу товщини морських льодових утворень, на основі застосування нейронних мереж, які враховують безліч вихідних факторів; в удосконаленні методики аналізу товщини льоду за допомогою методів побудови однофакторної нейронної мережі, в якій здійснено вибір типу мережі та її структури, що забезпечує його надійне і ефективне використання; в удосконаленні методики розрахунку льодових навантажень

на бурові платформи, яка дозволяє оцінювати величину льодового навантаження на початкових стадіях проектування.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи були представлені та обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу НУК ім. адмірала Макарова (Миколаїв, 2012р.); на міжнародних науково-технічних конференціях професорського-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», присвяченої пам'яті професора Воробйова Ю.Л. (Одеса, 2015); на щорічній науковій конференції «Інноваційні погляди в майбутнє '2017» (Одеса, 2017). За темою дисертаційної роботи опубліковано 13 друкованих наукових праць, з них 6 статей [15, 16, 25, 26, 27, 28] без співавторів, 2 статті [17, 18] у співавторстві в збірниках, які рекомендовано Переліком ДАК МОН України і 5 матеріалів і тез доповідей конференцій [19-24].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЛЬОДОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ УМОВ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ

Азовське море містить велику кількість вуглеводневої сировини. Ці неживані ресурси розглядаються як важливі джерела енергії для майбутнього, і завдання видобутку цих джерел безпечним чином є одним з основних питань. Азовське море розглядається як одна з важливих областей, яка була відібрана для подальшого аналізу [30].

На даний час ведеться видобуток вуглеводневої сировини на мілководді, а також розробка перспективних місць видобутку [31]. Це вимагає розвитку бурових платформ, які можуть виконувати завдання буріння і видобутку безпечним чином. Видобуток вуглеводневої сировини ведеться цілий рік, що викликає питання безпеки роботи бурових платформ в зимовий період, який характеризується льодовими утвореннями величиною до 1,0 м. Однією з основних проблем при проектуванні платформи для роботи в льодових умовах, крім інфраструктури, є вельми різні властивості льоду. Лід не є однорідним і змінюється дуже динамічно, що ускладнює точну кількісну оцінку льодових навантажень.

Необхідність бурових платформ в значній мірі визначається кількістю доступного вуглеводневої сировини в Азовському морі [31, 32]. Початкові сумарні ресурси вуглеводнів в 80 нафтогазоперспективних і прогнозно-перспективних об'єктах, а також в 6 газових родовищах становлять: геологічні — 420,8 млн. т умовного палива (у. п.), які добуваються — 324,8 млн. т у. п., нерозвідані — 314,45 млн. т у. п. при ступені реалізації початкових сумарних ресурсів 3,2% [32].

1.1 Перспективи видобутку вуглеводневої сировини на Азово-Чорноморському шельфі

В Україні на шельфі Чорного і Азовського морів нафту і газ видобуває тільки ДАТ «Чорноморнафтогаз» [30]. На початок 2014 року на його балансі перебувають 17 родовищ (11 газових, 4 газоконденсатних і 2 нафтових). Їх сумарні запаси: 58,56 млрд. куб. м газу, 1231 тис. т конденсату, 2530 тис. т нафти. Розробляється десять родовищ (рисунок 1.1). На суші — Задорненське, Джанкойське та Семенівське. В акваторії Чорного моря — Голіцинське, Штормове, Архангельське і Одеське, в акваторії Азовського моря — Стрілкове, Східно-Казантипське і Північно-Булганакське. Дев'ять родовищ газові і газоконденсатні, Семенівське — нафтове. В стадії облаштування знаходяться родовища Одеське і Безіменне (газ), в стадії підготовки до облаштування (або завершення розвідки) — Суботіна (нафта).



Рисунок 1.1 — Схема розроблюваних родовищ в Азово-Чорноморському басейні

Видобуток газу: 2010 р. — 1,031; 2011 р. — 1,056; 2012 р. — 1,174; 2013 р. — 1,650 млрд. Куб. м. Зростання видобутку в січні 2014 році по відношенню до січня 2013 г. склав 50,1%. Воно досягнуто за рахунок дооблаштування Штормового і Архангельського родовищ і введення в експлуатацію Одеського.

ДАТ «Чорноморнафтогаз» експлуатує понад 1200 км магістральних газопроводів, в тому числі 370 км морських. Поставляє газ підприємствам, установам і населенню України.

У 2014 р на шельфі Чорного моря планувалося пробурити 11 видобувних свердловин і почати промислове освоєння Безіменного родовища. За наявними планами видобуток газу ДАТ «Чорноморнафтогаз» в 2014 р повинна був становити 2,42 млрд. куб. м, в 2015 р — 3,0 млрд. куб. м.

До нових перспективних проектів відносять: Одеське і Безіменне родовища; родовище Суботіна; структура Палласа; Прикерченська ділянка; Скіфська ділянка.

1.2 Аналіз досвіду використання бурових платформ в Азовському морі

В кінці 70-х років ХХ століття на шельфі Азовського моря передбачалося побудувати першу льодостійку залізобетонну платформу [33]. Опора такої платформи являла собою багатогранний залізобетонний циліндр діаметром 8 м з товщиною стінки 1 м. Опора закріплювалася 16 вертикальними палями, які проходили всередині стінок циліндричної частини і забивалися в ґрунт.

При будівництві опорної конструкції для платформи позначилася відсутність досвіду зведення подібних споруд на шельфі, де мають місце зрушення льодових полів. В Азовському морі під час північно-східних вітрів в лютому-березні спостерігаються зрушення льодових полів [34]. І в першу зиму опорна конструкція платформи, що будувалася, не витримала натиску льоду і похилилась (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 — Опорна конструкція платформи

Це послужило хорошим досвідом при будівництві наступних сталевих морських стаціонарних платформ «Стрілка-2», «Стрілка-5» і ін. (рисунок 1.3), які були побудовані на початку 80-х років і до теперішнього моменту дають газ. Однак сьогодні ще не вирішена до кінця проблема визначення фактичних льодових навантажень на опорні конструкції морських споруд при впливі льодових полів і окремих крижин.



Рисунок 1.3 — Сталева морська платформа «Стрілка-2»

1.3 Азовське море. Опис регіону

Азовське море розташоване між $45^{\circ}17'$ п. ш. і $47^{\circ}17'$ п. ш., і $34^{\circ}49'$ с. д. і $39^{\circ}18'$ с. д. (рисунк 1.4) [35, 36, 37, 38]. Через мілководну Керченську протоку воно з'єднується з Чорним морем. Максимальна довжина моря становить 360 км, максимальна ширина — 176 км. Площа моря — 39 000 км², середня глибина — 7 м (максимальна — 13 м). Об'єм води в морі — 290 км³.

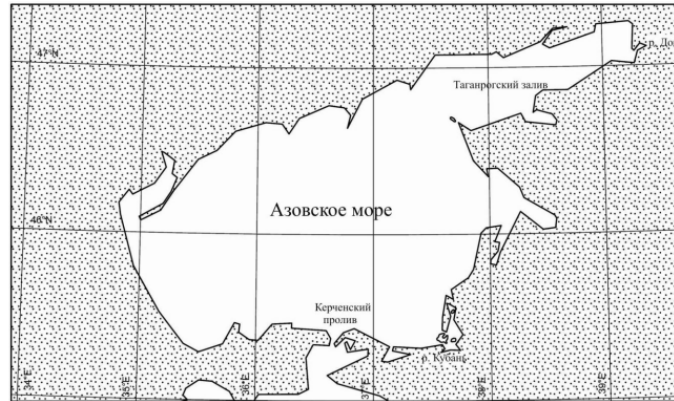


Рисунок 1.4 — Схематична карта Азовського моря

Через свої невеликі розміри і ізольованості клімат Азовського моря в значній мірі знаходиться під впливом оточуючих материкових областей і має подібні характеристики з навколишніми землями (наприклад, велика різниця між літніми та зимовими температурами). Взимку погода помірно холодна, нестійка, вітряна. Влітку погода тепла і ясна. Середньорічна температура становить 9°C в північній частині моря і 11°C в південній частині.

Взимку потоки холодного повітря з помірних широт, що формуються Сибірським максимумом, супроводжуються північно-східними і східними вітрами (часто середня швидкість досягає 15 м/с і вище), іноді сильними морозами. Періоди низьких температур змінюються відлигами, коли море підпадає під вплив зимового середземноморського циклону, який приносить теплі (іноді сильні) південно-західні вітри.

У найбільш холодні місяці (січень і лютий) температура повітря може досягати мінус 22°C на півдні і мінус 33°C на півночі. Середня температура в січні — лютому становить від мінус 4°C до мінус 6°C на північному узбережжі і мінус 1°C — на південному. Влітку Азовське море піддається впливу Азорського максимуму. У червні температура повітря в різних районах моря досягає 20-24°C, а в найбільш теплі місяці (липень і серпень) вона становить 23-25°C. Максимальна температура, зафіксована в ці місяці, складала 33-43°C, мінімальна — від 9-13 °C.

У всі сезони слабкі помірні вітри переважають над морем. Частота виникнення вітрів слабкіше 6 м/с становить 70%, а штилів — взимку 3% і 5% — в інші сезони. Частота виникнення вітрів сильніше 14 м/с становить менше 1%, а частота виникнення вітрів швидкістю понад 20 м / с — 0,1%.

Опади над поверхнею моря розподіляються неоднорідно. Загальна кількість опадів становить близько 500 мм на рік у східного узбережжя і 330 мм на рік на заході.

Гідрологічний режим Азовського моря обумовлений його мілководністю, річковим стоком, водообміном з Чорним морем і затокою Сиваш, а також метеорологічними умовами. Внаслідок мілководності моря нагрівання та охолодження водних мас відбувається швидко по всій товщі води, що призводить до вирівнювання температур.

Водообмін Азовського моря з Чорним морем і затокою Сиваш обумовлює розподіл солоності, щільності, прозорості і кольору води [39, 40].

Течії в Азовському морі в основному залежать від вітру. Велика мінливість течій — наслідок нестійкості вітрового режиму, мілководності моря і його порівняно невеликої площі.

Вітри від NE і E є переважаючими в холодний період року, при цьому, в залежності від швидкості вітру, на акваторії формуються дві різні схеми течій (рисунок 1.5), а в теплий — вітри від SW та W (рисунок 1.6).

Переважна швидкість течій в Азовському морі 0,2-0,4 вуз, максимальна 1-1,5 вуз. В період дії сильних і тривалих вітрів швидкість течій досягає 2,5 вуз. У вузкостях Керченської протоки при штормових нагонних вітрах швидкість течій збільшується до 2,8 вуз.

Повторюваність течій становить в середньому: Азовського 62%, Чорноморського 38%.

Протягом майже всього року над Азовським морем переважають вітри від NE і E. Вітри цих напрямків більш яскраво виражені з вересня по квітень, коли загальна повторюваність їх становить 30-60%. Крім цих вітрів, з травня – червня по серпень збільшується повторюваність вітрів від SW та W (сумарна повторюваність їх сягає 50%). Середня місячна швидкість вітру протягом року 3-7 м/с, причому в холодний період року вона більше, ніж в теплий. Штилі рідкісні, повторюваність їх зазвичай не перевищує 7%, і тільки в окремих пунктах вона збільшується до 14%.

Річна кількість днів зі швидкістю вітру 17 м/с і більше на узбережжі коливається від 21 до 38. Вітри з такою швидкістю спостерігаються частіше з жовтня по березень, коли середня кількість днів з ними 2-4 за місяць, в решту часу середня місячна кількість днів з таким вітром не перевищує 1-2.

Взимку вітри зі швидкістю 17 м/с і більше спостерігаються переважно від NE і E. Вони відрізняються великою тривалістю, зазвичай охоплюють все море і часто супроводжуються морозами і хуртовинами. Влітку вітри з такою швидкістю відзначаються при проходженні холодних фронтів. Взимку в описуваному районі відзначаються так звані «шторми Азовського моря» — сильні вітри від NE, небезпечні для суден. Вони спостерігаються 20-30 разів на рік, досягають великої швидкості і зазвичай супроводжуються сильними морозами. Найбільша тривалість таких штормів 9 діб. Уздовж Арабатської Стрілки хвилі зламують лід і нагромаджують тороси.

Режим хвилювання Азовського моря обумовлений невеликою площею моря, малими глибинами і значно складною береговою лінією. [39, 1, 3].

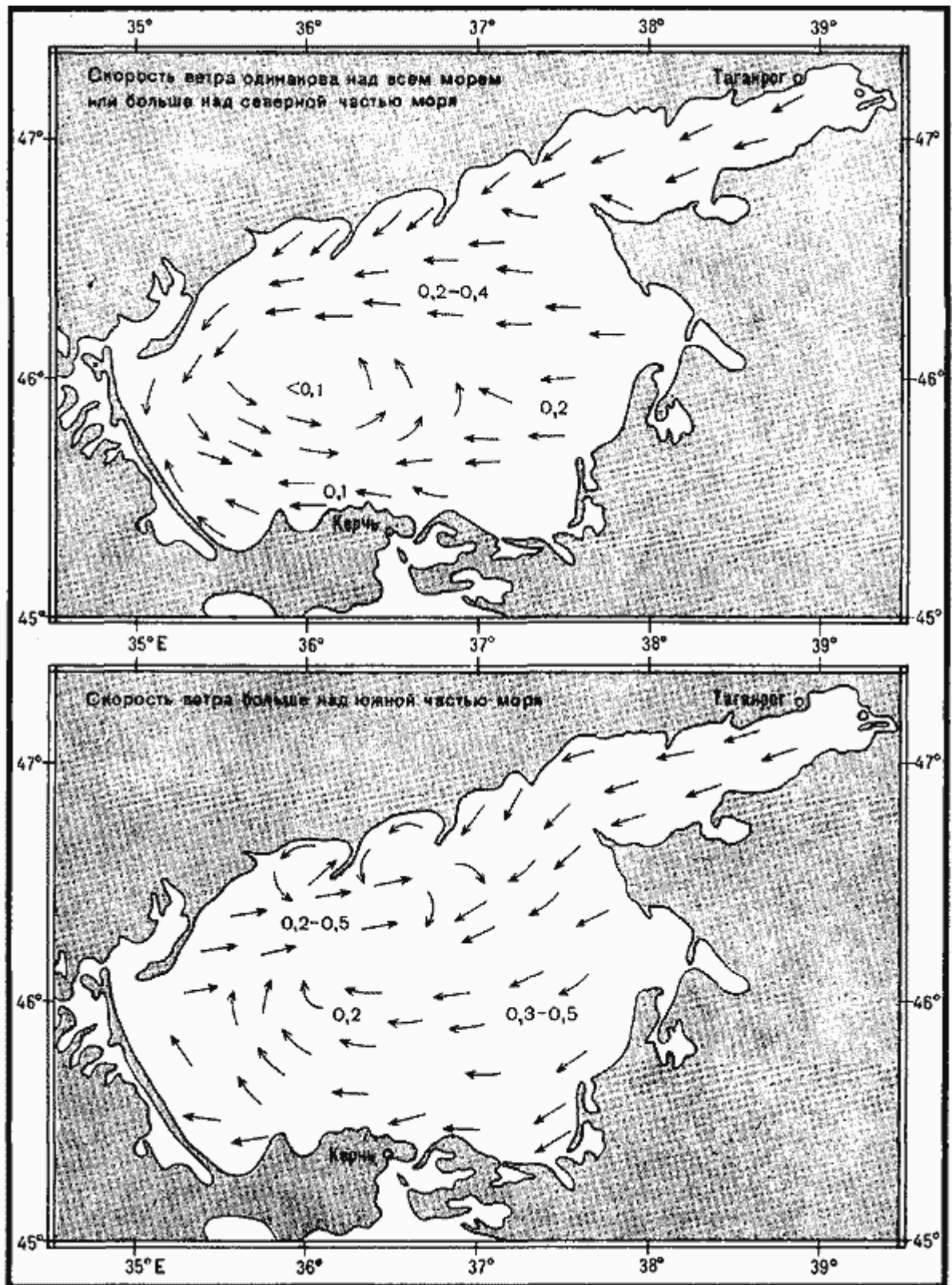


Рисунок 1.5 — Схема поверхностных течий при помірних вітрах від NE і E

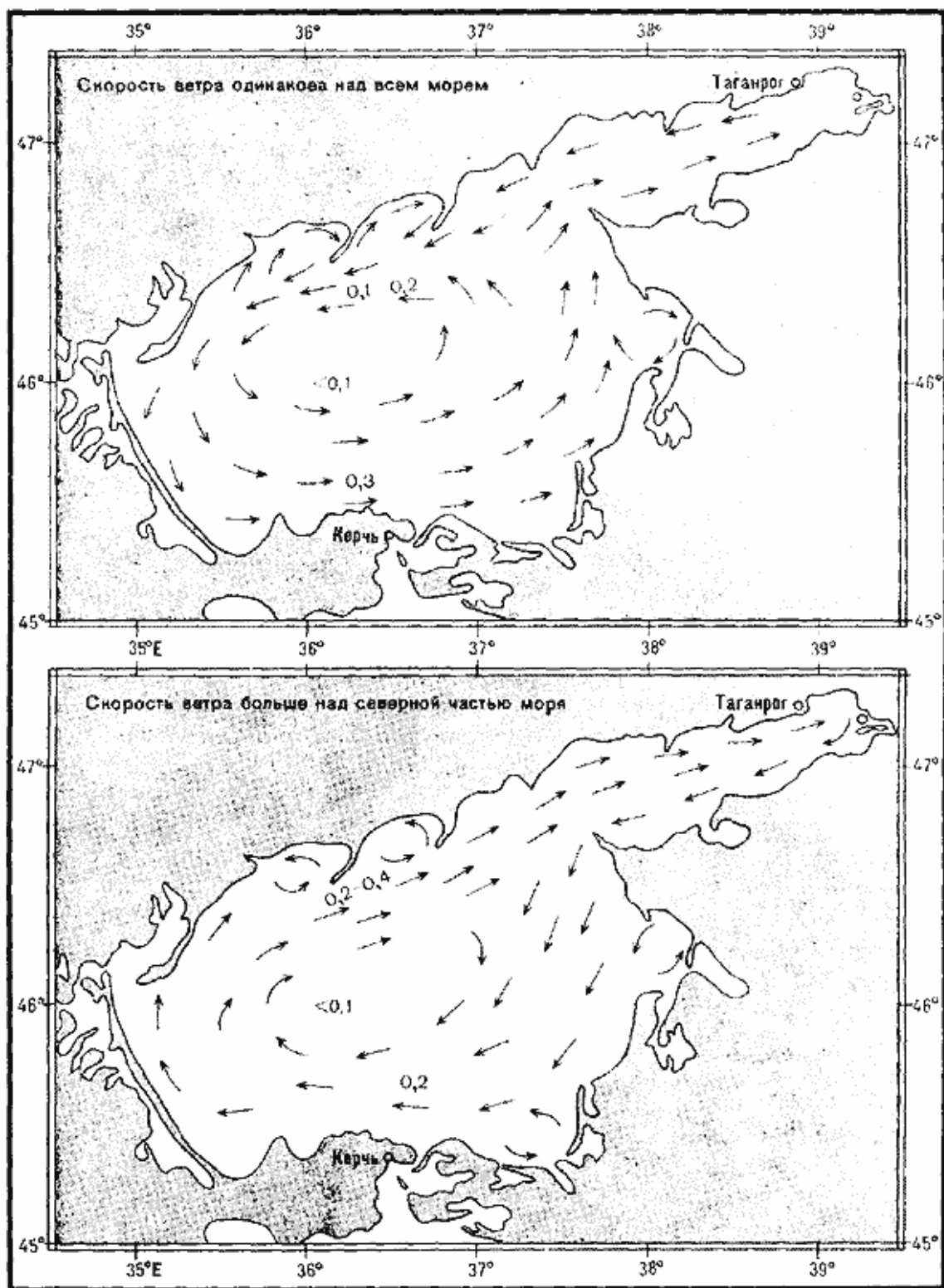


Рисунок 1.6 — Схема поверхностных течий при помірних вітрах від SW та W

В описуваному районі переважають висоти хвиль менше 1 м (повторюваність їх сягає 75%). Повторюваність висот хвиль 1-2 м становить 20-45%, а висот хвиль 2-3 м — не більше 13%. У центральній, найбільш глибоководній частині моря висоти хвиль не перевищують 3,5 м, і тільки в дуже рідкісних випадках вони досягають 4 м. У найбільш штормові місяці (грудень—березень) розвиток хвилювання в описуваному районі обмежується наявністю льоду.

Температура поверхневого шару моря має добре виражений річний хід [1]. Найбільш низька температура води спостерігається в січні – лютому і становить в більшій частині моря 0°C або трохи нижче; лише в його південній частині в цей час зберігається позитивна температура води (1-3°C), хоча і тут в суворі зими вона може знижуватися до – 0,3°C. З березня температура швидко підвищується і в травні досягає 18°C. Влітку температура води у відкритому морі становить переважно 22-25°C, а в прибережній зоні досягає 32°C. З другої половини серпня вона починає помітно знижуватися і в листопаді становить 6-10°C. У Керченській протоці в осінньо-зимовий період температура води зазвичай на 2-4°C вище, ніж у відкритому морі. У літні місяці в результаті водообміну між Азовським і Чорним морями температура води в протоці нижче, ніж в прибережній зоні моря.

Солоність поверхневого шару моря незначна і становить в основному 10-12 ‰.

Лід формується в Азовському морі щороку [36, 37, 41, 5, 6]. У суворі зими лід покриває велику частину поверхні моря (а іноді і все море повністю). У м'які зими лід утворюється в гирлах, затоках і бухтах, захищених від хвиль, уздовж узбережжя. Льодові умови в Азовському морі нестабільні. Лід може формуватися і сходити кілька разів за сезон, і може трансформуватися з дрейфуючого в припайний, і навпаки.

У помірні зими перший лід з'являється в кінці листопада – на початку грудня в Таганрозькій затоці. Три-чотири тижні по тому ця затока

покривається нерухомим льодом (рисунок 1.7). Одночасно припайний лід формується уздовж північного узбережжя, і вздовж кордонів припая акумулюється велика кількість дрейфуючого льоду. У той же самий час лід, що дрейфує, виникає на південному заході, цей лід рухається в Чорне море через Керченську протоку. Пізніше припайний лід утворюється вздовж усієї берегової лінії. До кінця січня Керченська протока, яка вважається районом з малою кількістю льоду, покривається відносно стабільним льодом. Що стосується центральної частини моря, лід, що дрейфує, з'являються тут у кінці січня – початку лютого. Імовірність проникнення припайного льоду у відкрите море в січні – лютому в помірні зими складає 10-20%.



Рисунок 1.7 — Частота виникнення льоду в помірні зими (лютий).

У м'які зими в центральній частині моря, як правило, льоду не утворюється, проте тут іноді можуть спостерігатися в невеликій кількості льоди, що дрейфують.

Льодове покриття в Азовському морі досягає свого максимуму в першій половині лютого. У цей період товщина льоду становить від 30 до 40 см. Висота торосів у відкритому морі не перевищує 1 м.

Згідно з даними спостережень, крижаний покрив займає близько 30% площі поверхні моря (в помірні зими до 80%). Його розподіл в морі істотно залежить від переважаючих вітрів і течій.

У другій половині лютого нарощування товщини льоду припиняється. Скрес льоду відбувається в березні-квітні, починається спочатку в південній частині і в дельтах річок, потім триває на півночі і, нарешті, в Таганрозькій затоці. Середня тривалість льодового сезону становить 4,5 місяців.

Слід зазначити, що інформація про льодові умови на основі літератури дає не точні значення, оскільки вона заснована на різних вимірах по всій області. Для розробки безпечної конструкції на точці буріння в конкретному районі, необхідно виконати вимір льодових умов в перспективному місці. Це єдиний спосіб забезпечити точну інформацію про льодові умови і особливості льоду.

1.4 Особливості видобутку вуглеводневої сировини в умовах Азово-Чорноморського басейну

1.4.1 Типи бурових платформ для умов Азово-Чорноморського басейну

Як вже було сказано вище, платформа повинна бути в змозі підтримувати круглий рік виробництво. Льодові навантаження більшою мірою змінюються залежно від льодових умов, і в якості початкового припущення, платформа повинна самостійно працювати в умовах помірного льоду.

Для Азовського моря родовища розташовані на глибинах до 12 м (родовища Північно-Казантипське, Стрілецьке, Семенівське, Суботіна) [30, 31]. Виходячи з експлуатаційних характеристик, що включають в себе глибину постановки видобувних споруд і вплив зовнішніх впливів, розглянемо типи бурових установок, які відповідають цим вимогам.

Самопідйомна плавуча бурова установка — СПБУ, що піднімається в робочому стані над поверхнею моря на колонах, які спираються на ґрунт [42, 43, 44, 45]. Колони рухливі в вертикальному напрямку щодо основного корпусу (понтону) (рисунок 1.8). На верхній палубі понтона і в понтоні розташовується технологічне обладнання та засоби життєзабезпечення. СПБУ можна класифікувати за формою понтона; за кількістю опорних

колон; за формою поперечного перерізу колон і їх конструкції; за конструктивним оформленням нижньої частини колон; за типом підйомного механізму; за розташуванням бурової вишки.

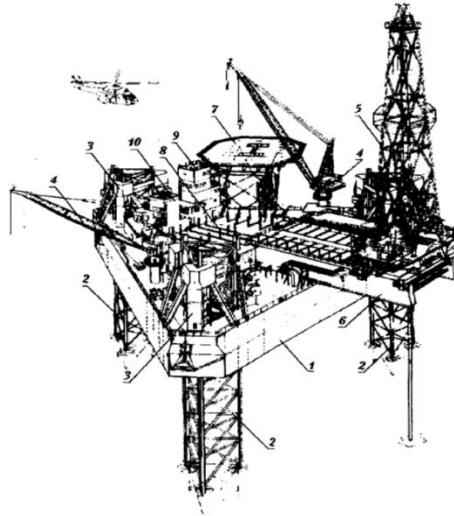


Рисунок 1.8 — Загальний вигляд надводної частини трьохопорної СПБУ

Стаціонарними льодостійкими платформами можуть називатися такі шельфові споруди, архітектура яких визначається, головним чином, здатністю сприймати глобальні та локальні льодові навантаження при експлуатації в льодовій обстановці різного типу (суцільний лід; припайний лід; крижини, що дрейфують; торосисті утворення, що дрейфують і т. д.) [42, 46, 47]. Застосовуються два принципи сприйняття льодових навантажень: за допомогою циліндричних колон, що прорізають лід, або колон, що мають конусність в районі експлуатаційної ватерлінії, достатню для ламання криги вигином, і за допомогою похилої площини (кут нахилу до горизонту 50-70 °).

У першому випадку для використання в якості льодостійких придатні або СПБУ з циліндричною конструкцією опор, що мають підвищену здатність чинити опір горизонтальному зусиллю, або стаціонарні установки з конусними опорами. Такі установки ефективні до певного рівня льодових навантажень, які визначаються насамперед «суворістю» льодових умов.

Другий принцип сприйняття льодових навантажень застосовується при проектуванні установок, які тривалий час експлуатуються (більшу частину року) в важких льодових умовах. Установки мають форму масивного кесона, кругову або прямокутну в плані. Розміри установки перевищують 100 м в поперечному перетені. Внутрішній об'єм використовується для зберігання видобутих ресурсів. Кількість технологічних запасів повинна бути в кілька разів більше, ніж для звичайної установки, оскільки забезпечення в льодових умовах ускладнене.

Сучасні дослідження в області проектування морських льодостійких платформ дозволяють запропонувати наступні варіанти їх АКТ (рисунок 1.9 – 1.12).

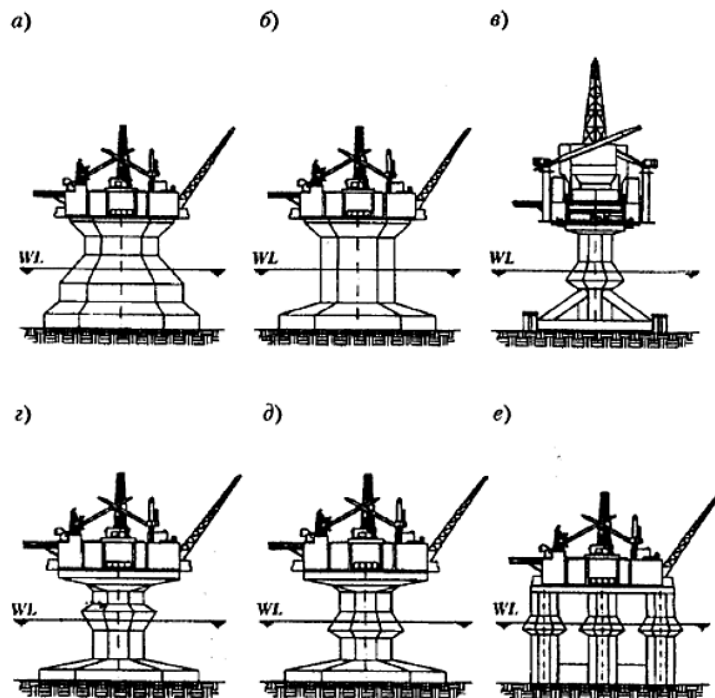


Рисунок 1.9 — Льодостійки платформи гравітаційного типу: а) кесонного типу з похилим бортом в районі ватерлінії; б) кесонного типу з прямим бортом в районі ватерлінії; в) точкового типу; г) кесонного типу з «зворотним» льодовим конусом; д) кесонного типу з льодовим конусом; е) трьохколонної точкового типу

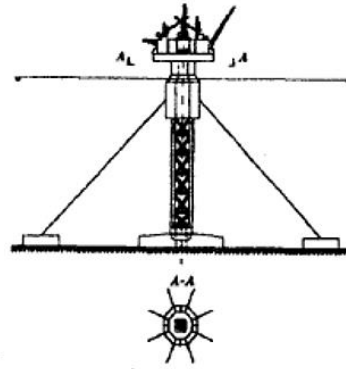


Рисунок 1.10 — Льодова платформа з шарнірної опорою

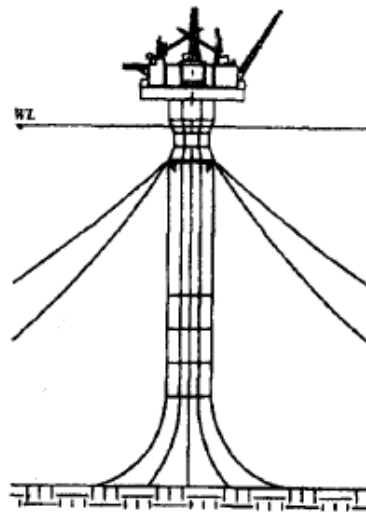
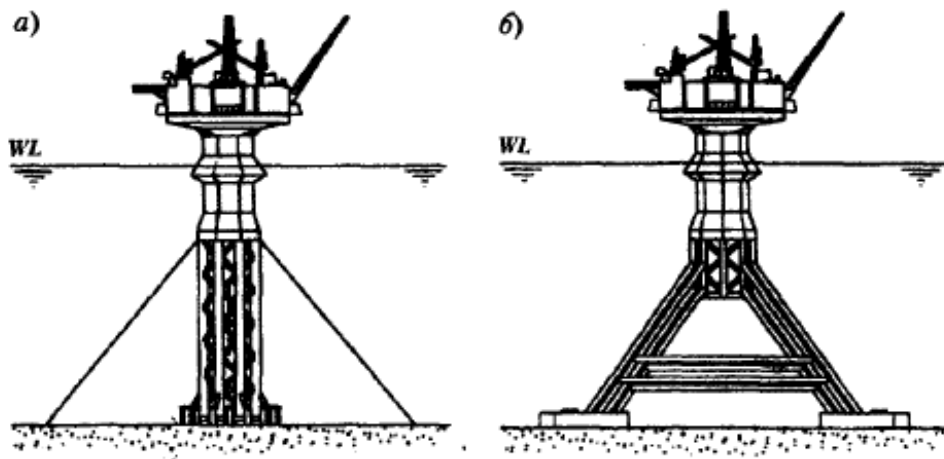


Рисунок 1.11 — Льодостійка платформа на натягнутих зв'язках



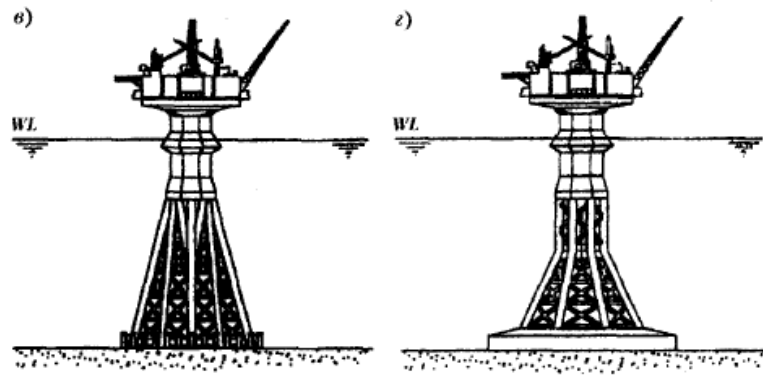


Рисунок 1.12 — Комбіновані варіанти льодостійких платформ:

- а) гравітаційно-пальова платформа на натягнутих зв'язках; б) гравітаційно-свайна багатоопорна платформа; в) гравітаційно-свайна одноблокова платформа; г) гравітаційна платформа з комбінованим опорним блоком

1.4.2 Особливості визначення величини льодових навантажень відомими методиками при проектуванні бурових платформ

Однією з важливих складових, що впливають на льодові навантаження, є фізико-механічна характеристика льоду — його товщина.

Для оцінки льодового навантаження приймають максимальне значення товщини льоду, яке зустрічалося раз в 100 років, згідно зі спостереженнями. Також для попередніх розрахунків використовуються різні емпіричні методи. Емпіричний метод отримав найбільше застосування з існуючих методів розрахунку, що дозволяє за сумою градусо-днів морозу визначити товщину природного термічного наростання льоду за формулами, отриманими для окремих регіонів [48]:

- 1) формула Стефана:

$$h = 3.4\sqrt{t_c},$$

- 2) формула Дралкина

$$h^{2.5} = 5.6St_c,$$

- 3) формула Кареліна

$$h^2 = 2.15(St_c)^{0.15},$$

4) формула Беккера

$$h^2 = 13,45St_c$$

5) формула Барнеса

$$h^2 + 2h = 11.7St_c$$

6) формула Зубова

$$h^2 + 50h = 8\sum t_c$$

де h — товщина льоду термічного наростання; $\sum t_c$ — сума градусо-днів морозу.

Товщина льоду може бути прийнята в якості розрахункової при проектуванні споруд тільки в порівняно закритих обмежених акваторіях, де процес льодоутворення протікає в спокійних умовах. Для споруд, розташованих на відкритих ділянках морського узбережжя або віддалених від берегів, в якості розрахункової форми крижаних утворень повинні прийматися крижані поля, що складаються з нашарованого льоду і торосистих нагромаджень.

Однак, наведені формули не можуть відобразити особливостей льодового режиму, умов формування льоду і дати точну оцінку товщини, а також структури льодових полів. Неточність оцінки джерела навантаження (льодових полів) може призвести до завищених економічних, трудомістких і металомістких витрат. На даний час досить розвинені технології космічних спостережень і дистанційного зондування, які дозволяють точно і оперативно визначати обстановку в необхідному районі.

1.4.3 Методи оперативного вимірювання товщини льоду

Сучасна технологія обслуговування морських галузей економіки в льодовий період заснована на реалізації комплексного підходу, що включає використання [49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56]:

- кліматичних уявлень;

- аналізу інформації з штучних супутників Землі (ШСЗ);
- аналізу інформації з попутних і експедиційних суден і криголамів;
- даних авіаційних льодових розвідок (з літаків і вертольотів);
- даних гідрометеорологічних станцій;
- даних з суден і платформ;
- інтерпретації результатів модельних розрахунків і прогнозів.

Інформація берегових станцій, а також дані з ШСЗ, суден, криголамів, літаків і вертольотів є вихідним матеріалом для розробки методів льодових прогнозів.

Спостереження за льодом, що здійснюються на берегових станціях і постах, висвітлюють порівняно вузьку зону моря, прилеглу до берега [55]. Берегові спостереження включають в себе: визначення термінів появи льоду; утворення припаю; повного замерзання району спостережень; злому припаю; повного руйнування припаю; очищення району спостережень від льоду; кількість плавучого і нерухомого льоду; ширини припаю; ступеня торосисті, зруйнованості і забрудненості льоду; вікових характеристик льоду; швидкості і напрямку дрейфу льоду; стиснення льоду; товщини льоду і висоти снігового покриву.

Спостереження за льодом з літаків, вертольотів і ШСЗ охоплюють значні акваторії моря або все море в цілому. Вони дозволяють оцінити такі характеристики крижаного покриву, як розподіл льоду різного віку і згуртованості по акваторії моря, положення кромek плавучого і нерухомого льоду, роздробленість і зруйнованість дрейфуючого льоду, ширину припая і ополонок, розміри найбільш великих крижин; стиснення і розрідження в льодах.

Прибережні льодові спостереження. На станціях державної гідрометеорологічної мережі здійснюються спостереження за льодовою обстановкою в прибережній зоні. Завдання спостерігача полягає в тому, щоб систематично і з вичерпною повнотою відзначати всі характерні особливості крижаного покриву в районі спостережень і фіксувати в ньому зміни в часі.

Для того щоб дані льодових спостережень були порівнянними між собою, а також для відображення в термінах і умовні позначення були єдиними, спостерігачі строго керуються «Номенклатурою морських льодів» [56] і «Настановою гідрометеорологічним станціям і постам».

Прибережні льодові спостереження виконуються тоді, коли в районі станції є лід. Восени спостереження за водним об'єктом ведуться постійно, щоб не пропустити момент початку льодоутворення.

Основні спостереження підлягають виконанню всіма станціями і постами. Додаткові спостереження для станцій визначаються Управлінням по гідрометеорології та моніторингу навколишнього середовища (УГМС).

Замальовка льодової обстановки і основні спостереження виконуються щодня один раз на добу. При цьому в світлі пори року вони пристосовуються до 8-9 години дня, в темні — ближче до місцевого полудня.

Товщина льоду і висота снігового покриву в постійній точці навесні з початком танення (при досягненні зруйнованості крижаного покриву 1 бал) на всіх морях вимірюються щодня. У морях середніх широт ці вимірювання проводяться щодня, раз в 5 діб і раз в декаду при товщині льоду, відповідно, до 20 см, від 20 до 50 см і понад 50 см.

Льодовий спостережний пункт розташовується на піднесеному місці недалеко від станції і від берега на спеціально побудований вишці або наявних спорудах (вишка маяка, майданчик на даху будівлі). «Відомості про основні елементи льодового режиму», що є одним з головних звітних документів, подають щороку станцією в УГМС.

На прибережних станціях морів помірної зони льодова таблиця складається за льодовий період. При цьому за льодовий період приймається період, що припадає на холодну пору року, протягом якого на об'єкті, послідовно змінюючи один одного, протікають процеси утворення, розвитку і руйнування крижаного покриву, що завершуються в більшості випадків його повним зникненням. Тривалість льодового періоду підраховується, починаючи з дати першого льодоутворення і закінчуючи днем, що передуює

даті остаточного очищення. Якщо остаточного очищення об'єкту від льоду не відбулося, за останню добу даного льодового періоду приймається дата, після якої на наступну добу мало місце перше льодоутворення, що означає початок нового льодового періоду.

Шельф Азово-Чорноморського басейну — це район, який вимагає особливої уваги, так як тут активно розвивається господарська діяльність українських компаній з освоєння родовищ вуглеводневої сировини. Безпека і ефективність видобутку і транспортування нафти і газу в значній мірі залежить від розвитку системи моніторингу льодового покриву, атмосфери і океану.

Льодові авіаційні розвідки. З початку 90-х рр. XX століття систематичні авіарозвідки повністю припинені. Проте, їх дані, будучи єдиним видом просторової інформації про кригу в 30-х – початку 80-х рр. XX століття, за достовірністю, системністю і деталістичністю не поступаються сучасній супутниковій інформації середньої роздільної здатності.

На даний час здійснюється переклад в електронний вигляд карт льодових авіарозвідок, існуючих поки переважно на паперових носіях, з метою створення банків даних та отримання якісного кліматичного матеріалу.

Інтерпретація знімків ШСЗ. З 2000 року для моніторингу стану крижаного покриву активно використовується інформація, що передається в режимі on-line супутникового скануючого спектро радіометра середньої роздільної здатності MODIS (рисунки 1.13, 1.14), який є одним з основних інструментів на борту американських супутників серії EOS (TERRA і AQUA). MODIS має 36 спектральних каналів: у видимому, ближньому, середньому і тепловому інфрачервоному діапазонах з роздільною здатністю в залежності від каналу 250-1000 м [57].



Рисунок 1.13 — Льодова обстановка в Азовському морі 16 січня 2008 року по даними ІСЗ TERRA

Головним недоліком інформації оптичних діапазонів, яка була одержана з супутників серій NOAA і EOS, є їх залежність від хмарності. Для моніторингу стану крижаного покриву необхідно регулярне надходження даних, яке не залежить від погодних умов. Вимогу всепогодності задовольняють дані радіолокаційних зйомок з космосу. На даний час такі зйомки здійснюють такі зарубіжні супутникові системи: Radarsat, ERS, Envisat, QuikSCAT, які мають ряд переваг в порівнянні з матеріалами традиційних контактних океанографічних досліджень. Вони відрізняються високим просторово-часовим дозволом, можливістю інформаційного висвічування великих акваторій, включаючи економічні зони і територіальні води різних держав, що не завжди є доступними контактним методам. У сучасній океанографічній літературі відсутні роботи, де були б узагальнені відомості про льоди за цей період [58].

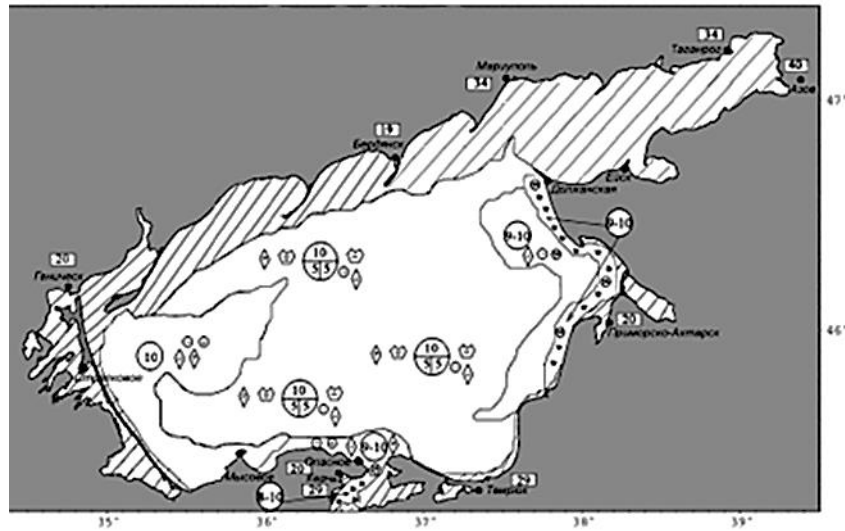


Рисунок 1.14. — Інтерпретація льодової обстановки за даними ШСЗ

Слід зазначити деякі особливості двох різних носіїв інформації: карт льодових розвідок і знімків ШСЗ.

Карти льодових розвідок мають специфіку з точки зору існування залежності якості зібраної і візуалізованої інформації від людського фактора [59].

Істотно залежить від людського фактора і дешифрування льодової інформації по знімках ШСЗ середньої і низької роздільної здатності. Обмеження в надійності інформації стосуються, перш за все, згуртованості і віку льоду. Для визначення положення країв льоду дані льодових розвідок і ШСЗ досить надійні.

На даний час на орбіту виведені наступні космічні апарати дистанційного зондування Землі: «Січ-1», «Січ-1М», «Мікрон», «Січ-2», які дозволяють проводити в тому числі і льодову розвідку для складання льодових карт, що важливо при оперативній оцінці льодового навантаження.

Згідно зі стратегією космічної діяльності України на період до 2022 р. [60] передбачається запуск не менше шести супутників, три з яких є космічними апаратами дистанційного зондування Землі «Січ-2-1», «Січ-2М», «Січ-3», а так само науково технологічний космічний апарат «Іоносат».

Розвиток, в тому числі і космічних технологій, дозволить самостійно, оперативно і достовірно оцінювати стан льодового покриву на шельфі Азово-Чорноморського басейну, який є одним з важливих складових у енергонезалежності України.

1.4.4 Основні недоліки існуючих методів оцінки фізико-механічних властивостей льоду (товщини)

Товщина і структура льоду є одними з факторів, що впливає на сценарії взаємодії льодового утворення і бурової платформи. Модельні випробування природних зразків льоду, без впливу на них вітро-хвильових навантажень не дає повну картину реальної поведінки льодових утворень (розколювання, наповзання і т.д.), що так само впливає на величину льодового навантаження

Застосування берегових спостережень, авіа спостережень або вимірювання товщини льоду з допомогу розвідувальних суден є в першому випадку обмеженими і не дають повну картину про льодові утворення, які перебувають на відкритих ділянках морів, а в другому і третьому випадках – дорогими, що представляють небезпеку і часто є недоступними через погодні умови.

Перераховані фактори не дозволяють позбутися від недоліків при оцінці льодового навантаження, якщо дотримуватися традиційних методів визначення фізико-механічних властивостей льоду. Виникла необхідність застосування методики комплексної оцінки льодового покриву (товщини, структури, швидкості дрейфу і т.д.), яку можна здійснити з використанням сучасних супутникових технологій.

Сучасні спостереження дозволяють отримувати щодня точні дані зміни льодового режиму. На даний час для розпізнавання і складання льодових карт, прогнозування льодових навантажень і т.д. застосовується технологія нейродинамічного програмування. Використання нейродинамічних технологій дозволить з високою точністю і з урахуванням реальної картини дати прогноз по товщині льодових утворень. Отримані дані можуть бути

підставою як для оцінки льодових навантажень на існуючі бурові платформи на Азово-Чорноморському басейні, так і для вироблення рекомендації при проектуванні споруд безпосередньо для морського шельфу України. Застосування нейронних мереж з метою прогнозування величини льодового навантаження в Азовському морі є предметом подальшого розгляду.

Таким чином, з огляду на досвід проектування і експлуатації бурових платформ на шельфі Азовського моря, необхідно враховувати чинні льодові навантаження, як основний фактор надійного функціонування, здешевлення будівництва бурової платформи, а, отже, і здешевлення сировини, що видобувається. Зокрема, при цілорічному видобутку вуглеводневої сировини, конструкція бурових платформ повинна бути виконана з урахуванням льодових навантажень, що діють в зимовий період. На даний час розрахунок при проектуванні конструкцій ведеться з використанням максимальних значень льодового навантаження, отриманих за допомогою спостережень в більш ранній час. Це не дає реальну картину діючих навантажень, так як за останнє десятиліття спостерігається потепління і переважання теплих і помірних зим на території Азовського моря. Усі перераховані недоліки при оцінці і розрахунках говорять про те, що необхідно:

- 1) Вміти прогнозувати товщину льодових утворень, як об'єкта силового впливу на конструкцію.
- 2) Правильно конвертувати характеристики льодових утворень в величини силового впливу на конструкцію.
- 3) Розрахувати і обґрунтувати, як уточненні навантаження від зовнішньої дії впливають на можливі конструктивні рішення.
- 4) Оцінювати вплив вищеописаних факторів на загальноекономічний баланс, витрати при будівництві та експлуатації, а також прибуток від отриманої сировини.

Висновки за розділом 1

На підставі викладеного матеріалу отримані наступні висновки:

- видобуток вуглеводневої сировини на шельфі Азово-Чорноморського басейну є важливою складовою економічного розвитку і енергонезалежності України, в зв'язку, з чим існує значна потреба в проектуванні і конструюванні сучасних бурових платформ для цілорічного видобутку сировини;
- до теперішнього часу мало вивчена проблема функціонування і проектування бурових платформ з урахуванням особливостей льодової обстановки, а так само моніторингу та обліку фізичних властивостей льоду Азово-Чорноморського басейну;
- при проектуванні, як правило, використовуються льодові навантаження, отримані розрахунковими способами і перевищують реальні значення, що призводить до спотворення показників ефективності бурової платформи і економічних показників ще на початкових стадіях проектування;
- відсутність застосування супутникового моніторингу та обліку максимальних значень фізичних показників льоду при розрахунках навантаження на конструкції бурових платформ на початкових стадіях проектування;
- відсутність рекомендацій при проектуванні бурових платформ, які враховують специфіку Азово-Чорноморського басейну в зимовий період;
- на сьогоднішній день не створено програмний комплекс, що дозволяє враховувати реальні багаторічні статистичні дані для визначення льодових навантажень на бурові платформи.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, розробка методики визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейну, є актуальним напрямком дослідження. Ця

методика включає формулювання і розв'язання задачі з урахуванням впливу багатofакторності фізичних властивостей льоду на оцінку льодового навантаження, що дозволить, створивши нейромережеву модель прогнозування та оцінки реальних льодових навантажень, виробити рекомендації при проектуванні бурових платформ на шельфі Азово-Чорноморського басейну.

Прикладним результатом виконання дисертаційної роботи має стати розробка рекомендацій при проектуванні бурових платформ на початкових стадіях, а також розробка програмного комплексу реалізації методики з подальшим їх використанням в навчальному процесі вищих навчальних закладів суднобудівного профілю, конструкторських бюро, суднобудівних заводів і проектних організацій. Матеріали розділу опубліковані в [15, 17].

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ТОВЩИНИ МОРСЬКОГО ЛЬОДУ, ЯК ВАЖЛИВОГО ЧИННИКА ВЕЛИЧИНИ ЛЬОДОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Метою цього розділу є короткий розгляд нейронних мереж, як засобу прогнозу товщини льоду в районах Азово-Чорноморського басейну. Застосування нейронних мереж до прогнозу товщини льоду полягає в розробці методів, що дозволяють визначити величину льодових навантажень на бурові платформи.

2.1 Загальні поняття нейронної мережі

Штучні нейронні мережі або просто нейронні мережі часто розглядаються як мережі дублюючі обробку інформації нервової системи. Ранні роботи в зазначеній галузі були засновані на біологічних дослідженнях функцій мозку. У роботах [61, 62, 63] описані системи нейронів і правила навчання, заснованих на біологічних моделях. Сьогодні більшість нейронних мереж несуть тільки швидкоплинну схожість з природою мозкової або нервової систем. Схожість між сучасною нейронною мережею і головним мозком тварини лежить в ідеї виконання обчислень за допомогою паралельної взаємодії дуже великої кількості простих об'єктів.

Нейронні мережі використовуються в задачах розпізнавання образів, класифікації або апроксимації функцій [64, 65, 66, 67, 68, 69]. Як правило, мережі буде запропоновано класифікувати вхідний шаблон, як той, що належить до одного з декількох різних можливих класів, або для отримання вихідного значення невідомої функції для одного або декількох вхідних значень. Принциповою особливістю нейронних мереж є їх здатність будувати зв'язок між входом і виходом мережі без чітко вираженого пояснення правила. Замість цього, вони регулюють їх внутрішні з'єднання,

ґрунтуючись на ряді прикладів необхідного відображення, і потім використовують їх для узагальнення.

Існують різні типи нейронних мереж [70], кожна з яких має свої переваги і недоліки, залежно від задачі, що розглядається. Так, для задач класифікації і ряду інших додатків застосовується мережа прямого поширення, яка містить або одношаровий перцептрон, або багатшаровий перцептрон. Мережі прямого поширення характеризуються тим, що інформація, яка надходить на вхід, прямує строго вперед і прямує на вихід без зворотного зв'язку, тобто графи в зазначених мережах не мають петель. Мережі прямого поширення є статичними в тому сенсі, що на заданий вхід вони виробляють одну сукупність вихідних значень, що не залежать від попереднього стану мережі.

Переваги використання нейронних мереж.

Особливостями роботи нейронних мереж є, по-перше, розпаралелювання обробки інформації і, по-друге, здатність до самонавчання, тобто створювати узагальнення (здатність отримувати обґрунтований результат на підставі даних, які не зустрічалися в процесі навчання) [71]. Ці властивості дозволяють нейронним мережам вирішувати складні (масштабні) завдання, які на сьогоднішній день вважаються важковирішуваними.

Використання нейронних мереж забезпечує наступні корисні властивості систем.

1. *Нелінійність.* Нелінійність *розподілена* по мережі, є надзвичайно важливою властивістю, особливо якщо сам фізичний механізм, який відповідає за формування вхідного сигналу, теж є нелінійним.

2. *Відображення* вхідної інформації у вихідну. Однією з популярних парадигм навчання є *навчання з учителем*. Це передбачає зміну синаптичних ваг на основі набору маркованих *учбових прикладів*. Кожен приклад складається з вхідного сигналу і відповідного йому *бажаного відгуку*. На цьому безлічі випадковим чином вибирається приклад, а

нейронна мережа модифікує синаптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формованого мережею відповідно до обраного статистичного критерію. При цьому власне модифікуються *вільні параметри* мережі. Це навчання проводиться до тих пір, поки зміни синаптичних ваг не стануть незначними. Таким чином, нейронна мережа навчається на прикладах, складаючи таблицю відповідностей вхід-вихід для конкретного завдання.

3. *Адаптивність.* Нейронні мережі мають здатність адаптувати свої синаптичні ваги до змін навколишнього середовища. Зокрема, нейронні мережі, навчені діяти в певному середовищі, можна легко перевчити для роботи в умовах незначних коливань параметрів середовища. Відомо, що чим вище адаптивні здібності системи, тим більш стійкою буде її робота в нестационарному середовищі. Для того щоб використовувати всі переваги адаптивності, основні параметри системи повинні бути досить стабільними, щоб можна було не враховувати зовнішні перешкоди, і досить гнучкими, щоб забезпечити реакцію на істотні зміни середовища.

4. *Очевидність відповіді.* У контексті завдання класифікації образу можна розробити нейронну мережу, що збирає інформацію не тільки для визначення конкретного класу, а й для збільшення вірогідності прийнятого рішення. Згодом ця інформація може використовуватися для виключення сумнівних рішень, що підвищить продуктивність нейронної мережі.

5. *Контекстна інформація.* Знання подаються у самій структурі нейронної мережі за допомогою її стану активації. Кожен нейрон мережі потенційно може бути схильний до впливу всіх інших її нейронів. Як наслідок, існування нейронної мережі безпосередньо пов'язано з контекстною інформацією.

6. *Відмовостійкість.* Це означає, що при несприятливих умовах їх продуктивність падає незначно. Незначне пошкодження структури ніколи не викликає катастрофічних наслідків. Це — очевидна перевага робастних обчислень, однак її часто не враховують. Щоб гарантувати відмовостійкість

роботи нейронної мережі, в алгоритми навчання потрібно закладати відповідні поправки.

7. *Масштабованість.* Паралельна структура нейронних мереж потенційно прискорює рішення деяких завдань і забезпечує масштабованість нейронних мереж в рамках технології VLSI (Very-large-scale integration). Одним з переваг технологій VLSI є можливість представити досить складну поведінку за допомогою ієрархічної структури.

8. *Однаковість аналізу і проектування.* Нейронні мережі є універсальним механізмом обробки інформації. Це означає, що одне і те ж проектне рішення нейронної мережі може використовуватися в багатьох предметних областях. Це властивість проявляється декількома способами.

- Нейрони в тій чи іншій формі є стандартними складовими частинами будь-якої нейронної мережі.
- Ця спільність дозволяє використовувати одні і ті ж теорії та алгоритми навчання в різних нейромережевих додатках.
- Модульні мережі можуть бути побудовані на основі інтеграції цілих модулів.

2.2 Розробка узагальненого алгоритму визначення льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду

Як інструмент для прогнозування товщини льодових полів в даній роботі використовуються нейронні мережі: однопараметричні і багатofакторні. Використання цих мереж, як говорилося вище, дозволить оперативно і точно оцінювати товщини льодових утворень, що в свою чергу дозволить визначати величину льодового навантаження на океантоехнічне споруду. Перевагою застосування нейромережевих 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.

2.2.1 Алгоритм і послідовність дій при визначенні льодових навантажень із застосуванням нейромережевих технологій

У загальному вигляді алгоритм визначення величини льодових навантажень з урахуванням прогнозованої товщини льоду виглядає наступним чином:

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 (однопараметрична 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.

Розглянемо докладніше послідовність дій при прогнозуванні льодових утворень.

Для попередньої оцінки льодового навантаження можна використовувати однопараметричну нейронну мережу, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщини льоду, зібраних за деякий період. Для більш точного прогнозу і мінімізації помилки слід підібрати статистику з найбільшим числом даних.

Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи пропонується багатофакторна нейронна мережа, в якій в якості вхідних даних крім товщини льоду так само вносяться дані про

температуру повітря, швидкості вітру, рівень моря і тип погодних умов, згідно з метеорологічним кодуванням.

Відповідно до рекомендацій, викладених в [72, 73, 74, 18], перед початком навчання мережі необхідно виконати попередню обробку даних, так званий підготовчий етап, який зводиться до масштабування або нормування вихідних даних. Для цієї мети можуть бути використані наступні функції (2.1), (2.2).

$$a_i' = \frac{a_i - M_a}{\sqrt{D_a}}, \quad (2.1)$$

$$\text{де } M_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad D_a = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - M_a)^2.$$

або співвідношення

$$a_i' = \frac{a_i - a_{i,\min}}{a_{i,\max} - a_{i,\min}}, \quad (2.2)$$

де $a_{i,\min}$ і $a_{i,\max}$ — відповідно мінімальне і максимальне значення параметра на всьому діапазоні можливих значень в рамках наявної вибірки.

Використання співвідношення (2.2) дозволяє виконати нормування параметра в діапазоні значень $[0...1]$. Таке нормування забезпечить кращу якість навчання і підвищить швидкість навчання нейронної мережі.

На наступному етапі необхідно розрахувати параметри майбутньої нейронної мережі. Число входів мережі (визначається числом факторів, які були обрані з набору статистичних даних) N_x ;

1) число виходів мережі (відповідно до структури мережі є тільки один вихід — оцінка значення товщини льоду) N_y ;

2) число навчальних вибірок (визначається як 75-80% від загального числа статистичних даних) Q .

Далі, на основі прийнятих значень параметрів мережі обчислюється необхідне число синаптичних ваг N_w за допомогою нерівності (2.3):

$$\frac{N_y Q}{1 + \log_2(Q)} \leq N_w \leq N_y \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y. \quad (2.3)$$

Після цього стає можливим обчислення необхідного числа нейронів прихованого шару за формулою (2.4)

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (2.4)$$

Також число нейронів прихованого шару можна визначити за допомогою нерівності (2.5) [17]

$$\frac{Q}{10} - N_x - N_y \leq N \leq \frac{Q}{2} - N_x - N_y. \quad (2.5)$$

Алгоритм послідовностей виконання дій при прогнозуванні товщини льодових утворень представлений на рисунку 2.1. у вигляді блок-схеми.



Рисунок 2.1 — Блок-схема алгоритму виконання прогнозу товщини льоду

¹Вхідні дані:

- Для однопараметричної нейронної мережі:
 - товщина льоду;
 - дата виміру товщини льоду
- Для багатопараметричної нейронної мережі:
 - дата проведення замірів;
 - швидкість вітру;
 - температура повітря;
 - зміна рівня води;
 - товщина льоду.

²Визначення кількості входів в нейронну мережу (відповідає кількості параметрів в мережі), визначення кількості виходів, кількості проміжних шарів, точності, кількості спроб навчання, точність похибки.

³Для багатопараметричної нейронної мережі введення вхідних даних без товщини льоду.

2.2.2 Опис пропонованих нейронних мереж для прогнозу товщини льоду і верифікація отриманих значень

2.2.2.1 Однопараметрична нейронна мережа

Розглянемо нейронну мережу прямого поширення для реалізації алгоритму градієнтного походження, що дозволяє прогнозувати товщину морського льоду в Азовському морі, аналізуючи характеристику, що змінюється в часі і розрахунок оцінки навантаження.

У даній роботі розроблена модель нейронної мережі, в якій є три шари, в тому числі вхідний шар, прихований шар, і вихідний шар. 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 (2.6).

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.6)$$

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 помилка нейронної мережі (2.7)

$$E_{avg} = \frac{1}{2Q} \sum_{p=1}^Q \sum_{k=1}^l (y_{t_k} - y_k)^2, \quad (2.7)$$

де E_{avg} є спільною середньою помилкою з Q груп зразків навчання, і очікуваний вихід y_{t_k} і y_k реальний вихід нейронної мережі відповідно.

Функція відповідності алгоритму полягає в наступному:

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

де F_v є відповідністю v -го значення у вибірці, і E_{avg}^v середня похибка v -го значення ($1 \leq v \leq N$). Відповідність між процесом відбору, можливістю вибору p_s обчислюється з використанням (2.8), і процес відбору буде завершено.

$$p_s(U^i) = \alpha p_f(U^i) + (1 - \alpha) p_d(U^i) = \alpha \frac{f(U^i)}{\sum_{i=1}^M f(U^i)} + (1 - \alpha) \frac{1}{N} e^{C_i/\beta}. \quad (2.8)$$

Адаптивна ймовірність перетину і ймовірність зміни розраховуються з використанням (2.9) і (2.10) відповідно, процеси перетину і зміни будуть завершені, і генеруються значення нового покоління.

$$p_c = \begin{cases} k_1 \frac{f_{\max} - f_m}{f_{\max} - f_{avg}}, f_m \geq f_{avg} \\ k_2, f_m < f_{avg} \end{cases}; \quad (2.9)$$

$$p_c = \begin{cases} k_3 \frac{f_{\max} - f_l}{f_{\max} - f_{avg}}, f_l \geq f_{avg} \\ k_4, f_l < f_{avg} \end{cases}. \quad (2.10)$$

Розрахунок відбувається до тих пір, поки середня помилка 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 (2.11), поки середня помилка E_{avg} оптимального значення не задовольняє $E_{avg} < \varepsilon_2$, де ε_2 є остаточною точністю.

$$\Delta W = \eta \frac{\partial E_{avg}}{\partial W}, \quad (2.11)$$

де ΔW є коригування ваги, η є швидкість навчання і розраховується з використанням (2.12):

$$\eta(k+1) = \begin{cases} 1.05\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) < E_{avg}(k) \\ 0.7\eta(k), \text{ якщо } E_{avg}(k+1) > 1.04E_{avg}(k) \\ \eta(k), \text{ інакше.} \end{cases} \quad (2.12)$$

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

Застосування розробленої моделі нейронної мережі для прогнозування товщини льоду в Азово-Чорноморському басейні.

Реальна товщина льоду може бути отримана за даними режимних спостережень. Нормативні дані регіонів, отримані емпіричним шляхом, призначені, для того щоб дати зацікавленим сторонам загальне уявлення про регіон. Вони не спрямовані на надання значень параметрів, придатних для використання при проектуванні морських споруд. Описані параметри повинні враховуватися при проектуванні, однак деякі з них можуть виявитися несуттєвими при проектуванні окремих видів споруд. Повний опис відповідних параметрів може зажадати перевірки та аналізу всіх наявних даних, збору нових даних, інтерпретації параметрів, що характеризують сусідні регіони або схожі льодові режими, а також статистичної оцінки даних при визначенні параметрів фізичного середовища. Для визначення параметрів природного середовища, необхідних для проектування морських споруд, слід залучати фахівців відповідного профілю. Для попередніх розрахунків використовується також різні емпіричні методи.

Відповідно до статистичних значень товщини льоду в Азовському морі з 2007 по 2017 років, отримані за допомогою супутникових даних (таблиця 2.1), максимальна товщина льоду прогнозується завдяки моделі нейронної мережі, і прогнозує результати відповідні реальним значенням.

Значення навчальної вибірки нормовані на підвищення ефективності нейронної мережі з використанням (2.13):

$$\xi' = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}}, \quad (2.13)$$

де ξ — необроблені дані зразка, $\xi_{\min}$ і $\xi_{\max}$ — максимальні і мінімальні початкові дані зразка відповідно і ξ' — нормовані дані між 0 і 1.

Таблиця 2.1 – Товщина льоду для Азовського моря за період з 2007 року по 2017 рік.

Дата	Максимальна товщина льоду, см	Дата	Максимальна товщина льоду, см
18.12.2007	5	10.04.2012	5
15.01.2008	30	25.12.2012	15
12.02.2008	70	22.01.2013	30
11.03.2008	30	05.02.2013	30
30.12.2008	15	28.01.2014	5
13.01.2009	70	04.02.2014	15
03.02.2009	30	17.02.2014	30
29.12.2009	5	05.12.2014	5
19.01.2010	15	02.01.2015	5
09.02.2010	15	20.01.2015	10
25.01.2011	15	12.01.2016	10
15.02.2011	15	27.12.2016	10
29.11.2011	5	23.01.2017	10
06.12.2011	5	30.01.2017	15
31.01.2012	15	07.02.2017	15
13.02.2012	30	13.02.2017	30
19.03.2012	30		

За формулою (2.13) були розраховані значення для навчання моделі нейронної мережі, представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані для навчання моделі нейронної мережі

Серійний номер	Вхідні дані	Вихідні дані
1	0; 0,3846; 1,0000; 0,3846	0,1538
2	0,3846; 1,0000; 0,3846; 0,1538	1,0000
3	1,0000; 0,3846; 0,1538; 1,0000	0,3846
4	0,3846; 0,1538; 1,0000; 0,3846	0
5	0,1538; 1,0000; 0,3846; 0	0,1538
6	1,0000; 0,3846; 0; 0,1538	0,1538
7	0,3846; 0; 0,1538; 0,1538	0,1538
8	0; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0,1538
9	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0
10	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0	0
11	0,1538; 0,1538; 0; 0	0,1538
12	0,1538; 0; 0; 0,1538	0,3846
13	0; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846
14	0; 0,1538; 0,3846; 0,3846	0
15	0,1538; 0,3846; 0,3846; 0	0,1538
16	0,3846; 0,3846; 0; 0,1538	0,3846
17	0,3846; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846
18	0; 0,1538; 0,3846; 0,3846	0
19	0,1538; 0,3846; 0,3846; 0	0,1538
20	0,3846; 0,3846; 0; 0,1538	0,3846
21	0,3846; 0; 0,1538; 0,3846	0
22	0; 0,1538; 0,3846; 0	0
23	0,1538; 0,3846; 0; 0	0,0769
24	0,3846; 0; 0; 0,0769	0,0769

Для навчання нейронної мережі були обрані товщини льоду в період з 18.12.2007 року по 17.02.2014 рік. Нормовані навчальні дані в таблиці 2.2 вводяться в моделі нейронної мережі. Нейрони вхідного рівня, прихованого рівня і вихідного рівня встановлюються як 4 ($n = 4$), 10 ($m = 10$) і ($l = 1$) [65]. Змінюючи глобальну точність пошуку ε_1 і кінцеву точність ε_2 та максимальну кількість ітерацій, було проведено навчання моделі нейронної мережі. На рисунках 2.2 – 2.5 представлено результати навчання: зелена крива показує реальні значення, а синя крива — значення, отримані за допомогою моделі нейронної мережі

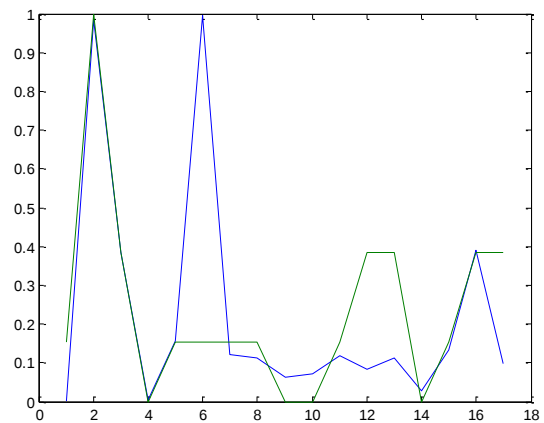
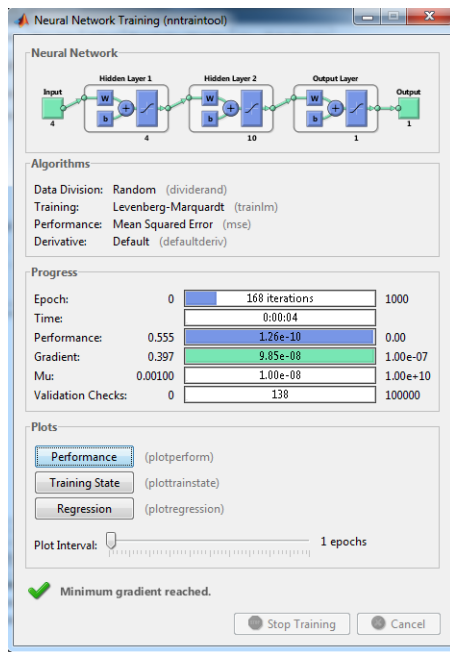


Рисунок 2.2 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-7}$, $\varepsilon_2 = 10^{10}$, максимальна кількість ітерацій 1000, кількість перевірок достовірності 10^5 , процес навчання задоволений 168 раз.

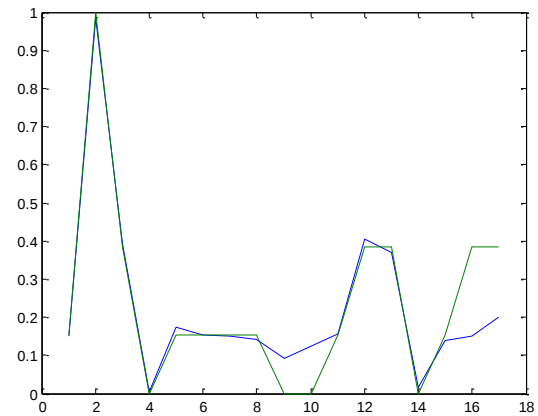
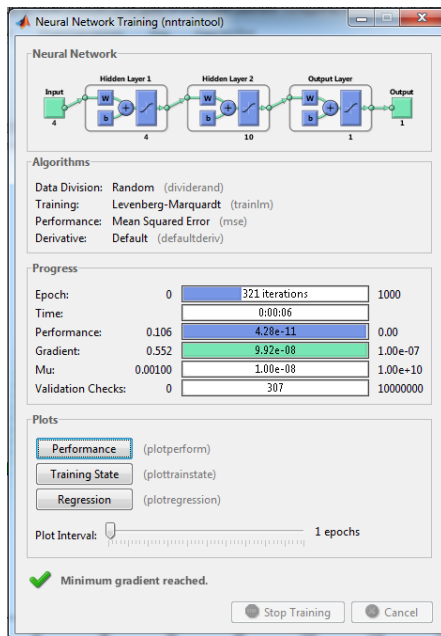


Рисунок 2.3 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-7}$, $\varepsilon_2 = 10^{10}$, максимальна кількість ітерацій 1000, кількість перевірок достовірності 10^7 , процес навчання задоволений 307 раз.

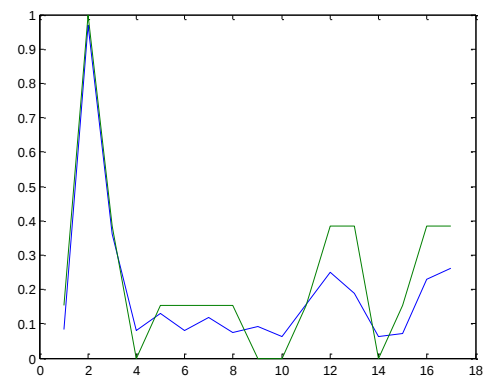
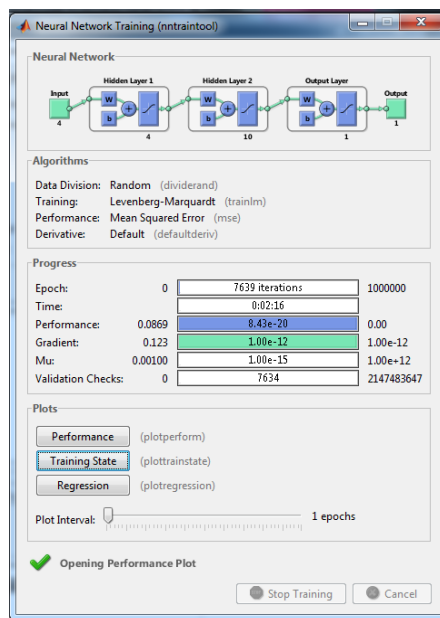


Рисунок 2.4 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-12}$, $\varepsilon_2 = 10^{12}$, максимальна кількість ітерацій 106, кількість перевірок достовірності 10^{12} , процес навчання задоволений 7634 рази.

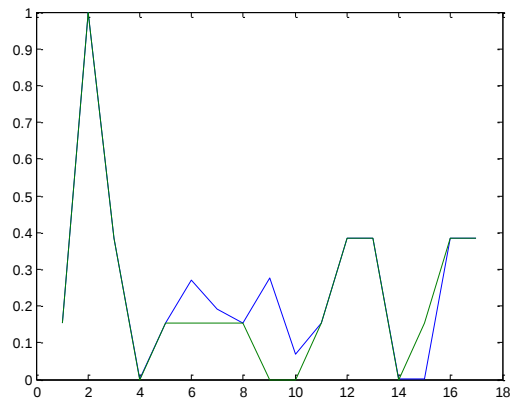
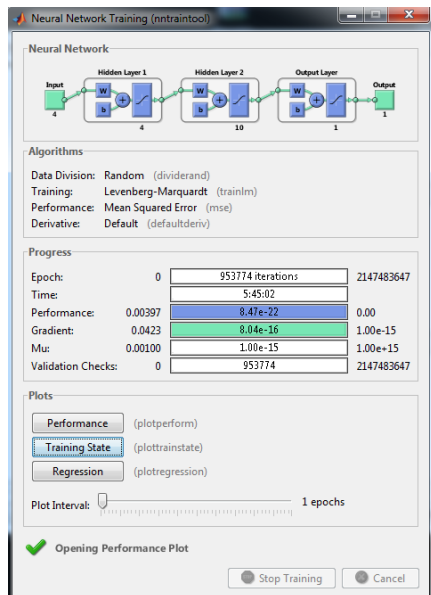


Рисунок 2.5 — Модель нейронної мережі $\varepsilon_1 = 10^{-15}$, $\varepsilon_2 = 10^{15}$, максимальна кількість ітерацій 1016, кількість перевірок достовірності 10^{15} , процес навчання задоволений 953774 рази.

З рисунку 2.1 видно, що кількість ітерацій, виконаних в процесі навчання мала, тому що відбувається стрибок кривої в діапазоні значень, які не відповідають реальним даним. Це пов'язано з кількістю ітерацій і кількістю нейронів на кожному з рівнів. На рисунках 2.2 – 2.5 зі збільшенням кількості ітерацій при навчанні спостерігається збіг кривої прогнозованих значень і кривої навчальних значень. Таким чином, в подальшому потрібно провести оптимізацію моделі, вибрати оптимальну кількість нейронів на кожному шарі і ітерацій для точного прогнозування товщини льоду.

У таблиці 2.3 представлено максимальні значення товщини льоду в Азовському морі, які отримані за допомогою розробленої модель нейронної мережі з максимальним числом ітерацій 10^{16} , кількістю перевірок достовірності 10^{15} , процесом навчання, задоволеним 953774 рази.

Таблиця 2.3 – Максимальні значення товщини льоду в Азовському морі, які спрогнозовані 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.

2.2.2.2 Багатофакторний підхід для розрахунку льодових навантажень за допомогою нейронної мережі

У розділі 2.2.2.1 показана можливість використання гібридної нейронної мережі для отримання прогнозу товщини льоду відповідно до наявної багаторічної статистики товщини льоду в Азово-Чорноморському басейні. При цьому в якості навчальної послідовності для нейронної мережі використовувався набір даних, що містить відомості лише про один параметр — товщину льоду, тобто фактично при побудові мережі використовувався

однофакторний підхід. Побудована нейронна мережа забезпечила точність прогнозу товщини льодового покриття на рівні 5 % щодо реальних значень.

У цьому розділі пропонується метод підвищення якості прогнозу товщини льоду, а також точності розрахунку льодових навантажень, за допомогою введення в навчальну вибірку додаткових параметрів — зовнішніх факторів навколишнього середовища, що впливають на формування льодового покриття [20, 21, 24].

За аналогією з концепцією розв’язання задачі прогнозування товщини льоду на базі використання нейронної мережі, запропонованої в роботі [18], перш за все, необхідно визначитися з оптимальною архітектурою мережі. Як вказувалося в розділі 2 цієї роботи, в задачах прогнозування часових рядів використовуються багатошарові, найчастіше тришарові, нейронні мережі прямого поширення [63, 70, 75]. Зовнішній вигляд такої мережі представлений на рисунку 2.6.

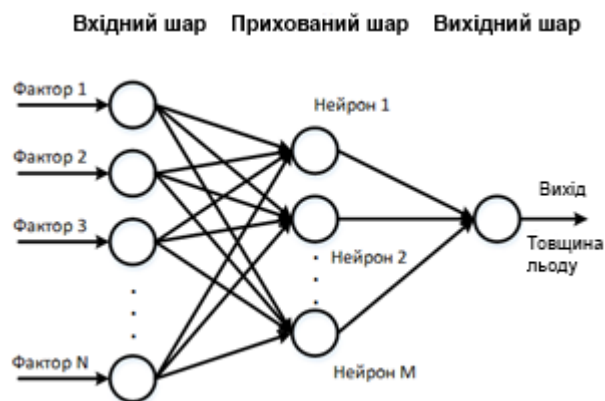


Рисунок 2.6 — Структура нейронної мережі для прогнозування товщини льодового покриття

В якості вхідних сигналів 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 в прихованому шарі, підлягає визначенню.

Математично постановка задачі може бути описана в наступному вигляді.

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 -м прецедент, n — кількість прецедентів. Потрібно побудувати нейронну мережу, що дозволяє отримати прогноз виду $\hat{y} = f(x)$. Для випадку багатofакторної залежності вхідні параметри можуть бути описані у вигляді матриці X , а необхідний прогноз у вигляді $\hat{Y} = f(X)$.

Статистичні дані про залежність товщини льодового покриття від зовнішніх чинників навколишнього середовища приведено в таблиці 2.4. Ці дані можуть бути використані для навчання нейронної мережі, а також для подальшої перевірки точності оцінок вихідного параметра, одержуваних за допомогою мережі.

Таблиця 2.4 — Статистичні дані для навчання і перевірки мережі.

№	Швидкість вітру, м / с	Температура повітря, °С	Погодні умови, кодування WMO4501	Рівень моря, см	Товщина льоду, см
0	1	2	3	4	5
1	0	-4	1	135	0,5
2	2	-4	0	110	4
3	0	-6	0	90	7
4	7	-4	0	50	10
5	6	-8	2	50	12
6	6	-3	2	60	13
7	3	-2	6	85	14

Продовження таблиці 2.4

8	2	-3	2	100	15
9	2	-7	2	130	16
10	0	-14	0	140	18
11	0	-13	0	140	17
12	3	-3	2	175	17
13	0	-13	0	175	18
14	0	-14	0	162	18
15	2	-11	0	155	19
16	2	-9	0	165	20
17	1	-14	0	146	21
18	5	-9	3	165	23
19	2	-12	1	175	23
20	7	-3	7	204	23
21	2	-13	0	145	23
22	5	-10	1	185	23
23	2	-2	2	162	25
24	2	-1	2	160	27
25	1	0	1	172	29
26	2	3	2	170	29
27	2	2	6	165	30
28	2	2	4	175	25
29	0	1	4	175	24
30	2	2	0	175	21
31	2	4	2	168	19
32	2	3	2	172	17
33	0	2	2	165	16
34	4	1	4	135	15
35	1	2	2	158	13

Продовження таблиці 2.4

36	4	-1	2	150	14
37	2	-2	2	165	14
38	0	-1	2	165	16
39	0	0	2	155	15
40	2	5	0	180	12
41	0	0	2	170	10
42	2	-6	7	110	3
43	2	0	2	160	4
44	3	-1	2	135	4

Розглянемо поетапно розв'язання задачі отримання оцінки товщини льодового покриття за допомогою нейронної мережі при багатофакторному підході.

У таблиці 2.4 такі параметри, як швидкість вітру, температура повітря, погодні умови, рівень води (чотири різних фактора, що описують стан навколишнього середовища) будуть використовуватися в якості значень елементів вхідного вектора x_i , що описує поточний i -й прецедент. Параметр товщини льоду буде використаний в якості значення залежної змінної y_i на i -м прецеденті.

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) $Q = 35$.

Для даної задачі з урахуванням прийнятих значень параметрів мережі нерівність (2.4) набуде вигляду

$$5,71 \leq N_w \leq 59,5$$

При цьому, з урахуванням (2.6) можна записати

$$1,14 \leq N \leq 11,9$$

Для тих же значень параметрів нерівність (2.5) буде мати вигляд

$$-1,5 \leq N \leq 12,5$$

Використовуючи останні два нерівності і враховуючи той факт, що кількість нейронів має бути числом натуральним, можна записати умову вибору кількості нейронів на прихованому шарі у вигляді (2.16)

$$2 \leq N \leq 11 \quad (2.16)$$

Остаточно приймемо число нейронів прихованого шару $N = 7$.

Описані дії з розрахунку кількості нейронів прихованого шару можуть бути автоматизовані за допомогою Matlab-функції.

Отримана за допомогою функції `calc_N` кількість нейронів прихованого рівня використовується як третій параметр стандартної Matlab-функції `newfit`, що використовується для створення та 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 вхідних вибірок; 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, які не використовувалися для навчання мережі; Y_0 — вектор оцінок незалежної змінної — товщини льоду.

Описаний підхід може бути представлений у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 — Етапи побудови нейронної мережі

Побудована нейронна мережа дозволила отримати наступні оцінки товщини льодового покриття (таблиця 2.5) з урахуванням багатофакторного підходу.

На підставі даних, наведених у таблиці 2.5, 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.

Таблиця 2.5 — Результати моделювання нейронної мережі

№	Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °С	Погодні умови, кодування WMO4501	Рівень моря, см	товщина льоду, см	Прогнозована товщина льоду розробленої нейронної мережі, см	Відносна похибка, %
1	4	-1	2	150	14	14,2	1,41
2	2	-2	2	165	14	14,1	0,71
3	0	-1	2	165	16	16,15	0,93
4	0	0	2	155	15	14,82	1,21
5	2	5	0	180	12	11,95	0,42
6	0	0	2	170	10	10,12	1,19
7	2	-6	7	110	3	3,01	0,33
8	2	0	2	160	4	3,99	0,25
9	3	-1	2	135	4	4,04	0,99

Висновки за розділом 2

1. Розглянуто однофакторну і багатофакторну методики прогнозування товщини льодових полів з використанням нейронних мереж. Їх застосування дозволяє оперативно і з високою точністю отримувати значення товщини льодових полів, як одного з основних джерел навантажень на бурові платформи.

2. Для попередньої оцінки льодового навантаження запропоновано використовувати однопараметричну нейронну мережу, яка прогнозує товщину льоду за статистичними даними товщини льоду, зібраних за деякий період.

3. Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи пропонується багатофакторна нейронна мережа, в якій в якості вхідних даних крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкості вітру, рівень моря і тип погодних умов, згідно з метеорологічним кодуванням.

4. 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.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЛЬДОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ, З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗОВАНОЇ ТОВЩИНИ ЛЬОДУ

Як вказувалося в розділі 1 цієї роботи, процеси динамічної і статичної взаємодії льоду з різними технічними об'єктами виникають при вирішенні багатьох практичних задач: при визначенні льодових навантажень на похилі гідротехнічні споруди і споруди шельфу, при визначенні несучої здатності крижаного покриття для руху транспорту, при визначенні опору льоду руху суден і т. д. При цьому підвищення точності методик оцінювання льодових навантажень є актуальним науково-технічним завданням.

У розділі 2 цієї роботи показана можливість використання гібридної нейронної мережі для отримання прогнозу товщини льоду відповідно до наявної багаторічної статистики товщини льоду в Азово-Чорноморському басейні.

У цьому розділі пропонується застосування методів розрахунку льодового навантаження на платформи з застосуванням розробленої методики прогнозування товщини льоду. В Азово-Чорноморському басейні існують кілька видів льоду, які діють на платформи [76, 77, 78, 79, 80, 81, 82].

- Рівний лід
- Битий лід
- Стамухи
- Тороси
- Льодові поля

Згідно ISO-19906 [35] при розробці платформ повинні бути розглянуті наступні умови для однорічного льоду для Азово-Чорноморського басейну:

1. Квазі-статичний вплив через рівень льоду, при цьому інерційними ефектами можна знехтувати.
2. Динамічний вплив рівного льоду, де інерційні ефекти є важливими і необхідний динамічний аналіз.

3. Квазі-статичний вплив уламків льоду, при цьому інерційними ефектами можна знехтувати. Варіанти взаємодії уламків льоду з платформою представлені на рисунках 3.1 –3.4.

4. Дія крижаних островів.

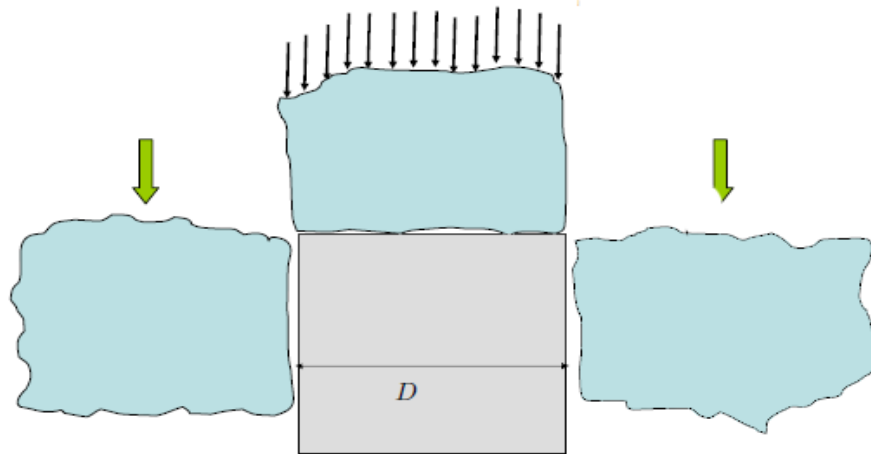


Рисунок 3.1 — Взаємодія великих шматків льоду з платформою

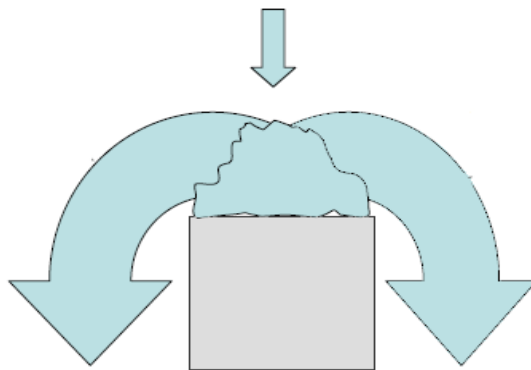


Рисунок 3.2 — Взаємодія дрібних шматків льоду з платформою

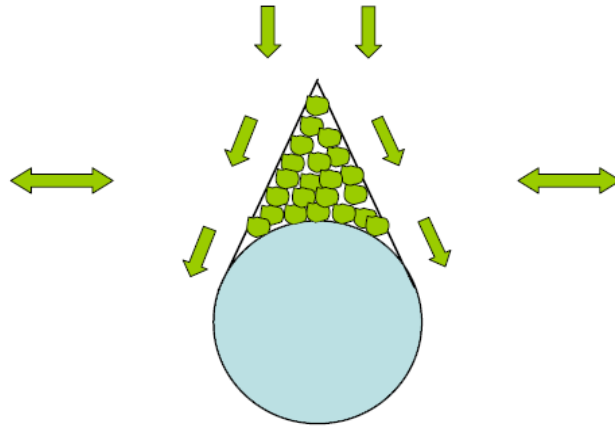


Рисунок 3.3 — Взаємодія дрібних шматків льоду з платформою в разі бокового тиску.

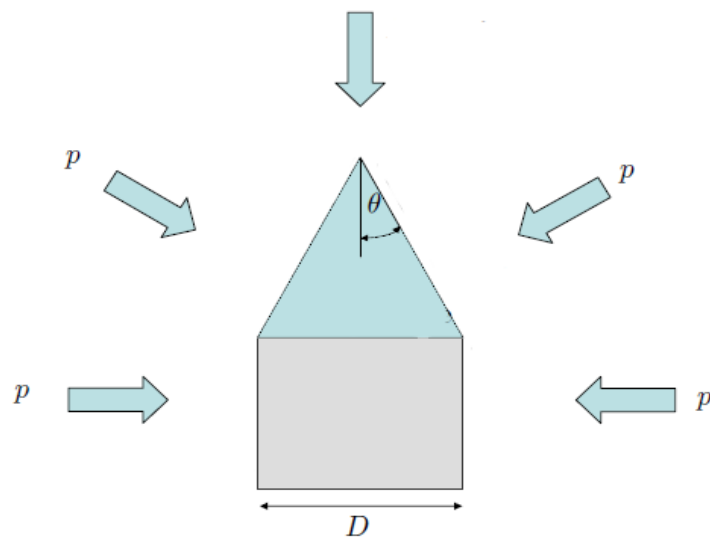


Рисунок 3.4 — Параметри льодового клину

Таким чином, на ранній стадії проектування потрібний множинний аналіз статичного навантаження в найбільш поширених льодових умовах для області, що цікавить.

Існує чотири різних режими взаємодії льодової структури згідно Løset та ін. [83, 84, 85]: граничне навантаження, максимальне напруження, граничний момент, і руйнування. Основним параметром є рівень льодових навантажень.

3.1 Сучасні методики визначення величини льодових навантажень на початкових стадіях проектування

Розглянемо методики розрахунку льодових навантажень на бурові платформи з похилими гранями згідно ISO 19906 [35], авторської методики Шхінека [86], Правил Регістру морського судноплавства [87], API RP 2N [86]. В основі цих методик лежать моделі і методи Croasdale і Ralston [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94]. Важливим параметром в наведених методиках є товщина льоду. При цьому необхідно враховувати, що товщина льоду є змінною випадковою величиною.

3.1.1 Методика розрахунку льодового навантаження згідно ISO19906

Модель, заснована на вигині пружної балки.

Відповідно до моделі, заснованої на вигині пружної балки, компонент утворення тріщин від вигинів може бути оцінений за допомогою розгляду льодового покриття як пружної балки на пружній основі. На додаток до моделі, описаної в роботах Croasdale [90, 95], можуть розглядатися тривимірні ефекти, а також наявність крижаних уламків на поверхні конструкції [96, 97].

Відповідно до цієї моделі [95] компонент горизонтального навантаження визначається як:

$$F_H = \frac{H_B + H_P + H_R + H_L + H_T}{1 - \frac{H_B}{\sigma_f l_c h}}, \quad (3.1)$$

де H_B — руйнівне навантаження;

H_P — компонент навантаження, необхідний, щоб проштовхнути льодовий протокол через крижані уламки;

H_R — навантаження, необхідне для проштовхування крижаних блоків вгору до укусу через крижані уламки;

H_L — навантаження, необхідне, щоб підняти льодовий валун наверх до льодового покриву, що наближається до того, як він зламається;

H_T — навантаження, необхідне, щоб посунути льодовий блок на вершину схилу.

$$H_B = 0.68\xi\sigma_f\left(\frac{\rho_wgh^5}{E}\right)^{0.25}\left(w + \frac{\pi L_c}{4}\right), \quad (3.2)$$

$$L_c = \left(\frac{Eh^3}{12\rho_wg(1-\nu^2)}\right)^{1/4}, \quad (3.3)$$

де $\xi = \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$ — параметр, що відноситься до горизонтального

та вертикального компонентів впливу льоду;

α — кут нахилу поверхні конструкції щодо горизонталі, рад;

μ — коефіцієнт кінетичного тертя між льодом і поверхнею конструкції;

E — модуль пружності, ГПа;

ν — коефіцієнт Пуассона;

ρ_w — щільність води, кг/м³;

σ_f — міцність льоду при вигині, кПа;

h — товщина льоду, м;

L_c — характерна довжина крижаного покриву, м;

w — ширина нахилу конструкції, м.

Компонент навантаження H_P виражений як:

$$H_P = wh_r^2\mu_i\rho_i g(1-e)\left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\alpha}\right)^2 \frac{1}{2\tan\theta}, \quad (3.4)$$

де h_r — висота нагромадження, м;

μ_i — коефіцієнт тертя льоду по льоду;

θ — кут, утворений нагромадженням щодо горизонталі, рад;

e — коефіцієнт пористості уламків льоду;

ρ_i — щільність льоду, кг/м³.

Компонент навантаження H_R :

$$H_R = wP \frac{1}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}, \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{де } P = & 0,5\mu_i(\mu_i + \mu)\rho_i g(1-e)h_r^2 \sin \alpha \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \\ & + 0,5(\mu_i + \mu)\rho_i g(1-e)h_r^2 \frac{\cos \alpha}{\tan \alpha} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + h_r h \rho_i g \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\mu \sin \alpha} - \text{опір} \end{aligned}$$

крижаного покритву;

Компонент навантаження H_L :

$$\begin{aligned} H_L = & 0,5wh_r^2 \rho_i g(1-e)\xi \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \\ & + 0,5wh_r^2 \rho_i g(1-e)\xi \tan \phi \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right)^2 + \xi cwh_r \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right), \end{aligned} \quad (3.6)$$

де c — зчеплення крижаних уламків;

ϕ — внутрішній кут тертя крижаних уламків, рад.

Останній компонент H_T визначається як:

$$H_T = 1,5wh^2 \rho_i g \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}. \quad (3.7)$$

Рівняння (3.1) було змінено в порівнянні з вихідним рівнянням, запропонованим Croasdale [95], щоб врахувати напруження стискання в льоді як результат застосовуваного горизонтального навантаження, що враховується в знаменнику рівняння (3.1). Це враховується з використанням розрахункового значення горизонтального навантаження, таким чином, щоб змінити межу міцності на вигин в такий спосіб

$$\sigma_f^{(1)} = \frac{F_H}{l_c h} + \sigma_f, \quad (3.8)$$

де l_c — загальна довжина тріщини по колу, м, $l_c = w + \frac{\pi^2}{4} L_c$.

Метод, заснований на теорії пластичності для конусів.

Метод, описаний нижче, заснований на аналізі граничного стану для рівних льодів при взаємодії з висхідними і спадними конусоподібними криголамними конструкціями [98]. Модель розглядає навантаження, зумовлені утворення тріщин від вигинів льодового покриття і наповзання через велику кількість уламків льоду. Відхилення для висхідного криголаманного конуса, також підходить для низхідного криголаманного конуса, якщо ρ_i замінити на $\rho_w - \rho_i$.

Беручи товщину одиночного льодового покриття при наповзанні, горизонтальне навантаження наповзання H_R і вертикальне навантаження наповзання V_R можуть бути отримані за такими виразами:

$$H_R = W \frac{\tan \alpha + \mu E_2 - \mu f g_r \cos \alpha}{1 - \mu g_r}, \quad (3.9)$$

$$V_R = W \cos \alpha \left(\frac{\pi}{2} \cos \alpha - \mu \alpha - f h_v \right) + H_R h_v, \quad (3.10)$$

де $f = \sin \alpha + \mu E_1 \cos \alpha$ — геометричний параметр конічних конструкцій;

$$g_r = \frac{\sin \alpha + \frac{\alpha}{\cos \alpha}}{\frac{\pi}{2} \sin^2 \alpha + 2\mu \alpha \cos \alpha} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$h_v = \frac{f \cos \alpha - \mu E_2}{\frac{\pi}{4} \sin^2 \alpha + \mu \alpha \cos \alpha} \quad \text{— геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$W = \rho_i g h_r \frac{w^2 - w_T^2}{4 \cos \alpha} \quad \text{— ваговий параметр уламків для конічної}$$

конструкції;

w_T — верхній діаметр конуса, ;

h_r — товщина наповзання льоду($h_r > h$),;

α — кут нахилу конструкції, виміряний від горизонталі, рад;

μ — коефіцієнт кінетичного тертя між льодом і поверхнею конструкції;

ρ_i — щільність льоду, кг/м³.

Ефект накопичення крижаних уламків на конусі може бути розглянутий за допомогою значення, яке перевищує товщину одиночного льодового покриття на товщину наповзання. Параметр E_1 і E_2 є повними еліптичними інтегралами першого і другого роду, визначені як:

$$E_1 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \eta)^{-1/2} d\eta, \quad (3.11)$$

$$E_2 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \eta)^{1/2} d\eta, \quad (3.12)$$

де η — середньорічна частота зустрічі.

Горизонтальне зламувальне навантаження H_B і вертикальне зламувальне навантаження V_B дані як:

$$H_B = \frac{\sigma_f h^2}{3} \frac{\tan \alpha}{1 - \mu g_r} \left(\frac{1 + Yx \ln x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right), \quad (3.13)$$

$$V_B = H_B h_v, \quad (3.14)$$

де $Y = 2,711$ для плинності Тріска, $Y = 3,422$ для плинності Йохансена;

$G = \frac{\rho_i g w^2}{4 \sigma_f h}$ — параметр в криголамній складовій впливів на конічні

конструкції;

$x = 1 + (3G + \frac{Y}{2})^{-1/2}$ — параметр в виразі льодових впливів на конічні

конструкції.

Глобальні навантаження на конструкцію визначаються за формулами (3.15) та (3.16).

$$F_H = H_B + H_R, \quad (3.15)$$

$$F_v = V_B + V_R. \quad (3.16)$$

3.1.2 Методика розрахунку льодового навантаження за авторською методикою К.Н. Шхінека

При взаємодії крижаного поля з платформами які мають похилі борта і зокрема, з платформами з конічними вставками, лід може ламатися від вигину або стиснення. Переваги цих споруд перед вертикальними реалізується в тих випадках, коли лід ламається від вигину. У деяких випадках, коли змерзання льоду з колонами, дуже великі швидкості руху

льоду, велике скупчення уламків льоду на поверхні платформи і т.д., переваги платформ з похилими бортами перед спорудами з вертикальними можуть бути незначні. Тому при розрахунку споруд з похилими бортами повинні бути розглянуті різні несприятливі, але можливі ситуації (вмерзання в лід, великі швидкості руху льоду).

Залежно від відношення D/l_c [99],

$$l_c = [Eh^3 / (12\gamma_w(1-\nu)^2 \cdot 10^{-3})]^{0.25}, \quad (3.17)$$

де E — модуль пружності, ГПа;

ν — коефіцієнт Пуассона;

γ_w — питома вага води, кг/м³;

h — товщина льоду, м.

Усі платформи з похилими бортами ділять на широкі (першого типу) і вузькі (другого типу). Платформи з $D/l_c \geq 2,0$ відносять до першого типу, а з $D/l_c \leq 1,0$ до другого. Навантаження при $1,5 < D/l_c < 2$ визначаються лінійною інтерполяцією між навантаженнями, відповідними вказаним граничним значенням.

Горизонтальна і вертикальна складові навантаження від рівного і нашарованого льоду на похилий борт платформи (колони) першого типу, що звужується вгору, або широку вертикальну платформу з конічними вставками, або багатокутну в плані споруду в квазістатичному наближенні визначають за формулами [100]:

$$F_{xc} = (A_1 R_f h_1^2 + A_2 \gamma_w h_1 D^2 \cdot 10^{-3} + A_3 \gamma_w \cdot 10^{-3} h_r (D^2 - D_b^2)) A_4, \quad (3.18)$$

$$F_{zc} = B_1 F_{xc} + B_2 \gamma_w h_r (D^2 - D_b^2) \cdot 10^{-3}, \quad (3.19)$$

де $h_r = 2h_1$;

R_f — залишкова міцність льоду, МПа;
 D_b — діаметр конуса на висоті $h_3 = \min(h_m, \Delta)$, м;
 Δ — верхня відмітка конічної частини платформи (колони), м;
 h_m — максимально можлива висота наповзання льоду на платформу, м,
 наближено рівна:

$$h_m = 3 + 4h. \quad (3.18)$$

При недостатній інформації щодо кута тертя уламків φ і пористості поля уламків p_r , допускається приймати $\varphi_1 = 25^\circ$, $p_r = 0,5$.

$A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2$ — коефіцієнти, які приймаються за даними рисунках 3.5 і 3.6.

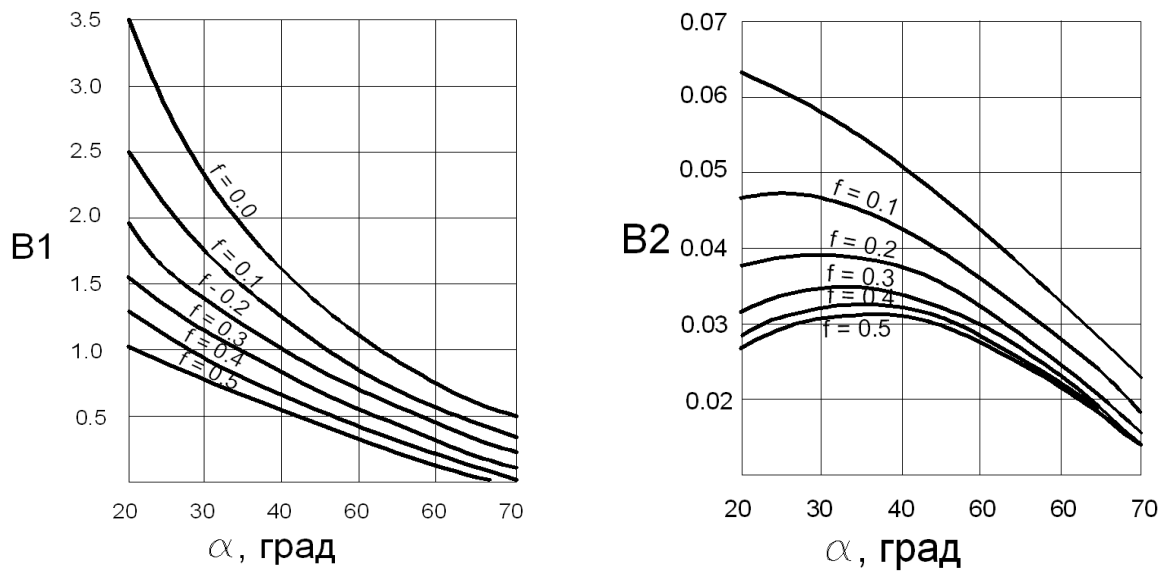


Рисунок 3.5 — Графіки для визначення коефіцієнтів B_1 і B_2

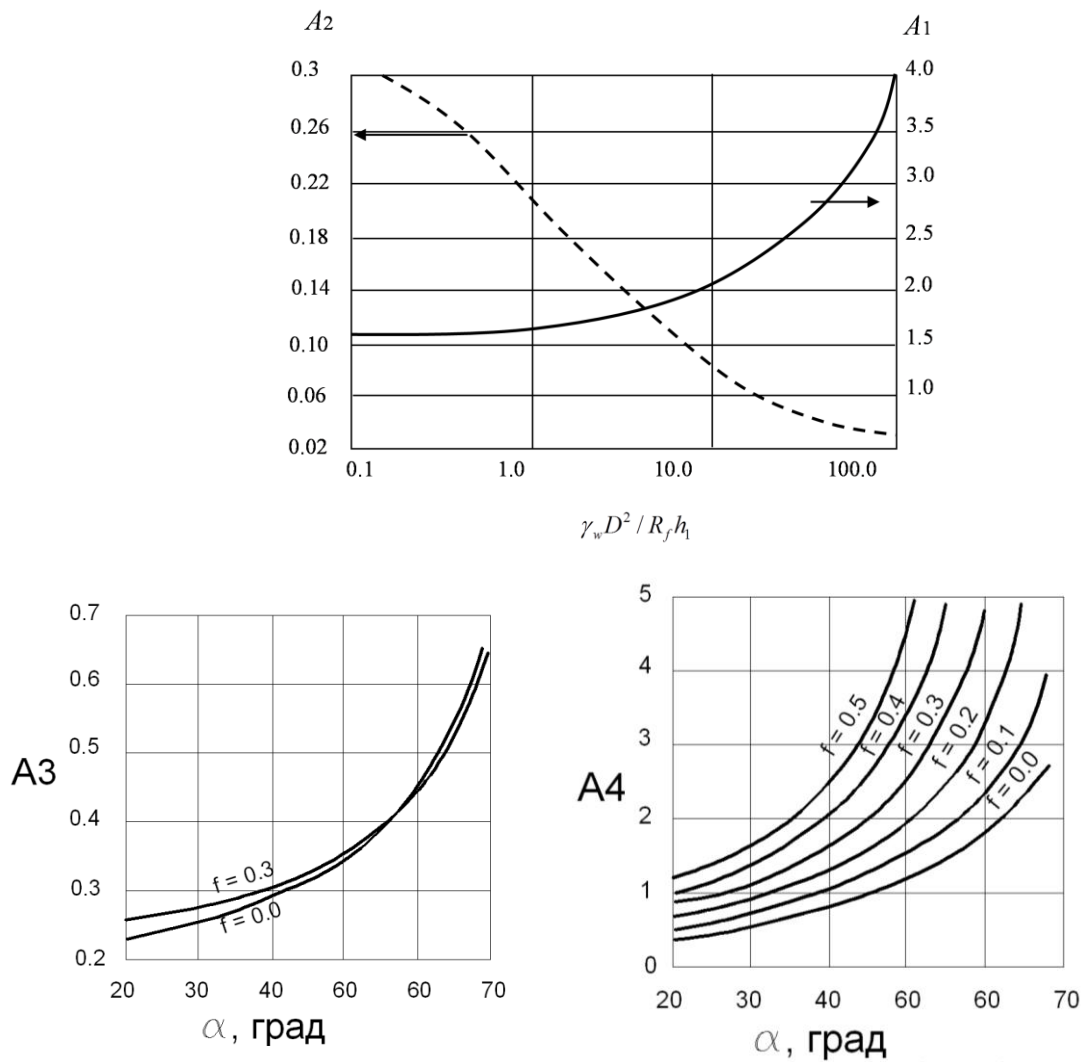


Рисунок 3.6 — Графіки для визначення коефіцієнтів A_1 , A_2 , A_3 і A_4

3.1.3 Методика розрахунку льодового навантаження згідно APIRP 2N

При складанні комп'ютерних програм з обчислення навантажень на платформу з похилими бортами, що звужуються догори, більш доцільним є використання результатів наближеного аналітичного розв'язання, викладеного в нормах APIRP 2N [86]:

Горизонтальну F_{HH} і вертикальну F_{HV} компоненти навантаження від битого льоду, що знаходиться на похилій поверхні, слід визначати за формулами:

$$F_{HH} = W \frac{tg\alpha + fE_2 - fc(\alpha)d(\alpha)\cos\alpha}{1 - fd(\alpha)}, \quad (3.19)$$

$$F_{HV} = W \cos\alpha \left(\frac{\pi}{2} \cos\alpha - f\alpha - C(\alpha)\varepsilon(\alpha) \right) + H_r \varepsilon(\alpha), \quad (3.20)$$

де функції $C(\alpha)$, $d(\alpha)$, $\varepsilon(\alpha)$, W рівні:

$C(a) = \sin\alpha + E_1 f \cos\alpha$ — геометричний параметр для конічних конструкцій;

$$d(\alpha) = \frac{\sin\alpha + \alpha/\cos\alpha}{2\left(\frac{\pi}{4}\sin^2\alpha + \mu\alpha\cos\alpha\right)} \text{ — геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$\varepsilon(\alpha) = \frac{C(\alpha)\cos\alpha - fE_2}{\frac{\pi}{4}\sin^2\alpha + f\alpha\cos\alpha} \text{ — геометричний параметр для конічних}$$

конструкцій;

$$W = \frac{\gamma_\delta h_1 (D^2 - D_1^2)}{\cos\alpha} \text{ — ваговий параметр уламків для конічної}$$

конструкції;

α — кут нахилу конструкції, виміряний від горизонталі, град;

h_1 — розрахункова товщина рівного або нашарованого льоду, м;

D_1 — діаметр платформи на верхньому рівні дії уламків льоду, м;

D — поперечний розмір в районі дії льоду, м;

γ_δ — питома вага льоду, кг/м³;

f — коефіцієнт тертя льоду по платформі.

E_1 і E_2 — еліптичні інтеграли першого і другого роду, визначаються

як:

$$E_1 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \theta)^{-1/2} d\theta, \quad (3.21)$$

$$E_2 = \int_0^{\pi/2} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \theta)^{1/2} d\theta, \quad (3.22)$$

де θ — кут внутрішнього тертя уламків льоду на і біля платформи, рад.

Навантаження від наповзання льоду (F_{gH} , F_{gV}) визначають за формулами:

$$F_{gH} = \frac{R_f h_1^3}{3} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - f d(\alpha)} \left[\frac{1 + 2.71 x \log x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right], \quad (3.23)$$

$$F_{gV} = \varepsilon(\alpha) F_{gH}, \quad (3.24)$$

де x — визначають за виразом:

$$x = 1 + (3G + 1.36)^{-1/2}; \quad (3.25)$$

$$G = \frac{\gamma_i D^2}{4R_f h_1}. \quad (3.26)$$

Сумарні горизонтальну і вертикальну складові навантаження визначають як:

$$F_H = F_{HH} + F_{gH}; \quad (3.27)$$

$$F_V = F_{HV} + F_{gV}.$$

Навантаження на конічний борт платформи (колони) першого типу, що розширюється догори, в квазістатичному наближенні визначають за формулами, замінюючи в них h_r на h_1 і γ_w на $((\gamma_w - \gamma_i) \cdot)$.

Період дії навантаження на платформу першого типу слід визначати за допомогою чисельного розв'язання. Наближено середній період визначають за формулою:

$$\tau = 5h_1 / V, \quad (3.28)$$

де V — швидкість дрейфу льоду, м/с.

3.1.4 Методика розрахунку льодового навантаження згідно з Правилами морського реєстра судноплавства Росії

Глобальна горизонтальна F_{xc} і вертикальна F_{zc} складові навантаження від рівного або нашарованого льоду на платформи з розширюваними вниз конічними бортами (колонами), або на вертикальні платформи з розширюваними вниз конічними вставками, або на багатокутні в плані споруди з аналогічними похилими бортами в квазістатичному наближенні визначають за формулами [87]:

$$F_{xc} = K_V [A_1 \sigma_f h^2 + A_2 \rho_w g h D^2 + A_3 \rho_w g p_1 h_r (D^2 - D_b^2)] A_4, \quad (3.29)$$

$$F_{zc} = K_V [B_1 F_{xc} + B_2 \rho_w g p_1 h_r (D^2 - D_b^2)], \quad (3.30)$$

де σ_f — міцність льоду на вигин, кПа;

ρ_w — щільність води, кг/м³;

D — діаметр конуса на рівні ватерлінії, м;

D_b — діаметр конуса на висоті $h_3 = \min(h_m, h_b)$, м;

h_b — верхня відмітка конічної частини платформи (колони), м, рисунок 3.7;

p_1 — пористість крижаних уламків на поверхні споруди (при відсутності даних можна приймати $p_1 = 0,6$;

K_V — коефіцієнт, що залежить від швидкості дрейфу криги, який вираховується по (3.31);

$A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2$ — коефіцієнти, значення яких наведені на рисунку 3.5 і 3.6;

h_m — максимально можлива висота наповзання льоду на платформу, м, наближено визначається за формулою (3.32).

$$K_V = \begin{cases} 1, & \text{если } V < 0,5 \text{ м/с;} \\ 1 + 0,7(V - 0,5), & \text{если } V \geq 0,5 \text{ м/с;} \end{cases} \quad (3.31)$$

$$h_m = \begin{cases} 3 + 4h, & \text{при } D/l_c \geq 2,0; \\ 5h \sin \alpha, & \text{при } D/l_c \leq 0,5; \\ 5h \sin \alpha + \frac{3 + h(4 - 5 \sin \alpha)}{1,5D} l_c \left(\frac{D}{l_c} - 0,5 \right), & \text{при } 0,5 < D/l_c < 2,0. \end{cases} \quad (3.32)$$

де α — кут нахилу борта до горизонту, рад;

параметр $l_c = [Eh^3 / (12\rho_w(1 - \nu))^2]^{0,25}$,

E — модуль пружності рівного або нашарованого льоду, МПа;

$\nu = 0,3$ — коефіцієнт Пуассона.

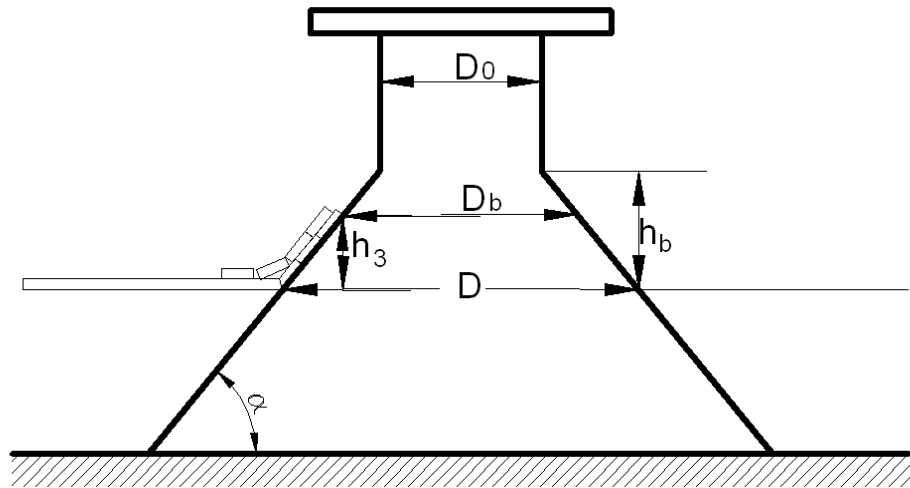


Рисунок 3.7 — Платформа з розширюваними вниз конічними бортами

Глобальна горизонтальна і вертикальна складові навантаження від рівного або нашарованого льоду на платформи з розширюються вгору похилими бортами визначаються за формулами (3.29), (3.30), при заміні в них ρ_w на $(\rho_w - \rho_i)$, приймаючи $h_r \cong h$ і визначаючи D_b на позначці, що відповідає низу похилої частини платформи (колони).

При зрушенні крижаного поля, яке змерзлося з платформою з похилими бортами або з платформою з конічними вставками, горизонтальна складова глобальної навантаження визначається за формулою:

$$F_{1f} = 1,6k_f\sigma_c D^{0,85} h^{0,9}, \quad (3.33)$$

де k_f — коефіцієнт, що залежить від кута нахилу борта, значення якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Значення коефіцієнта k_f в залежності від кута α нахилу утворюючого конуса або поверхні граней до горизонту

Кут нахилу твірної конуса до горизонту α°	45	60	75
k_f	0.6	0.7	0.9

Глобальне навантаження від торосів на платформи з похилими бортами визначається шляхом підсумовування навантаження від консолідованої частини тороса і кіля торосу. Глобальне навантаження від консолідованого шару тороса визначається за формулами (3.29, 3.30), в які замість параметрів рівного (нашарованого льоду) підставляються параметри консолідованої частини тороса. Глобальне навантаження від кіля торосу на платформи з похилими бортами визначається за формулами:

$$F_{xk} = F_k \sin^2 \alpha, \quad F_{zk} = F_k \cos^2 \alpha, \quad (3.34)$$

де F_k визначають за формулою

$$F_{xil} = mKA_1R_c, \quad (3.35)$$

де K — коефіцієнт, що враховує вид напруженого стану поля близько платформи

$$K = \begin{cases} 1 + 4/(1 + D/h_1), & \text{якщо } 3 < D^*/h_1 < 9; \\ 1,85 - 0,05 D/h_1, & \text{якщо } 9 < D^*/h_1 < 17; \\ 1, & \text{якщо } D^*/h_1 > 17. \end{cases}$$

* Примітка: в морях з яскраво вираженою зміною рівня води, діаметр (максимальний поперечний розмір) платформи слід приймати з урахуванням його збільшення за рахунок обмерзання кригою.

A_1 — реальна площа контакту, м^2 ;

m — коефіцієнт форми опори в плані в напрямку руху льоду.

Для споруд кругового поперечного перерізу $m = 1$. Для споруд багатокутного поперечного перерізу $m = 1$, якщо кут β між бісектрисою кута платформи, на який рухається лід, і напрямком руху льоду перевищує $\pm 15^\circ$. При куті $|\beta| < 15^\circ$ коефіцієнт m визначають за формулою:

$$m = m_1 + \frac{\beta}{15}(1 - m_1) \quad \text{при } 0 < |\beta| < 15^\circ, \quad (3.36)$$

$$m = 1 \quad \text{при } |\beta| > 15^\circ.$$

де m_1 — параметр, що визначається за таблицею 3.2 в залежності від значення кута загострення α_1 .

Таблиця 3.2 — Значення коефіцієнта m_1 в залежності від значення кута загострення α_1 .

α_1	75	90	120
m_1	0,52	0,6	0,71

Точка прикладання рівнодіючої горизонтального глобального навантаження від консолідованого шару тороса приймається такою, що знаходиться на глибині $0,3h_c$ від поверхні води. Положення рівнодіючої горизонтальної складової навантаження від кіля приймається рівною $1/3(h_k - h_c)$ нижче межі консолідованого шару.

Максимальна висота нагромадження крижаних уламків перед одноопорною платформою з вертикальними бортами приймається рівною 8 товщинам навколишнього рівного льоду.

3.2 Визначення льодових навантажень за пропонованим алгоритмом

3.2.3 Вхідні параметри для розрахунку льодових навантажень

У попередньому пункті розглянуті способи визначення льодових навантажень при різних сценаріях взаємодії льодових утворень з буровими платформами. Деякі вхідні параметри, необхідні для розрахунків, були визначені на основі довідкових і даних для проектування платформи [76]. У таблиці 3.3 представлені основні необхідні параметри, визначені користувачем, які є вихідними для запуску програми Matlab.

Величини позначені такими ж символами, як в програмі MATLAB.

Як приклад для розрахунків була обрана бурова платформа ЛСП-1 (рисунк 3.8), характеристики якої представлені в таблиці 3.3 [101].

Таблиця 3.3 — Дані для розрахунку льодових навантажень.

Параметри	Значення
Гравітаційна стала g , м/с ²	9,81
Щільність води ρ_w , кг/м ³	1025
Щільність повітря ρ_a , кг/м ³	1,225
Максимальна швидкість вітру V_w , м/с	26
Максимальна глибина постановки платформи d , м	12
Параметри льоду	
Коефіцієнт тертя μ	0,20
Щільність льоду ρ_i , кг/м ³	900
Міцність льоду на вигин σ_f , кПа	500
Модуль пружності E , ГПа	5
Коефіцієнт Пуассона ν	0,3
Товщина льоду h , м	1,0

Продовження таблиці 3.3

Параметри платформи	
Ширина платформи	
бортом B_6 , м	76,0
носом B_n , м	62,0
Кут нахилу грані α , град	66
Висота похилої частини t , м	8,2
Тороси	
глибина кіля h_k , м	3,75
Висота вітрила h_s , м	1,33
Ширина B_s , м	10
Товщина консолідованого шару h_c , м	0,9
Кут внутрішнього тертя кіля ω , град	30
Нашаруваний лід	
Товщина нашарованого льоду h_f , м	1,0
Коефіцієнт пористості e	0,3
Міцність на стиск нашарованого льоду R_c , МПа	1,8
Міцність на вигин нашарованого льоду R_f , МПа	0,5
Швидкість дрейфу льоду V , м/с	1,9
Льодові поля	
Довжина і ширина льодового поля L , м	2000
Товщина льодового поля h_n , м	0,3

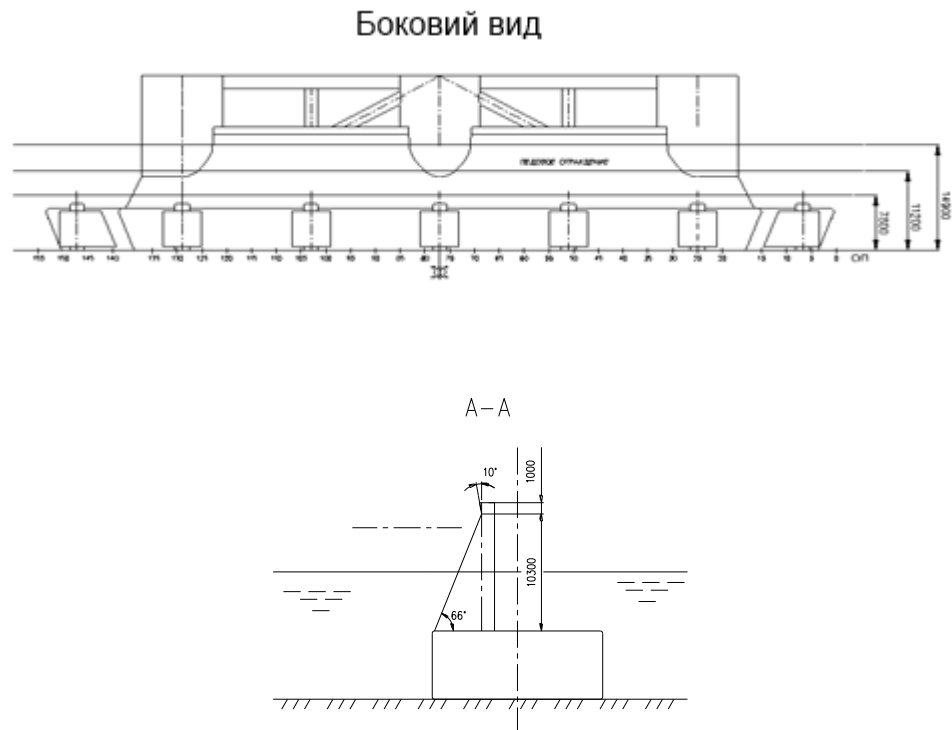


Рисунок 3.8 — Конструктивна схема льодової захисту на платформі ЛСП-1

Для максимально можливої товщини льоду 1,0 м були проведені розрахунки льодових навантажень за розглянутими вище методиками. На рисунку 3.9 представлена діаграма, що дозволяє порівняти навантаження.

У всіх нормативних документах розглядають визначення льодових навантажень на споруду на основі статистичних даних про фізико-механічні властивості льоду, гідрометеорологічні та льодові умови в районі споруди в період часу з невеликими льодовими впливами [99]. Деякі методики визначення льодового навантаження мають рекомендаційний характер (APIRP 2N, ISO19906), інші методики носять регламентуючий характер (авторська методика К.Н. Шхінека, ПРМРС). Часто при розрахунках не враховується реальна поведінка льодового покриття або завищуються коефіцієнти, що залежать від ставлення площі споруди, яка контактує з льодом і самого розміру льодового утворення. Так само недоліками є: до уваги не береться місце розташування споруди (геологія дна); наводиться методика розрахунку на одну опору споруди, для багатоопорної

пропонується це навантаження множити на кількість опор, тоді, як поведінка льодового утворення з багатоопорною спорудою і вплив на неї буде іншим.



Рисунок 3.9 — Діаграма максимальних льодових навантажень, згідно наступних методик розрахунку: 1 — авторська методика К.Н. Шхінека; 2 — методика API RP 2N; 3 — методика ISO 19906 (вигин пружної балки); 4 — методика ISO 19906 (теорія пластичності); 5 — методика ПРМРС.

Льодові навантаження від нашарованого льоду товщиною 1,0 м були оцінені за допомогою 5 методик: 1 — авторська методика К.Н. Шхінека; 2 — методика API RP 2N; 3 — методика ISO 19906 (вигин пружною балки); 4 — методика ISO 19906 (теорія пластичності); 5 — методика ПРМРС.

Результати 1, 2 і 5 дають максимальні значення льодового навантаження за рахунок додавання коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості та неоднорідності льоду з урахуванням зміни розмірів основи бурової платформи на висоті наповзання льоду. Урахування цих особливостей льодового покриття в методиці ISO 19906 дозволить наблизити значення до реальних. Методика API RP 2N враховує при розрахунку навантаження ділянки неоднорідності льоду і наявність битого льоду. Льодове навантаження, розраховане з використанням цієї методики, складається з навантаження від наповзають і навантаження від битого льоду.

3.2.2 Результати розрахунку льодових навантажень з використанням прогнозованої товщини льоду

Результати розрахунків льодового навантаження від наповзання льоду за описаними методиками з використанням прогнозованих значень товщини льоду, отримані в розділі 2 цієї роботи, представлені в таблицях 3.4 – 3.7 і на рисунку 3.10 – 3.13.

Таблиця 3.4 — Льодові навантаження (горизонтальні) від наповзання льоду (платформа бортом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН				
	Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,0301	1,84	1,559	0,206	0,43	1,651
0,0399	2,43	2,078	0,295	0,577	2,189
0,0404	2,47	2,105	0,3	0,584	2,216
0,1012	6,2	5,537	1,05	1,606	5,551
0,1195	7,32	6,657	1,3337	1,937	6,555
0,1410	8,65	8,033	1,708	2,338	7,734
0,1420	8,71	8,098	1,726	2,357	7,789
0,1482	9,09	8,509	1,841	2,475	8,129
0,1615	9,92	9,41	2,102	2,732	8,859

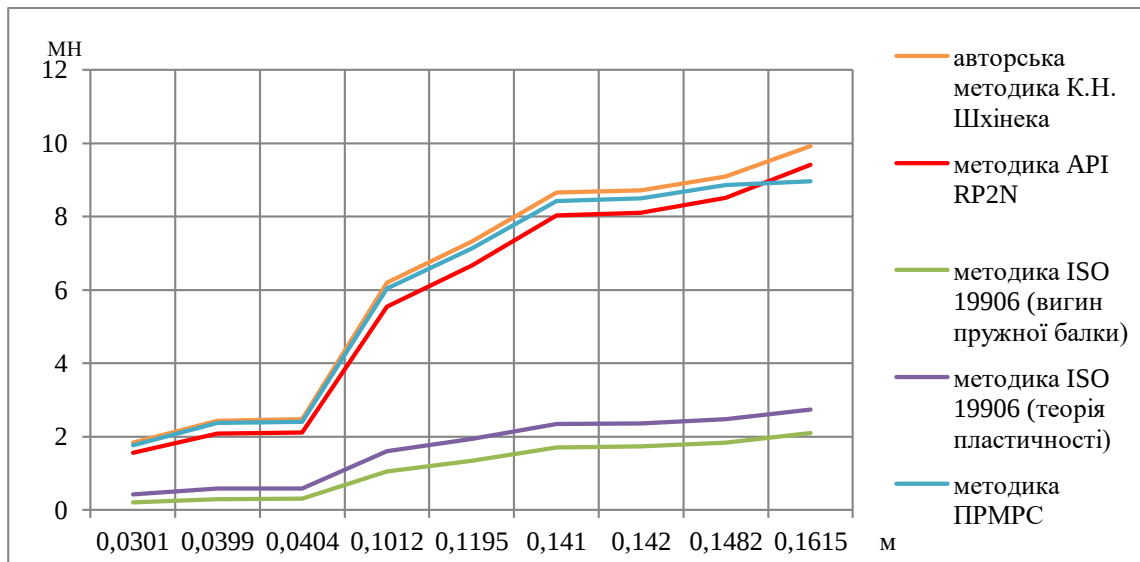


Рисунок 3.10 — Результати розрахунків льодового навантаження (горизонтального) з використанням прогнозованих товщини льоду

Таблиця 3.5 — Льодові навантаження (вертикальні) від наповзання льоду (платформа бортом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН				
	Авторська методика К.Н. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,0301	0,738	0,29	0,059	0,154	0,67
0,0399	0,979	0,407	0,082	0,209	0,88
0,0404	0,992	0,407	0,083	0,212	0,899
0,1012	2,49	1,459	0,29	0,581	2,253
0,1195	2,94	1,975	0,37	0,7	2,66
0,1410	3,482	2,587	0,47	0,844	3,14
0,1420	3,504	2,587	0,48	0,851	3,16
0,1482	3,658	2,93	0,511	0,894	3,3
0,1615	3,989	3,31	0,582	0,986	3,596

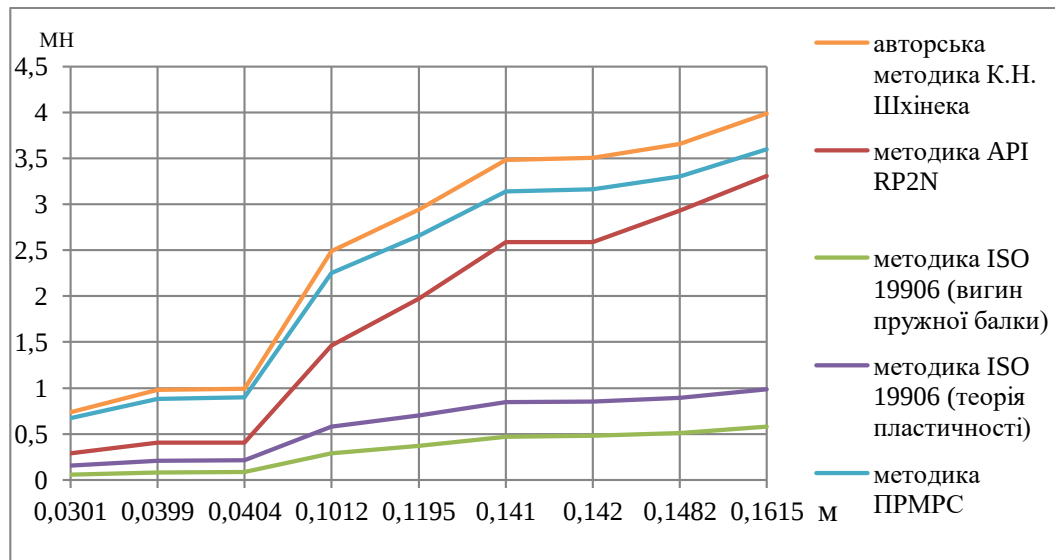


Рисунок 3.11 — Результати розрахунків льодового навантаження (вертикального) з використанням прогнозованих товщини льоду

Таблиця 3.6 — Льодові навантаження (горизонтальні) від наповзання льоду (платформа носом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН				
	Авторська методика К.М. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,0301	1,283	1,267	0,168	0,347	1,177
0,0399	1,702	1,689	0,242	0,47	1,503
0,0404	1,723	1,711	0,246	0,476	1,58
0,1012	4,337	4,495	0,86	1,312	3,958
0,1195	5,129	5,402	1,095	1,583	4,674
0,1410	6,062	6,515	1,4	1,912	5,515
0,1420	6,105	6,568	1,415	1,922	5,554
0,1482	6,375	6,9	1,509	2,025	5,797
0,1615	6,954	7,628	1,718	2,236	6,317

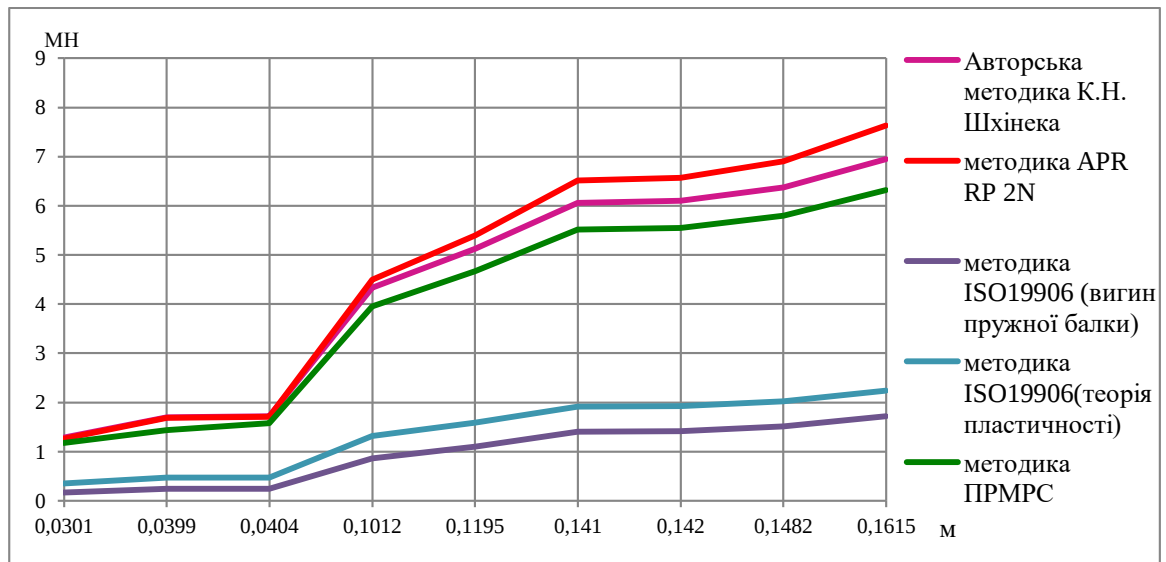


Рисунок 3.12 — Результати розрахунків льодового навантаження (горизонтального) з використанням прогнозованих товщини льоду

Таблиця 3.7 — Льодові навантаження (вертикальні) від наповзання льоду (платформа носом)

Товщина льоду, м	Льодове навантаження, МН				
	Авторська методика К.М. Шхінека	API RP 2N	ISO19906 (вигин пружної балки)	ISO19906 (теорія пластичності)	Правила морського реєстра судноплавства
0,0301	0,156	0,256	0,047	0,126	0,451
0,0399	0,685	0,357	0,067	0,17	0,598
0,0404	0,693	0,362	0,068	0,172	0,606
0,1012	1,746	1,276	0,238	0,474	1,517
0,1195	2,064	1,667	0,303	0,572	1,792
0,1410	2,44	2,223	0,387	0,69	2,115
0,1420	2,457	2,25	0,382	0,696	2,13
0,1482	2,566	2,429	0,418	0,731	2,223
0,1615	2,799	2,839	0,476	0,807	2,422

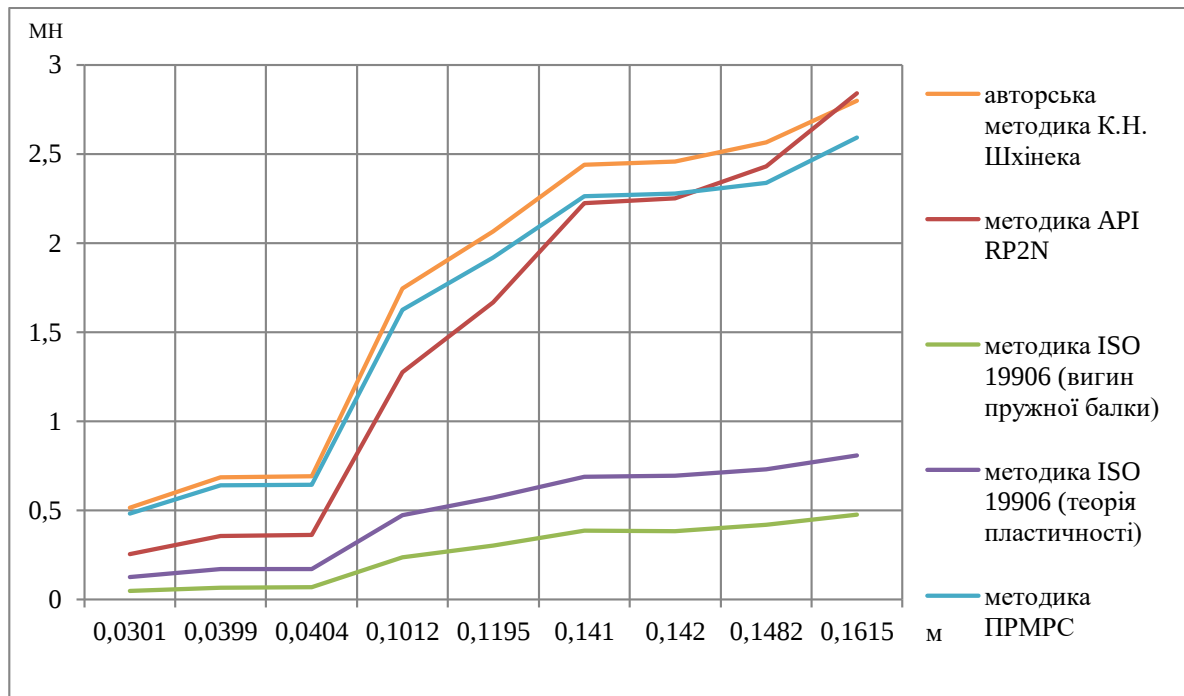


Рисунок 3.13 — Результати розрахунків льодового навантаження (вертикального) з використанням прогнозованих товщин льоду

3.2.3 Порівняння отриманих результатів

На рисунках 3.14 – 3.17 і в таблицях 3.8 – 3.11 наводиться порівняння навантажень від реальних товщин льоду з навантаженнями, отриманими із застосуванням прогнозованих товщин льоду.

Таблиця 3.8 — Порівняння значень льодових навантажень (горизонтальні, 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%

Продовження таблиці 3.8

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 3.9 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, 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 регістра 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 3.10 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, 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 3.11 — Порівняння значень льодових навантажень (вертикальні, 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%

Продовження таблиці 3.11

-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 в 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.

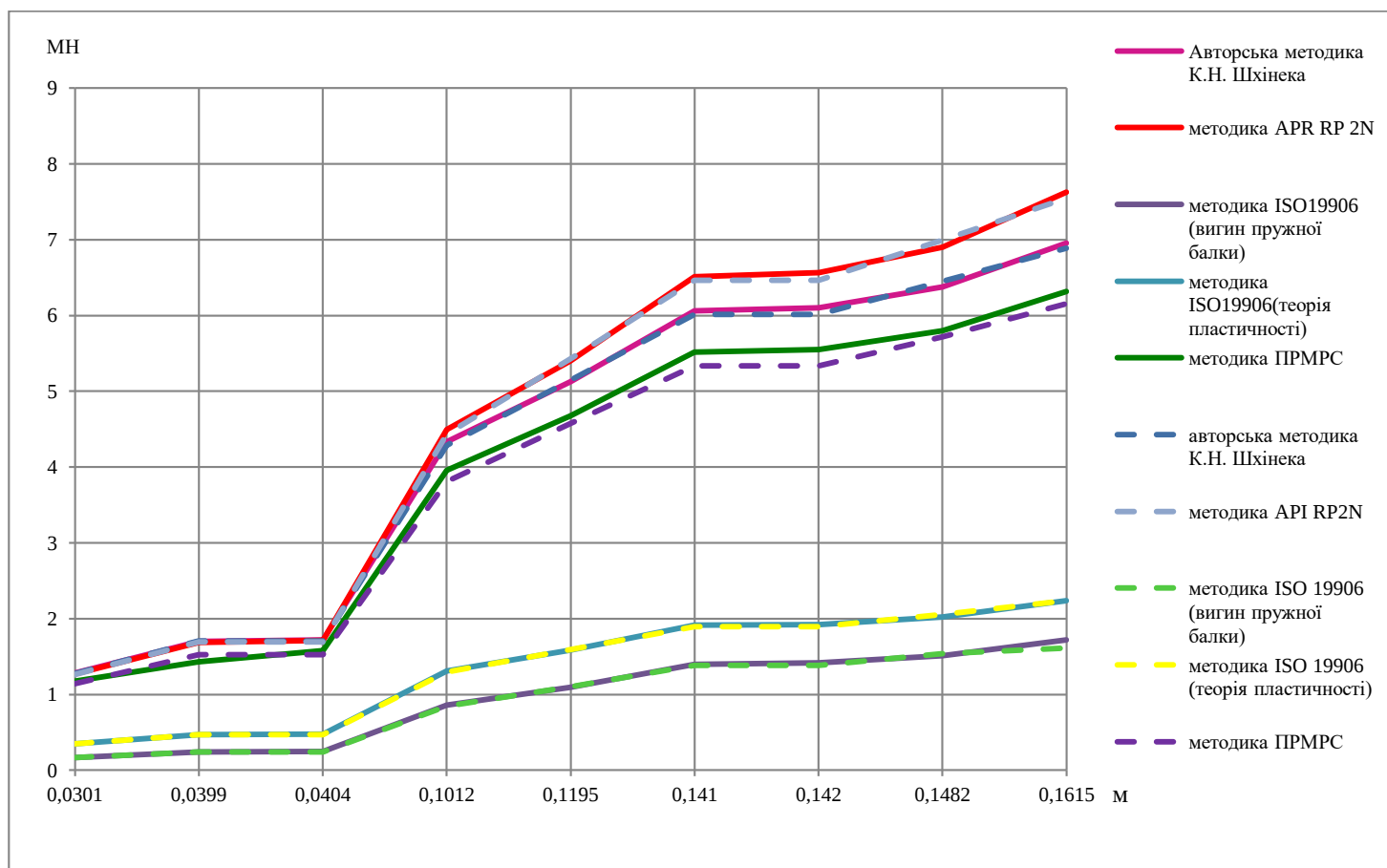


Рисунок 3.14 — Порівняння льодових навантажень (горизонтальні, платформа носом) з урахуванням реальних і прогнозованих товщини льоду

(————— — прогнозовані значення товщини льоду; - - - - - — реальні значення товщини льоду)

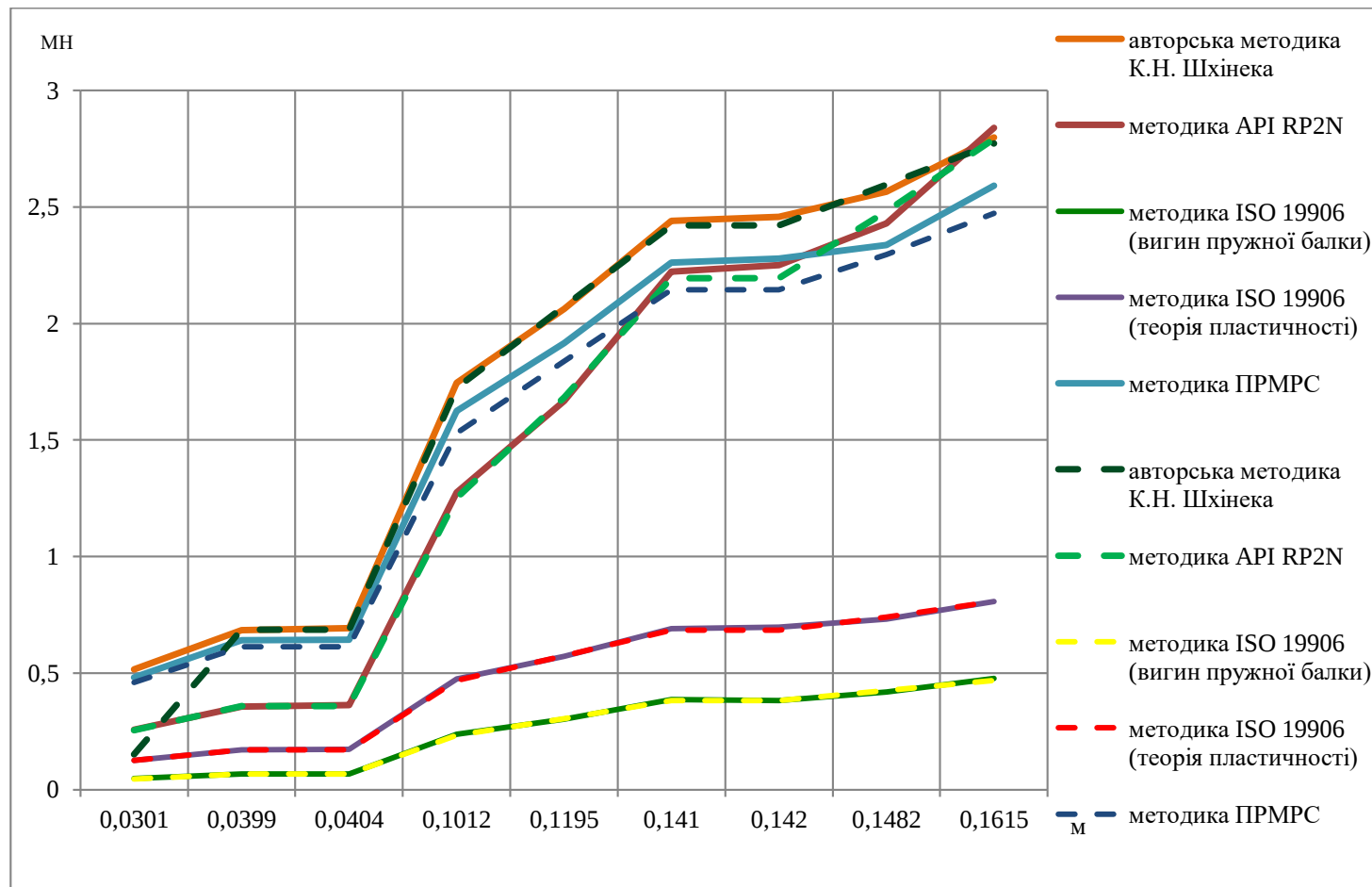


Рисунок 3.15 — Порівняння льодових навантажень (вертикальні, платформа носом) з урахуванням реальних і прогнозованих товщини льоду

(——— — прогнозовані значення товщини льоду;----- — реальні значення товщини льоду)

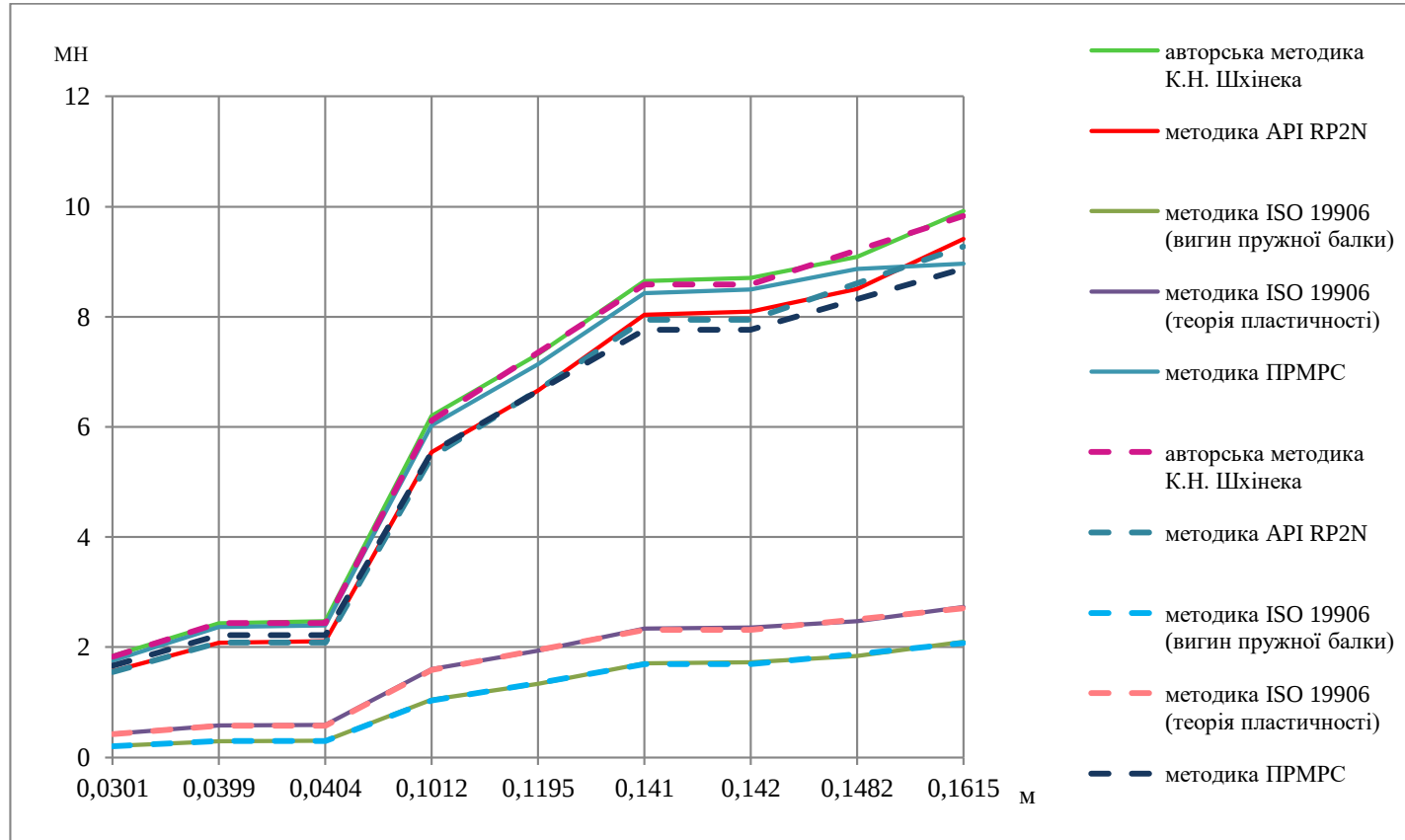


Рисунок 3.16 — Порівняння льодових навантажень (горизонтальні, платформа бортом) з урахуванням реальних і прогнозованих товщини льоду

(———— – прогнозовані значення товщини льоду; - - - - - – реальні значення товщини льоду)

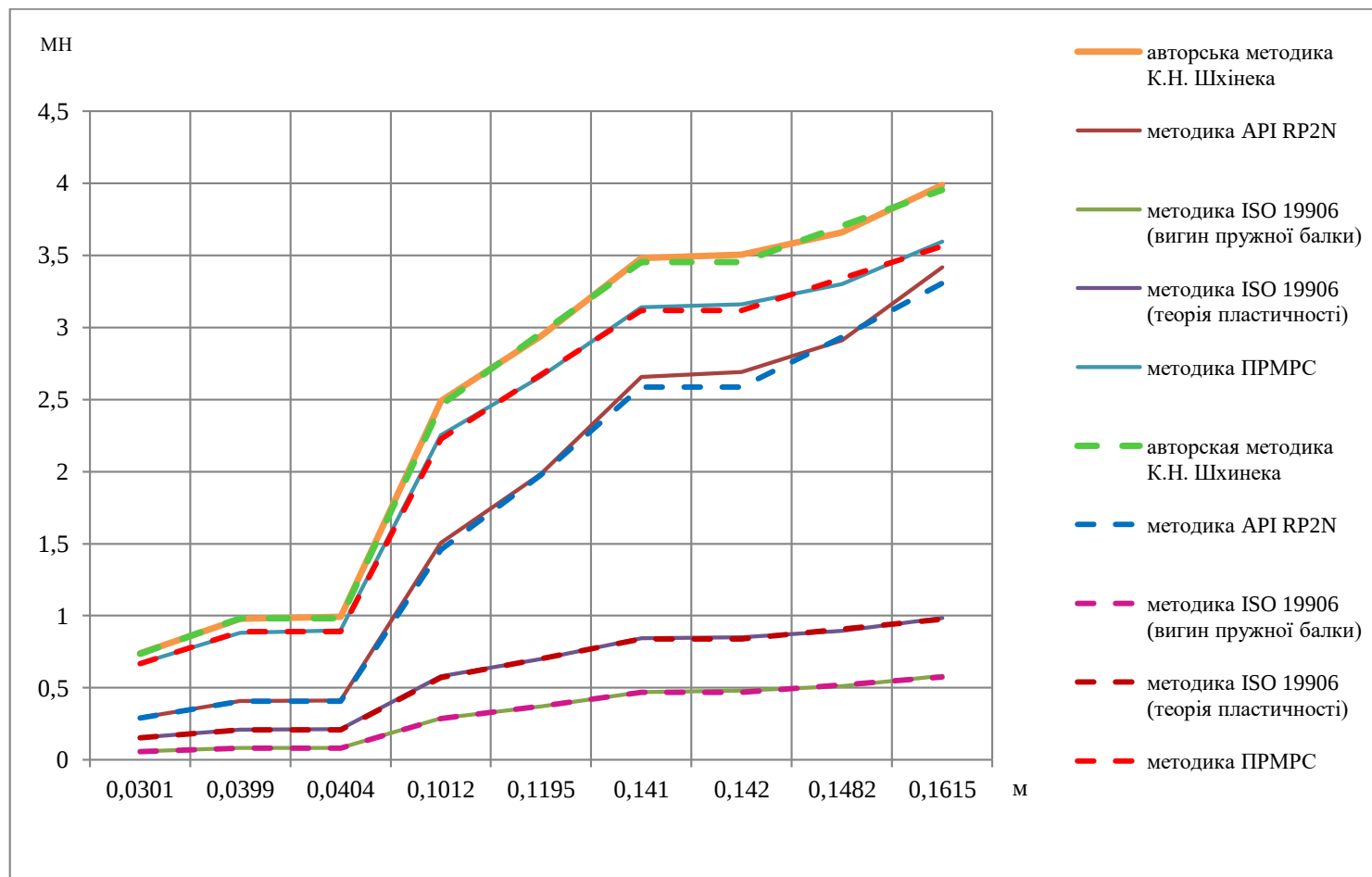


Рисунок 3.17 — Порівняння льодових навантажень (вертикальні, платформа бортом) з урахуванням реальних і прогнозованих товщини льоду
(— прогнозовані значення товщини льоду; ----- — реальні значення товщини льоду)

Висновки за розділом 3

1. Для оцінки льодового навантаження на платформі MatLab розроблена програма, що дозволяє обчислювати льодові навантаження на підставі розглянутих методик розрахунку впливу, з урахуванням багатопараметричного нейромережевого прогнозу.

2. Для верифікації отриманої розрахункової моделі, був проведений розрахунок льодових навантажень на реально існуючу платформу ЛСП-1, який показав, що максимальна величина відхилення отриманих значень від прийнятих в якості розрахункових льодових навантажень становить 3,9%, що свідчить про високу точність проведених розрахунків. Результати розділу опубліковані в [24].

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОГО ТИПУ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ШЕЛЬФУ АЗОВСЬКОГО МОРЯ

4.1 Допущення для вибору типу платформи, що враховують особливості регіону видобутку вуглеводневої сировини

Як було розглянуто в розділі 1, для шельфу Азовського моря, з урахуванням експлуатаційних характеристик, розглядаються наступні типи платформ: самопідйомні плавучі бурові платформи і льодостійкі стаціонарні платформи. Розглянемо загальні припущення, що враховуються при проектуванні платформ для родовищ 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% забезпеченості, період повторюваності 1 раз в 100 років – 4,3 м.
5. Екстремальний прилив з нагананням 3,34 м.
6. Відсутність стійкого припая.
7. Товщина льоду в зимовий період. З огляду на максимальні значення товщини льоду, згідно льодових спостережень з грудня 2007 року по березень 2017 року (рисунок 4.1), була спрогнозована максимальна товщина льоду на наступний період із застосуванням нейронних мереж, яка становить 0,298 м.

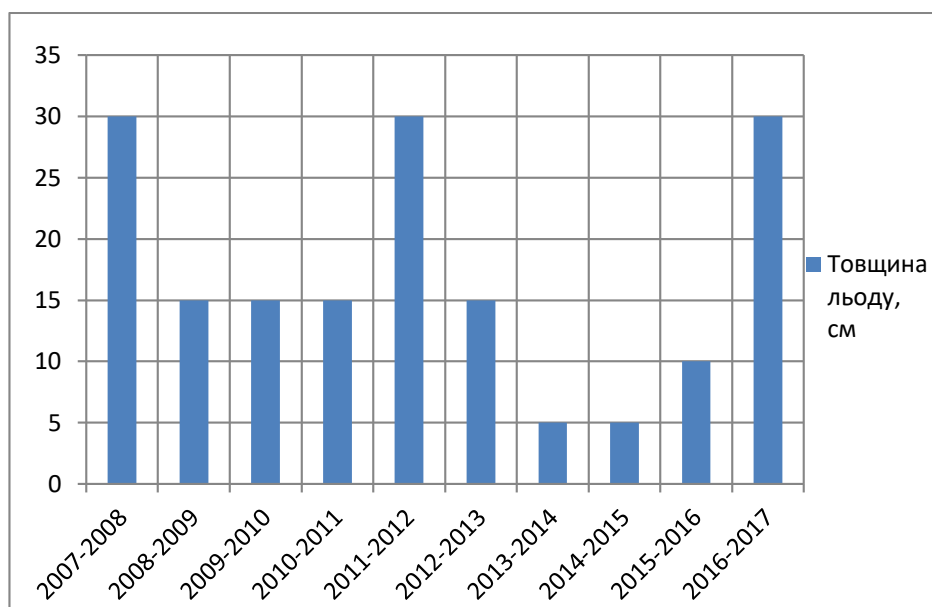


Рисунок 4.1 — Розподіл товщини льоду з грудня 2007 – 2017

4.2 Аналіз і застосування зарубіжного досвіду створення та експлуатації морських бурових установок в умовах мілководдя

Для розвідки і видобутку вуглеводневої сировини в умовах мілководдя зарубіжними нафтовими компаніями найчастіше використовувалися такі типи споруд [42]:

1. Ґрунтові острова.
2. Льодові острова.
3. Самопідйомні бурові платформи.
4. Льодостійкі стаціонарні бурові платформи.

Розглянемо можливість застосування цих типів споруд стосовно шельфу Азовського моря.

1. Ґрунтові острова. Основне навантаження, яке сприймається — льодове. Але власна вага ґрунтових островів значно впливає на основу цієї споруди. Це навантаження перевищує льодове практично в три рази. Основні аварії, пов'язані з ґрунтовими островами: руйнування і ерозія насипу острова. З огляду на слабкий і «повзучий» ґрунт Азовського моря, створення

грунтового острова буде складним інженерним завданням, і матиме високі економічні витрати.

2. Льодові острова. Утворюються шляхом пошарового потовщення природного льодового покриву. Однак, створення таких платформ в Азовському морі неможливо через відсутність цілорічного льоду.

3. Самопідйомні плавучі бурові платформи. Для слабких ґрунтів використовують платформи з опорними матами. Використання СПБУ на глибинах до 30 м становить всього 2% від загального числа СПБУ, що показує що застосування цього типу платформ можливе, але недоцільне.

4. Льодостійкі стаціонарні платформи. З огляду на особливості слабого ґрунту даної ділянки, розглядаються стаціонарні платформи з пальовою основою. Особливий інтерес представляють льодостійкі гравітаційні платформи, здатні витримувати як вітрові, хвильові так і високі льодові навантаження. Залежно від глибини моря, можуть бути 4х типів: основою служить кесон; основою служить монокон; основою служить багатоколонна основа, «легкі конструкції».

З перерахованого вище, в якості розглянутого типу виберемо льодостійкі стаціонарні платформи.

4.3 Визначення льодових навантажень на існуючі типи платформ

Для вибору АКТ льодостійкої стаціонарної платформи проведемо розрахунки льодових навантажень для різних варіантів основи. Розрахуємо льодові навантаження для існуючих типів платформ: ЛСП-1 (рисунок 4.2) і СМОЛП (рисунок 4.3).

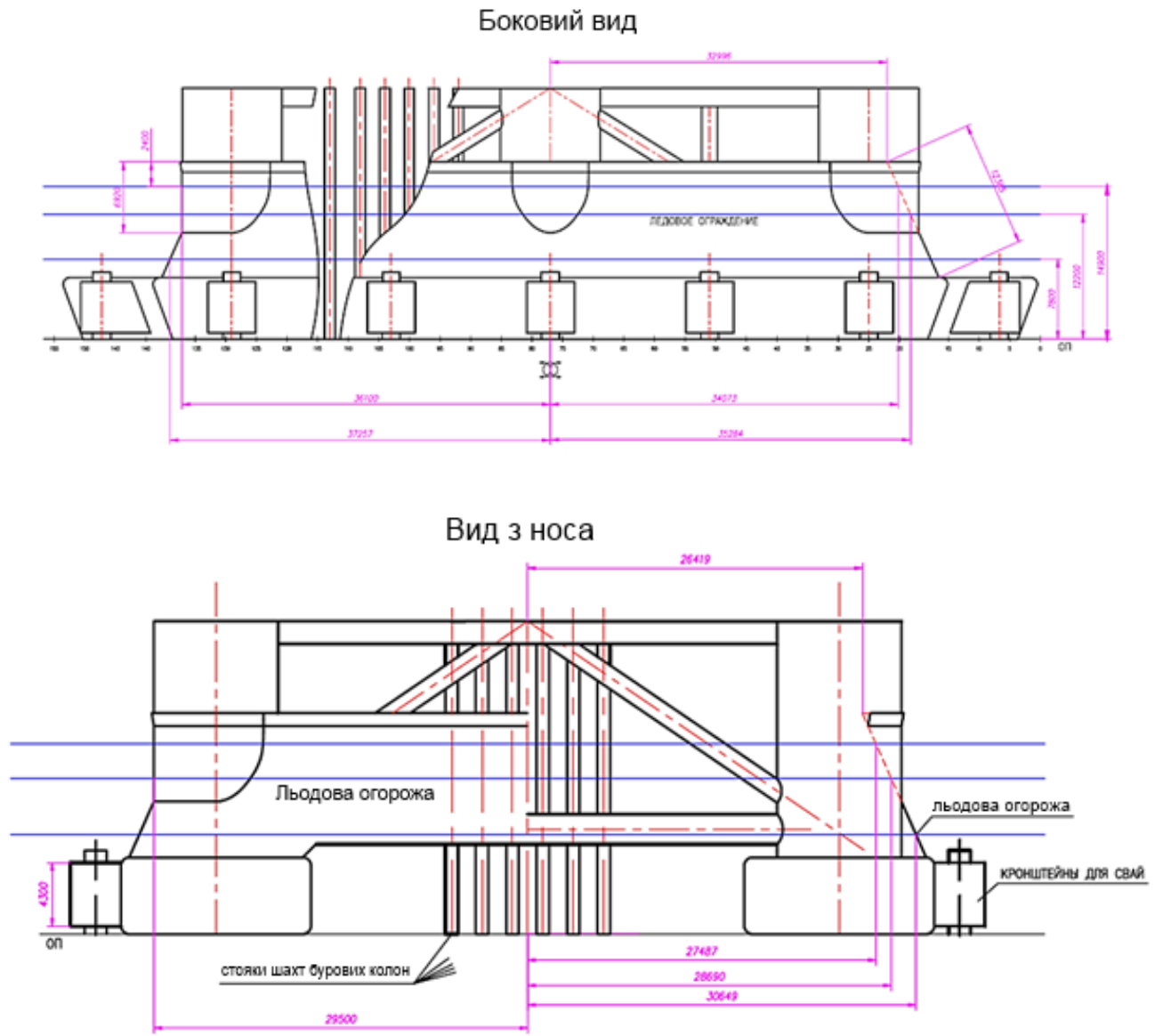


Рисунок 4.2 — Загальний вид основи ЛСП-1

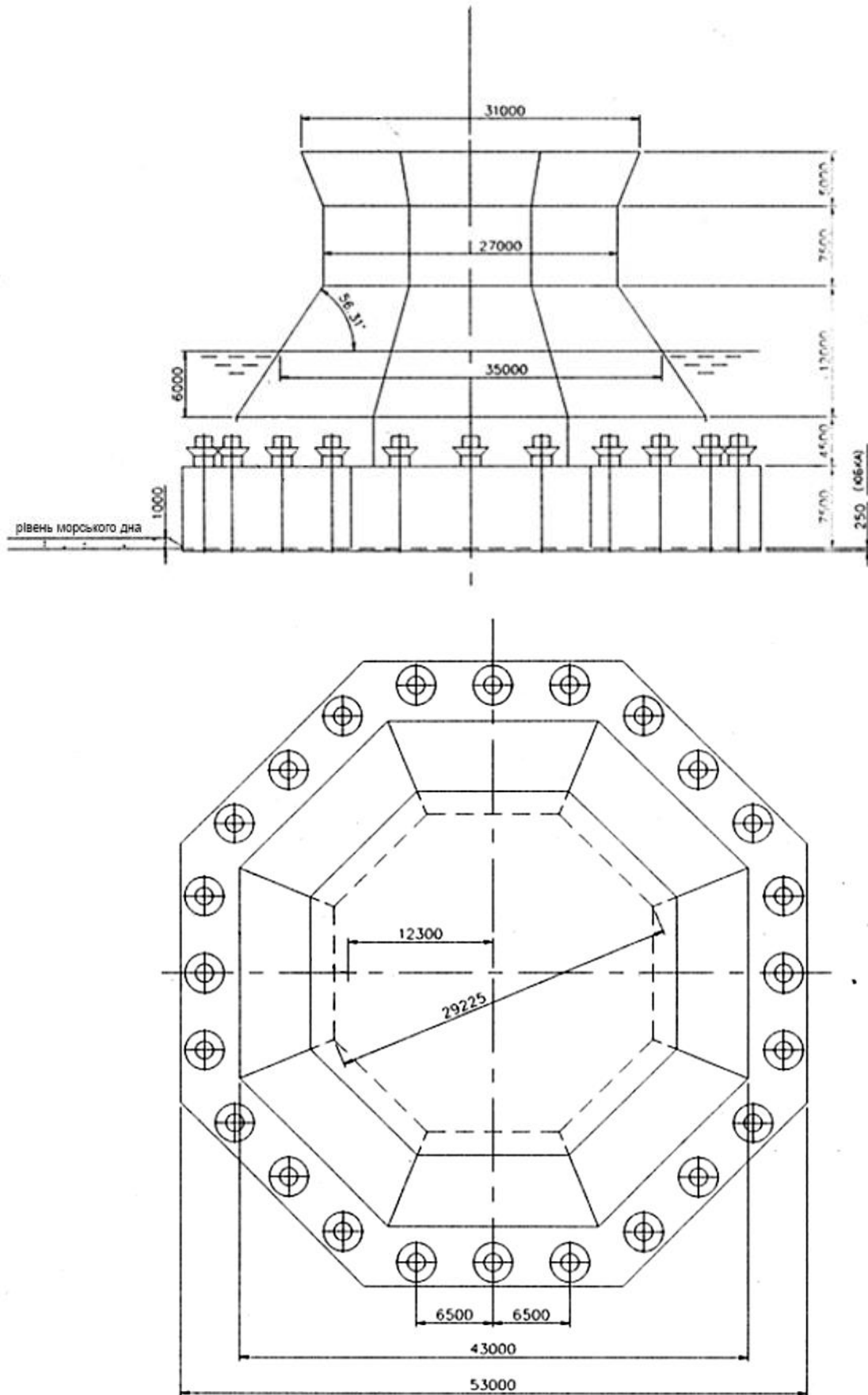


Рисунок 4.3 — Загальний вигляд основи СМОЛП

Таблиця 4.1 — Дані для розрахунку льодових навантажень для Азово-Чорноморського басейну

Параметри	Значення
Гравітаційна стала g , м/с ²	9,81
Щільність води ρ_w , кг/м ³	1025
Щільність повітря ρ_a , кг/м ³	1,225
Максимальна швидкість вітру V_w , м/с	26
Максимальна глибина постановки платформи d , м	12
Параметри льоду	
Коефіцієнт тертя μ	0,20
Щільність льоду ρ_i , кг/м ³	900
Міцність льоду на вигин σ_f , кПа	500
Модуль пружності E , ГПа	5
Коефіцієнт Пуассона ν	0,3
Товщина льоду h , м	0,298
Параметри ЛСП-1	
Ширина платформи	
бортом B_b , м	70,0
носом B_n , м	63,0
Кут нахилу грані α , град	66
СМОЛП	
Ширина платформи на рівні 8 м, м	43
Ширина на рівні 12 м, м	41,8
Кут нахилу грані α , град	56,3

Для розрахунку льодових навантажень використовуємо формули для бурових платформ з похилою основою з розділу 3 (3.1 – 3.35). Отримані навантаження наведено в таблицях 4.2 – 4.4.

Таблиця 4.2 — Горизонтальна льодове навантаження на ЛСП-1 при товщині льоду 0,298 м. Постановка платформи бортом

	ПРМРС	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
		Теорія пластичності	Вигин пружної балки	
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	12,0 МН	6,39 МН	4,65 МН	16,1 МН
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	14,05 МН	8,95 МН	7,33 МН	18,24 МН
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	16,21 МН	11,57 МН	10,84 МН	19,44 МН

Таблиця 4.3 — Горизонтальна льодове навантаження на ЛСП-1 при товщині льоду 0,298 м. Постановка платформи носом

	ПРМРС	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
		Теорія пластичності	Вигин пружної балки	
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	10,2 МН	4,67 МН	3,77 МН	12,36 МН
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	11,95 МН	6,32 МН	5,04 МН	13,46 МН
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 66^\circ$				
Горизонт.	13,81 МН	9,14 МН	8,67 МН	16,02 МН

Таблиця 4.4 — Горизонтальна льодове навантаження на СМОЛП при товщині льоду 0,298 м

Глибина моря	ПРМРС	ISO 19906		Методика К.Н. Шхінека
		Теорія пластичності	Вигин пружною балки	
8 м, 10 м*	22,2 МН	17,74 МН		31,18 МН
12 м	16,02МН	9,05 МН	5 МН	22,47 МН
* — для даної глибини постановки виконано розрахунок льодового навантаження, як для споруди з вертикальною основою.				

Згідно ПРМРС величина льодового пояса обчислюється за формулою:

$$l = \Delta_{100} + 2\alpha_1 h_{c100}, \quad (4.1)$$

де Δ_{100} — максимальний розмах зміни рівня моря щодо середнього рівня, м, можливий 1 раз в 100 років; α_1 — коефіцієнт запасу $\alpha_1 = 1,1$; $h_{c100} = 1,0$ м — товщина консолідованого шару тороса, можлива 1 раз в 100 років (за відсутності торосів товщина рівного або нашарованого льоду), м.

$$l = 3,34 + 2 \cdot 1,1 \cdot 1 = 5,54 \text{ м.}$$

Льодове навантаження прикладене до кожної з платформ на рівнях 12 м, 10 м и 8 м у вигляді горизонтальної та вертикальної погонного навантаження, кН/м. Вертикальна складова глобальної льодового навантаження від рівного або нашарованого льоду на опору конічної форми визначається за формулою:

$$F_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{гор}}}{\text{tg}(\beta + \text{arctg}f)}. \quad (4.2)$$

З огляду на довжини розподілу навантажень на рівнях кожної з платформ, отримаємо:

- для горизонтальних погонних навантажень:

$$g_{\text{гор}} = \frac{F_{\text{гор}}}{L}; \quad (4.3)$$

- для вертикальних погонних навантажень:

$$g_{\text{верт}} = \frac{F_{\text{верт}}}{L}, \quad (4.4)$$

L — довжина льодової огорожі, яка сприймає навантаження уздовж ДП установки і поперек ДП установки.

В таблицях 4.5 та 4.6 наведені результати розрахунку льодових навантажень.

Таблиця 4.5 — Розрахунок величин погонних навантажень для ЛСП-1

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

Таблиця 4.6 — 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

Виходячи з обчислених навантажень, можна зробити висновок, що прототип ЛСП-1 піддається меншим льодовим навантаженням, ніж прототип СМОЛП. Для подальшого розглядання та надання рекомендацій при проектуванні будемо розглядати льодостіку платформу типу ЛСП-1.

4.4 Вибір оптимальних конструктивних параметрів льодостійкої стаціонарної платформи для Азовського моря на початкових стадіях проектування

У роботі [102, 103] для умов Азовського моря визначено критерій оптимізації конструктивних параметрів, який передбачає рівність льодового і вітро-хвильового навантажень і показана можливість вибору оптимальних конструктивних параметрів платформ такого типу. Розглянемо запропоновану методику для розглянутої в пункті 4.3 платформи типу ЛСП-1.

Отримані оцінки і співвідношення дозволяють в 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.

$$\begin{aligned}
P_{\lambda} &= (2 \cdot 10^{-5} D_{\lambda} + 0,0006) \beta^2 + (0,001 D_{\lambda} + 0,0293) \beta + (0,0002 D_{\lambda}^2 - \\
&- 0,0144 D_{\lambda} + 0,0488), \\
D_{\lambda} &= D_1 + \Delta / \operatorname{tg} \beta, \\
P_{\epsilon} &= 0,3796 D_e + 1,4247.
\end{aligned}
\tag{4.5}$$

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

D_1 — діаметр опори без конусної частини, м;

$D_{\lambda} = \frac{D_1 + D_2}{2}$ — 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.

Для визначення висоти опор, обчислимо кліренс БП на основі декількох різних критеріїв:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1 h_{\max}, \tag{4.6}$$

де η — висота гребня найбільшої хвилі, тобто хвилі 0,1% забезпеченості

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0.5(1-h^*)}, \tag{4.7}$$

де $h^* = \frac{\bar{h}}{H}$, n — забезпечення (%);

H — глибина моря, м;

H_n — максимальна величина нагона, можлива один раз в 100 років, м;

$h_{\max}$ — максимальна висота хвилі, для розглянутого району, м;

$\bar{h}$ — середня висота хвилі, м.

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5, \quad (4.8)$$

де Δ_{100} — максимальна амплітуда зміни рівня моря, можлива 1 раз в 100 років, м;

h_{100} , λ_{100} — максимальна висота і довжина хвилі, можлива один раз в 100 років, ($\lambda_{100} = 43$ м), м;

D — діаметр опори, м.

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5, \quad (4.9)$$

де $h_{\max}$ — товщина нашарованого льоду, можлива один раз в 100 років.

Глибина постановки 8 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{8} = 0,19;$$

$$\begin{aligned} \eta &= \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,19}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0,5(1-0,19)} = \\ &= 3,75; \end{aligned}$$

$$H_{1k} = 2 + 3,75 + 0,1 \cdot 3 = 6,05 \text{ м};$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2 \left(\frac{76,74}{43} \right)^{0,25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м};$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м.}$$

Глубина постановки 10 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{10} = 0,15;$$

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,15}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0,5(1-0,15)} =$$

$$= 3,92;$$

$$H_{1k} = 2 + 3,92 + 0,1 \cdot 3 = 6,22 \text{ м};$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2 \left(\frac{76,74}{43} \right)^{0,25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м};$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м.}$$

Глубина постановки 12 м:

$$1. H_{1k} = H_n + \eta + 0,1h_{\max}.$$

$$h^* = \frac{\bar{h}}{H} = \frac{1,5}{12} = 0,125;$$

$$\eta = \bar{h} \left[\frac{4}{\pi} \left(\ln \frac{100}{n} \right) \left(1 + \frac{h^*}{\sqrt{2\pi}} \right) \right]^{0,5(1-h^*)} = 1,5 \left[\frac{4}{3,14} \left(\ln \frac{100}{0,1} \right) \left(1 + \frac{0,125}{\sqrt{2 \cdot 3,14}} \right) \right]^{0,5(1-0,125)} =$$

$$= 3,96;$$

$$H_{1k} = 2 + 3,96 + 0,1 \cdot 3 = 6,26 \text{ м.}$$

$$2. H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2 \left(\frac{D}{\lambda_{100}} \right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5.$$

$$H_{2k} = \Delta_{100} + 1,2\left(\frac{D}{\lambda_{100}}\right)^{0,25} \cdot h_{100} + 1,5 = 1 + 1,2\left(\frac{76,74}{43}\right)^{0,25} \cdot 3 + 1,5 = 7 \text{ м};$$

$$3. H_{3k} = 4h_{\max} + \Delta_{100} + 0,5.$$

$$H_{3k} = 4 \cdot 0,298 + 1 + 0,5 = 2,69 \text{ м}.$$

Таким чином, кліренс споруди типу ЛСП-1 для розглянутих умов дорівнює 7,0 м.

Отримані оцінки і співвідношення (4.5) дозволяють в загальному вигляді обчислити залежності максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на споруди типу ЛСП-1 в залежності від кута β . Перетин цих залежностей представлений на рисунках 4.4 – 4.6 і відповідає оптимальній величині конусного розширення опори споруди типу ЛСП-1 для розглянутого діапазону глибин постановки. У таблицях 4.7, 4.8 представлені розрахунки льодових навантажень для споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки з урахуванням отриманого кута β .

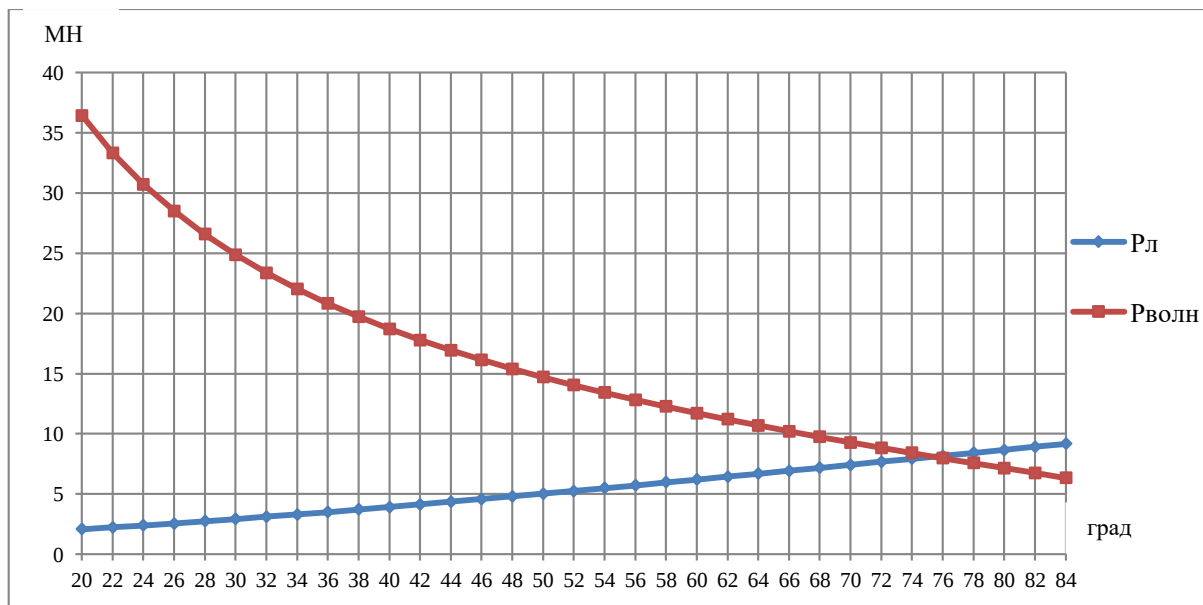


Рисунок 4.4 — Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для споруди типу ЛСП-1 для глибини постановки 8 м, $\beta = 75,4^\circ$.

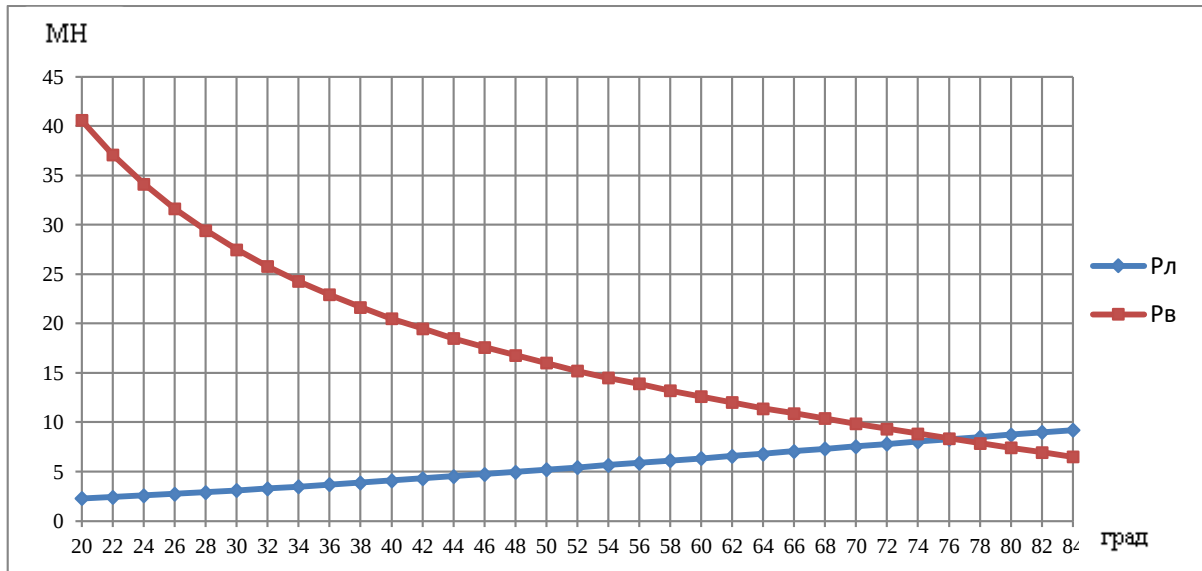


Рисунок 4.5 — Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для споруди типу КСП-1 для глибини постановки 10 м, $\beta = 76,3^\circ$.

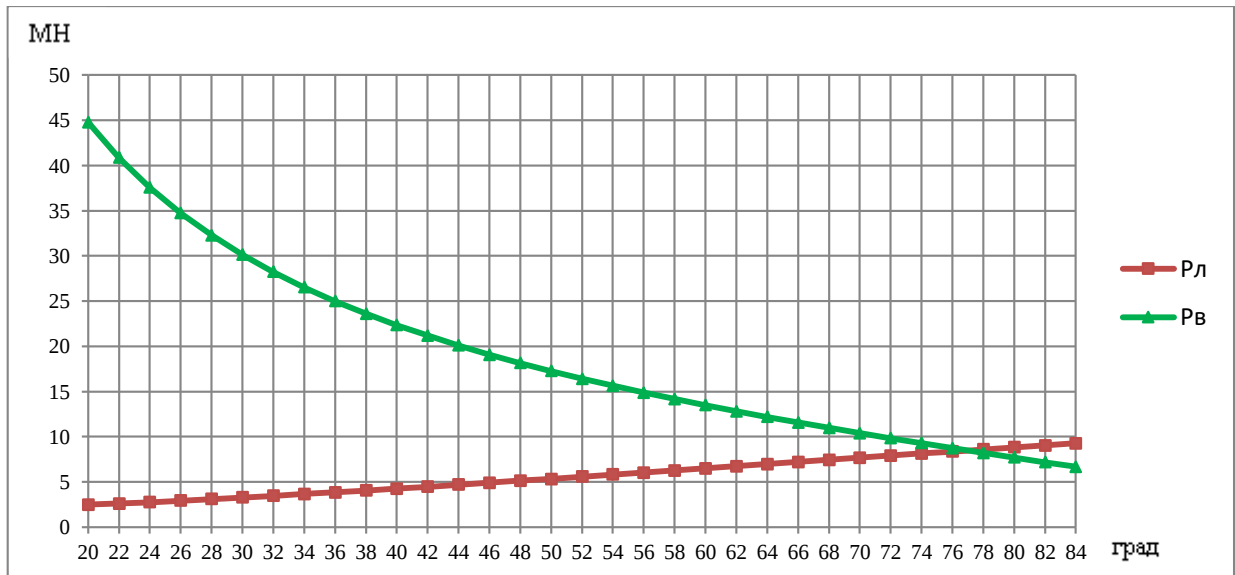


Рисунок 4.6 — Спільна залежність максимальних льодових і вітро-хвильових навантажень для спорудия типу КСП-1 для глибини постановки 12 м, $\beta = 77^\circ$.

Таблиця 4.7 — Розрахунок льодових навантажень на споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки, з урахуванням розрахованих кута β .
Постановка споруди типу ЛСП-1 боком

Напрямок дії навантаження	ПРМРС	ISO 19906 (теорія пластичності)	ISO 19906 (вигин пружної балки)	Авторська методика К.Н. Шхінека
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 75,4^\circ$				
Горизонт.	8,92	3,97	2,94	11,58
Верт.	3,06	3,2	1,69	4,03
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 76,3^\circ$				
Горизонт.	9,43	6,18	4,90	13,67
Верт.	3,23	3,62	2,05	4,74
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 77^\circ$				
Горизонт.	11,66	10,69	10,47	13,82
Верт.	4,01	4,79	3,09	3,55

Таблиця 4.8 — Розрахунок льодових навантажень на споруди типу ЛСП-1 для різних глибин постановки, з урахуванням розрахованих кута β .
Постановка споруди типу ЛСП-1 носом.

Напрямок дії навантаження	ПРМРС	ISO 19906 (теорія пластичності)	ISO 19906 (вигин пружної балки)	Авторська методика К.Н. Шхінека
Глибина постановки 8 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 75,4^\circ$				
Горизонт.	6,90	3,32	2,45	8,27
Верт.	2,37	2,7	1,48	2,12
Глибина постановки 10 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 76,3^\circ$				
Горизонт.	7,29	5,1	4,06	8,83

Продовження таблиці 4.8

Верт.	2,5	3,01	1,69	2,26
Глибина постановки 12 м, кут нахилу грані до горизонту $\beta = 77^\circ$				
Горизонт.	9,15	9,69	8,61	11,21
Верт.	3,15	3,98	2,54	2,88

У таблиці 4.9 представлені розрахунки погонних навантажень для отриманих значень навантажень з урахуванням кута нахилу утворюючої до горизонту β .

Таблиця 4.9 — Розрахунок величин погонних навантажень для споруди типу ЛСП-1

	Борт			ніс		
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 в таблицях 4.2, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8 і 4.9 відповідно, можна зробити висновок, що вибраний кут нахилу твірної опори до горизонту дозволяє зменшити льодове навантаження.

З урахуванням обраного кута нахилу твірної опори до горизонту та визначених льодових та вітро-хвильових навантажень, визначимо нову товщину зовнішньої обшивки опорних колон в районі діючої ватерлінії.

Рівень напруження в одній колоні з товщиною зовнішньої обшивки $s=16$ мм до визначення нового кута нахилу твірної опори до горизонту згідно з [12] становила:

$$\sigma = \left(\frac{P_{в.к.}}{6} + F_{гор} + F_{верт} + F_{вітро-хв} \right) \cdot \frac{1}{\pi D s},$$

де $P_{в.к.} = 10,1$ МН — вага верхнього корпусу ЛСП-1, [100];

$F_{гор}$, $F_{верт}$ — льодове навантаження, МН;

$F_{вітро-хв}$ — вітро-хвильове навантаження, МН;

$D = 9,8$ — діаметр колони, м;

$s = 0,016$ — товщиною зовнішньої обшивки колони, м.

$$\sigma = \left(\frac{10,1}{6} + 19,44 + 7,09 + 10,5 \right) \cdot \frac{1}{3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,016} = 78 \text{ МН/м}^2.$$

Приймаючи, що розрахунковий рівень напруження в одній колоні буде постійним, то визначим товщину зовнішньої обшивки колони після зміни кута нахилу твірної опори до горизонту:

$$s_{нов} = \frac{\left(\frac{P_{в.к.}}{6} + F_{гор} + F_{верт} + F_{вітро-хв} \right)}{\pi D \sigma} = \frac{23,5}{3,14 \cdot 9,8 \cdot 78,6} = 0,010 \text{ м.}$$

Для оцінки металоємності порівняємо вагу шістьох колон до і після зміни кута нахилу твірної опори до горизонту:

$$1) s = 0,016 \text{ м, } P = 6\pi D s \gamma = 6 \cdot 3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,016 \cdot 78,5 \cdot 18,5 = 4290 \text{ т;}$$

$$2) s = 0,010 \text{ м, } P = 6\pi D s \gamma = 6 \cdot 3,14 \cdot 9,8 \cdot 0,010 \cdot 78,5 \cdot 18,5 = 2681 \text{ т;}$$

$\gamma = 78,5$ — щільність сталі, т/м³;

$l = 18,5$ — довжина однієї колони, м [100].

Таким чином, зміна кута нахилу твірної опори до горизонту та зменшення навантажень на ЛСП-1, дозволяє зменшити товщину зовнішньої обшивки опорних колон і їх вагу на 1579 т, що значно змінить вартість майбутньої платформи.

Висновки за розділом 4.

1. Аналіз зарубіжного досвіду використання різних типів бурових платформ, з урахуванням розрахункових експлуатаційних параметрів дозволив визначити, що відповідним типом бурових платформ для освоєння шельфу Азовського моря є льодостійкі стаціонарні платформи гравітаційного типу.

2. Розрахунок льодових навантажень був проведений з урахуванням прогнозу товщини льодових утворень, виконаний з використанням нейромережевого аналізу і на підставі спостережень за льодовим режимом з 2007 по 2017 рр. Приймалася товщина льодових утворень рівна 0,298 м.

3. Провівши розрахунок льодових навантажень і величини погонних навантажень, рекомендований архітектурно-конструктивний тип платформи типу ЛСП-1 — це конструкція з похилою передньою гранню при рівні (глибині) моря 8,0 м, а при глибині 12,0 м — конструкція з комбінацією на передній грані похилих ділянок і вертикальних частин колон.

4. Для умов Азовського моря був розрахований оптимальний кут нахилу передньої грані опори до горизонту, з урахуванням льодових і вітрових навантажень. Для глибини 8,0 м кут складає $75,4^\circ$; для глибини 10,0 м — $76,3^\circ$; для глибини 12,0 м — 77° . Ці значення можуть бути використані на початкових стадіях проектування з подальшим уточненням в залежності від глибини постановки бурової платформи.

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 льодостойких МБП для Азово-Чорноморського басейну та удосконалення існуючих методів урахування льодових навантажень на МБП, а також програмного забезпечення для розрахунків навантажень на бурові платформи при проектуванні.

2. Проаналізовано акваторії розміщення МБП в Азово-Чорноморському басейні. Розглянуто особливості видобутку вуглеводневої сировини. В якості основних факторів, які необхідно враховувати при проектуванні МБП розглянуті льодові навантаження. Визначено, що до теперішнього часу мало вивчена проблема функціонування і проектування бурових платформ з урахуванням особливостей льодової обстановки, моніторингу та урахуванням 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 басейна. Ця методика включає формулювання і розв'язання задачі з урахуванням впливу багатфакторності 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. Вперше шляхом застосування штучних нейронних мереж отримана модель прогнозування льодових утворень в акваторії установки бурової платформи, як одного з основного фактору величини льодового навантаження, що дозволяє оцінювати реальні навантаження як на проєктовані, 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, по заданому набору прикладів за допомогою процедури занурення ряду в багатовимірне рівняння. Для оцінки льодового навантаження в конкретній точці експлуатації бурової платформи пропонується багатфакторна нейронна мережа, в якій в якості вхідних даних крім товщини льоду так само вносяться дані про температуру повітря, швидкості вітру, рівню моря і типу 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 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 проєктуванні бурових платформ для перспективних місць народження вуглеводної сировини.

6. Удосконалено методику розрахунку льодових навантажень на бурові платформи на підставі застосуванні штучних нейронних мереж, що дозволяє аналізувати товщину льодових утворень і оцінювати величину льодового навантаження на початкових стадіях проєктування. 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, був проведений розрахунок льодових навантажень на реально існуючу платформу ЛСП 1, який показав, що максимальна величина відхилення отриманих значень від прийнятих в якості розрахункових льодових навантажень становить 3,9%, що свідчить про високу точність проведених розрахунків.

8. На підставі результатів, отриманих із застосуванням нейромережних 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 забезпечена за рахунок коректної постановки задачі, використаних теоретичних і 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 шельфі Азово-Чорноморського басейну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Косьян Р.Д. Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья. *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П. П. Ширшова. Российской академии наук (ИО РАН)*. Геленжик, 2013. Т.7 С.1103—1317.
2. Matishov G., Levitus S. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. Washington, D.C, 2008. 103 p.
3. Фомин В. В., Дьяков Н. Н., Левицкая О. В. Атлас волнения, течений и уровня азовского моря. *Международная конференция «Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии» VI конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг»*. Ростов-на Дону, 2013. Т.2, С. 95—100.
4. Федоренко А. В. Особенности ледового сезона 2007–2008 гг. на Азовском море. *Труды Гидрометцентра России*. Москва, 2009. № 343. С. 88—99.
5. Боровская Р. В. Лексикова Л. А. Исследование ледового режима Азовского моря и Керченского пролива в зимний период 2005-2006 годов. *Материалы II международной конференции: Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна*. (Керчь: ЮгНИРО, 26—27 июля 2006). Керчь, 2006. С.60—64.
6. Дьяков Н. Н., Тимошенко Т. Ю., Белогудов А. А. Современные изменения ледовитости Азовского моря. *Международная конференция «Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии» VI конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг»*. Ростов-на Дону, 2013. Т.2, С. 77—82.

7. Timco G. W., Watson D. A., Comfort G., Abdelnour R. A. Comparison of Methods for Predicting Thermally-induced Ice Load. *Proceedings IAHR Ice Symposium 96*. Beijing Chine, 1996. Vol.1, P. 241—248.
8. Leidersdorf Craid B., Gadd P. E., Vaudrey K. D. Design Considerations for Coastal Projects in Cold Regions. *Coastal Engineering: Coastal Projects in Cold Regions*. Orlando, 1996. P. 4397—4410.
9. Marchenko A. Modelling of Ice Piling up Near Offshore Structures. *20th IAHR International Symposium on Ice*. Finland, 2010. P. 286—298.
10. Utt Michael E. Sea Ice Force and the State of Technology of Offshore Arctic Platforms. *Jornal of Petroleum Technology*. California, 1985. P. 21—26.
11. СП 38.13330.2012. Свод правил. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Москва, 2012. 116 с.
12. CSA Standard. S471-04. General requirements, design criteria, the environment, and load. Canadian Standards Association. Ottawa, 2004. 74 p.
13. Wright B. Evaluation of Full Scale Data for Moored Vessel Stationkeeping in Pack Ice. *The National Research Council of Canada. Tech. rep. PERD/CHC Report 26-200*. Ottawa, 1999. 275 p.
14. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2017. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245165746 (дата обращения 28.04.2017).
15. Лопатнева А.Ю. Использование спутниковой информации при автоматизации процессов расчета ледовых нагрузок. *Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління*. 2014. Вып. 146. С.118—121.
16. Заец А. Ю. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования толщины морского льда. *Оптимізація виробничих процесів*. 2014. Вып. 15. С. 228—233.
17. Душко В. Р., Лопатнёва А. Ю. Анализ условий ледовой обстановки Азово-Черноморского бассейна. *Збірник наукових праць НУК. Електр. видання*. 2013. №1. С.44—46.

18. Заец А. Ю. Крамарь В. А. Гарантоспособность океанотехнических систем. *Науково-технічний журнал Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. №6 (70). С.7—11.

19. Душко В.Р. Лопатнёва А. Ю., Шоларь С. А. Влияние скорости движения ледовых полей на конструкции буровых платформ конической формы. *Матеріали VII Всеукраїн. наук.-техн. конф. молодих вчених і студентів*. 2012. С.216—220.

20. Лопатнёва А.Ю. Применение спутниковой информации в прогнозировании толщины льда с применением нейронной сети. *Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми в океанотеніці»*. 2013. С. 32—34.

21. Заец А.Ю. Душко В. Р., Крамарь В. А., Альчаков В. В. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования ледовых нагрузок на океанотехнические сооружения. *Всероссийская конференция «Полярная механика»*. 2014. С.22.

22. 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»*. 2014. С.145—150.

23. Заец А. Ю, Калинина О. И. Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования ледовых нагрузок, действующих на океанотехнические сооружения. *Труды межвузовской научно-технической конференции «Морские технологии»*. 2014. С.73—77.

24. Заец А.Ю. Расчет ледовых нагрузок с использованием нейросетевых технологий для условий Азово-Черноморского бассейна. *Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю*. 2015. С.52—55.

25. Заец А.Ю. Особенности проектирования МСПБУ для условий Азово-Черноморского бассейна. *Вісник ОНМУ*. 2015. Вип. 3 (45). С.207—210.

26. Заец А.Ю. Determining optimal parameters of a neural network for sea ice thickness prediction. *Вісник ОНМУ*. 2015. Вип. 4 (46). С.68—74.

27. Заец А.Ю. К учету ледовых нагрузок в задачах проектирования инженерных сооружений для шельфа Азовского и Черного морей. *Збірник наукових праць НУК*. 2016. Вип. 6. С.4—10.

28. 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.

29. Кушнир В. М., Душко В. Р., Крамарь В. А. Воздействие поверхностных гравитационных волн на прибрежные океанотехнические сооружения. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. №6/5(66). С. 36—41.

30. ГАО «Черноморнефтегаз». 2013. URL: <http://blackseagas.com> (дата звернення 28.07.2013).

31. Есипович С.М., Семенова С. Г., Семенец О.И. К оценке перспектив нефтегазоносности некоторых участков азовского моря. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. №3. С. 20—27.

32. Наumenко А. Д., Наumenко М. А. Основные закономерности распределения перспективных на нефть и газ объектов в северо-восточном секторе Черного моря. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2008. №2. С. 48—58.

33. Ажермачёва К. С. О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського*. 2011. №7. С. 6—11.

34. Матишов Г. Г., Степаньян О. В., Ковалёва Г. В., Поважный В. В., Кренёва К. В. Особенности структуры пелагического сообщества Азовского моря в условиях аномально холодной зимы 2005—2006 гг. *Вестник южного научного центра РАН*. 2012. Т.8, № 12. С. 66—75.

35. ISO 19906:2010. Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures. Geneva, 2010. 474p.
36. Букатов А. Е., Завьялов Д. Д., Соломаха Т. А. Динамика Азовского моря в ледовых условиях. *Сучасні підходи дослідження морського середовища. Геоінформатика*. 2010. №2. С. 55—60.
37. Букатов А. А. Оценка времени замерзания Азовского моря. *Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы азово-черноморского региона: Материалы VIII международной конференции*. ЮГНИРО. (Керчь, 26—27 июня 2013). Керчь, 2013. С.15—20.
38. Еремеев В. Н., Иванов В. А., Ильин Ю. П. Океанографические условия и экологические проблемы керченского пролива. *Морський екологічний журнал*. 2010. №3, Т.ІІ. С. 27—40.
39. Азовское море. 2014. URL: <http://www.azovskoe.com/azovskoe.php> (дата обращения 17.04.2014).
40. Гидрометеорологический очерк. 2014. URL: <http://katamaran.ru/maps/azov/2.htm> (дата обращения 17.04.2014).
41. Федоренко А. В. Особенности ледового сезона 2007—2008 гг. на Азовском море. *Труды Гидрометцентра России*. 2009. Вып. 343. С. 88—99.
42. Морские нефтегазодобывающие платформы: история, современность, перспективы. Аналитический обзор. СПб: ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2016. 352с.
43. Самоподъемные плавучие буровые платформы: история, современность, перспективы. Аналитический обзор. СПб: ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2013. 208с.
44. Агагусейнов Ю. А., Вишневская Э. Л., Кулиев И. П. Самоподъемные плавучие буровые установки. М.: Недра. 1979. 215с.
45. Лобанов В. А. Справочник по технике освоения шельфа. Л.: Судостроение. 1983. 288с., ил.

46. Arctic Offshore Technology Assessment of Exploration and Production Options for Cold Regions of the US Outer Continental Shelf. *IMVPA Project No. C-0506-15*. 2008. 339p.

47. Таровик В. И., Вальдман Н. А., Вербицкий С. В., Зимин А. Д., Обидин Ю. И. Инновационные решения в проектах шельфовой техники. *Международный Форум «Морская Индустрия России»*. (Нижний Новгород, 23—25 мая, 2012). Нижний Новгород, 2012. С. 1—10.

48. Афанасьев В.П. Оценка расчетной толщины напластованого льда. *Метеорология и гидрология*. 1979. Вып. №10. С.88-92.

49. Коротаев Г. К. Оперативная океанография Черного моря: состояние и перспективы. *Современные состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России*. 2014. С.19—20.

50. Гармашов А. В., Коровушкин А. И., Полонский А. Б., Толокнов Ю. Н. Гидрометеорологические условия на Черноморском подспутниковом полигоне. *Современные состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России*. 2014. С.133—135.

51. Щурова Е. С. Анализ ледового режима залива Сиваш по спутниковым данным. *Современные состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России*. 2014. С.148—151.

52. Тренина И. С. Космический мониторинг ледяного покрова для оперативного картирования и долговременных исследований. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2004. В.1., Т.1. С. 303—316.

53. Кузмичёва Т. Ф. Анализ современного состояния Аральского моря в зимний период с помощью снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA приборами MODIS D 2008-2014. *Современные состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала юга России*. 2014. С.159—161.

54. Асмус В. В., Кровотынцев В. А., Милехин О. Е., Соловьев В. И., Успенский А. Б. Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач

гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. *Вопросы электромеханики*. 2008. Т.105. С.6—16.

55. Бурда Н. Ю., Лобанов В. А., Усачёв В. Ф. Дистанционные средства слежения за наводнениями и географические информационные системы. *Материалы международной конференции «Интеркарто-4»*. (Барнаул, 1—4 июля, 1998). Барнаул, 1998. С. 527—533.

56. Топольский Н. Г., Симаков В. В., Зеркаль А. Д., Серегин Г. М., Мокшанцев А. В., Агеев С. В. Многофункциональный портативный радар для измерения толщины льда. Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2012 г. Вып. № 1 (41). С. 1—5.

57. Бушуев А. В., Лошилов В. С., Григорьев А. В., Буланов С. Н., Смирнов В. Г., Щербаков Ю. А. Развитие методики и алгоритма классификации морских льдов по толщине на спутниковых инфракрасных (ИК) изображениях. *Сб. науч. стат. Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2009 г. Вып. №6, Т.1. С.327—338.

58. Абузьяров З. К. Думанская И. О., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание. М.; Обнинск: «ИГ–СОЦИН». 2009. 228с., ил.

59. Боровская Р. В. О возможности использования спутниковой информации в исследовании Азово-Черноморского бассейна. *Сб. науч. тр. ЮЗНИРО*. 2008. Т.46. С.138—144.

60. Державне космічне агентство України. Київ, 2017. URL: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalognew.nsf/mainU/359DFEFAD3B756F7C2257E66002A1265?OpenDocument&Lang=U> (дата обращения 28.04.2017).

61. Hebb D. The Organization of Behavior. New York: Taylor and Francis 1949. 378p.

62. McCulloch W., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1943. V.7. pp. 115—133.

63. Борисов В. В., Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.

64. Васильев В. И. Распознающие системы. Киев: Наукова думка, 1988. 422 с.
65. Caudill M. *Neural Networks Prime*. CA: Miller Freeman Publications, 1989. 352p.
66. Domany E., J. L. van Hemmen, Schulten K. *Models of Neural Networks*. NY: Springer-Verlag, 1995. 371p.
67. Scott JR. A sea spectrum for model test and long-term ship prediction. *J Ship Res*. 1965. Vol.9. P.145—152.
68. Deo MC., Narasimhan S. Spectral analysis of waves – a study. In: *Proceedings of the ASCE conference on civil engineering in ocean-IV*: (San Fransisco, 1979). San Fransisco, 1979. Vol. 2. P. 877—892.
69. Hamilton J., Blunt J., Mitchell D., and Kokkinis T. Ice Management for Support of Arctic Floating Operations. *Arctic Tehcnology Conference OTC paper*. (Houston, 7—9 Feb. 2011). Houston, 2011. P. 615—626.
70. Galushkin A.I. *Neural Networks Theory*. Berlin, 2007. 402 p.
71. Coolen A.C.C., Kühn R., Sollich P. *Theory of Neural Information Processing Systems*. Oxford University Press. 2006. 586p.
72. Hong Lin, Yang Lei. A hybrid neural network model for sea ice thickness forecasting. *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 375. P. 450—458.
73. Gallant S. *Neural Network Learning and Expert Systems* / S. Gallant – Loindon, 1993. 371p.
74. Moller M. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning, *Neural Networks*. Pergamon Press Ltd. 1993. Vol. 6, № 4. P. 525—533.
75. Moller M. Efficient Training of Feed-Forward Neural Networks. Ph.D. Thesis, Daimi PB-464, Computer Science Department / Aarhus University. Aarhus, 1993.
76. Беккер А. Т., Симаков Г. В., Марченко Д.В. Проблемы проектирования и строительства гидротехнических сооружений на континентальном шельфе. *Проблемы научных исследований в области изучения и освоения Мирового океана*. Владивосток, 1983. С. 90—93.

77. Беккер А. Т., Перепелица А. Н., Черевач В. Д. Проблемы использования СПБУ для работы в ледовых условиях. *Компл. освоение нефтегаз. ресурсов континент. шельфа СССР*. Владивосток, 1986. С. 30—38.

78. Беккер А. Т. Проблемы проектирования нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений для условий шельфа о. Сахалин. *Всесоюз. конф.: Комплексное освоение нефтегазовых ресурсов континентального шельфа СССР*. Владивосток, 1986. С. 65—71.

79. Беккер А. Т. Воздействие дрейфующих торосистых образований льда на морское дно. *Материалы конф. и совещ. по гидротехнике, ВНИИГ*. Ленинград, 1988. С.98—107.

80. Беккер А. Т. Оградительные сооружения морских портов: Учеб. Пособие. Владивосток, 1995. 400 с.

81. Bekker A. T. Croasdale K. R., Truskov P. A. Ice load on fixed and floating structure. *Proc. Sea Ice Mechanics and Arctic Modeling Workshop*. 1995. V.2. P.60—78.

82. Кушнир В. М., Душко В. Р., Федоров С. В. Воздействие морской среды на системы освоения шельфа. Севастополь, 2009. 303с.

83. Eranti Esa. Dinamic ice structure interection. Theory and applications. Espoo, 1992. 82 p.

84. Hirdaris S.E., Bai W., Dessi D., Ergin A., Gue X., Hermundstad O.A., Huijsmansg R., Iijima K., Nielsen U.D., Parunov J., Fonseca N., Papanikolaou A., Argyriadism K., Incecik A.. Loads for use in the design of ships and offshore structures. *Ocean Engineering*. 2014. Vol. 78. P.131–174

85. Løset S., Shkhinek K. N., Gudmestad O. T., Høyland K. V. Actions from Ice on Arctic Offshore and Coastal Structures. St. Petersburg, 2006. 250p.

86. ANSI/API recommended practice 2N (third edition). Planning Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions. Washington, DC, 2015. 472p.

87. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. СПб, 2014. 483с.

88. Ralston T.D. Plastic limit analysis of sheet ice loads on conical structures. In TRYDE, P. (ed.), *Physics and Mechanics of Ice, International Union of Theoretical & Applied Mechanics, Symp.* Copenhagen, 1979. P. 289-308.

89. Croasdale K.R. Ice forces on fixed, rigid structures. *A State-of-the-Art Report, Int. Association for Hydraulic Research, Section on ice problems: In CRREL Special Report 80-26, Working Group on ice forces on structures.* Hanover, 1980. – pp. 34—103.

90. Croasdale K. R., Cammaert A. B., Metge M. A. Method for the Calculation of Sheet Ice Loads on Sloping Structures. *Proc. IAHR 12th Int. Symp. on Ice, Norwegian Institute of Technology.* (Trondheim, 23—26 Aug.1994). Trondheim, 1994. Vol. 2. P. 874—875.

91. Ralston. T. D. Ice Force Design Considerations For Conical Offshore Structures. *International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions.* (Newfoundland, 26—30 Sept. 1977). Newfoundland, 1977. Vol. II. P. 741–752.

92. Лосет С., Шхинек К. Н., Гуместада О., Хойланд К. Воздействие льда на морские береговые сооружения. СПб, 2010. 272с.

93. Уварова Т.Э., Помников Е.Е. Учет плано-высотной изменчивости истирающего воздействия ледяного покрова на морские инженерные сооружения. *Вестник МГСУ: Проектирование и конструирование строительных систем. Проблемы механики в строительстве.* 2012. Вып. №1. С. 46—50.

94. Уварова Т.Э. Многоцикловое воздействие дрейфующего ледяного покрова на сооружение континентального шельфа. *Вестник МГСУ: Проектирование и конструирование строительных систем. Проблемы механики в строительстве.* 2012. Вып. №1. С. 41—45.

95. Croasdale K., Cammaert A. An Improved Method for the Calculation of Ice Loads on Sloping Structures in First-year Ice. *Hydrotechnical Construction*. 1994. Vol. 28.No. 3. P. 161—168.

96. Goldstein R. V., Onishchenko D. A., Denisov V. V., Shatinsky D. L. Refined bending failure model for level ice acting on an inclined obstacle. *Proc. 18th POAC*. (Potsdam, 26—30 June, 2005). Vol. 1. P. 199—212.

97. Sodhi D.S., Harnza F. Buckling Analysis Of A Semi-infinite Ice Sheet. *Proceedings of the POAC Conference*. (Newfoundland, 26—30 Sept. 1977) Newfoundland, 1977. Vol. VI. P. 651—665.

98. Nevel D.E. Ice Force on Cones from Floes. *Proceeding of the IAHR Symposium of Ice*. (Banff, 15—19 June, 1992). Banff, 1992. P. 1391—1404.

99. Brown T. G., Määttänem M. Comparison of Kemi I and Confederation bridge cone ice loads measurment results. *Proceedings of the IAHR Conference*. (Singapore, 6—8 Aug. 2002). Singapore, 2002. P. 503—512.

100. Определение глобальных ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу (ЛСП) на базе БПНК «Шельф-7» на основе модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне: Научно технический отчет ФГУП ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова; рук. Карулина М. М. СПб., 2005. 75с. № Д 114-54.

101. Беккер А.Т. Вероятностные характеристики ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа. Владивосток, 2004. 346с.

102. Кушнир В.М. Оптимизация конструктивных параметров ледостойких буровых платформ для Азовского моря. «*Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа*»: Сб. науч. Трудов. 2002 г. С. 254 – 256.

103. Анализ и обоснование оптимальных характеристик буровых платформ и магистральных трубопроводов в шельфовых зонах азово-черноморского бассейна: отчет по разделу проекта «Ресурсы шельфа» целевой научной программы «Научные основы наращивания минерально-

сырьевой базы Украины». Морской гидрофизический институт НАН Украины; рук. В. М. Кушнир. Севастополь, 2002. 96с. № ГР 0102U001482.

ДОДАТОК А

Загальний вигляд платформ ЛСП-1 та СМОЛП

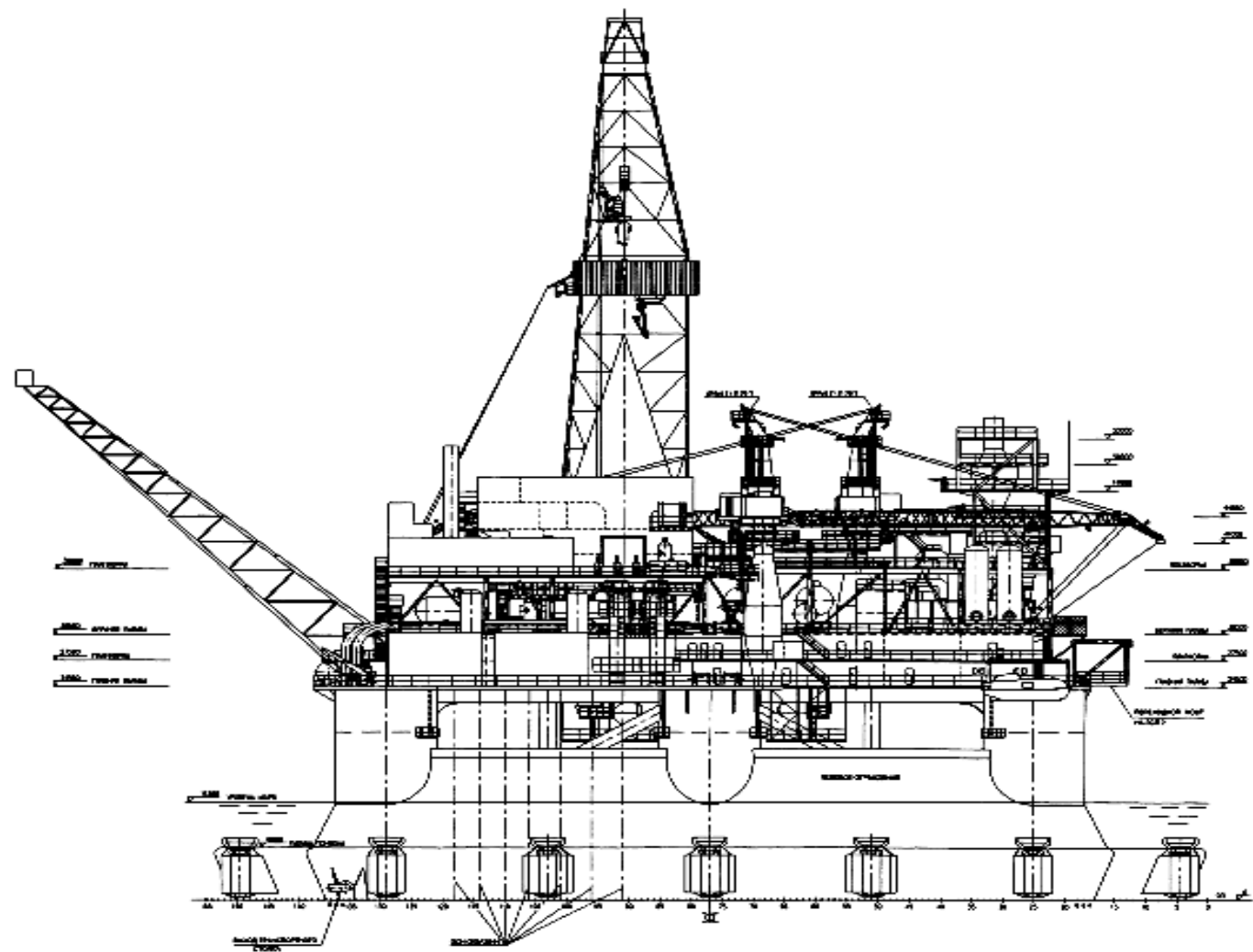


Рисунок А.1 — Загальний вид платформи ЛСП-1

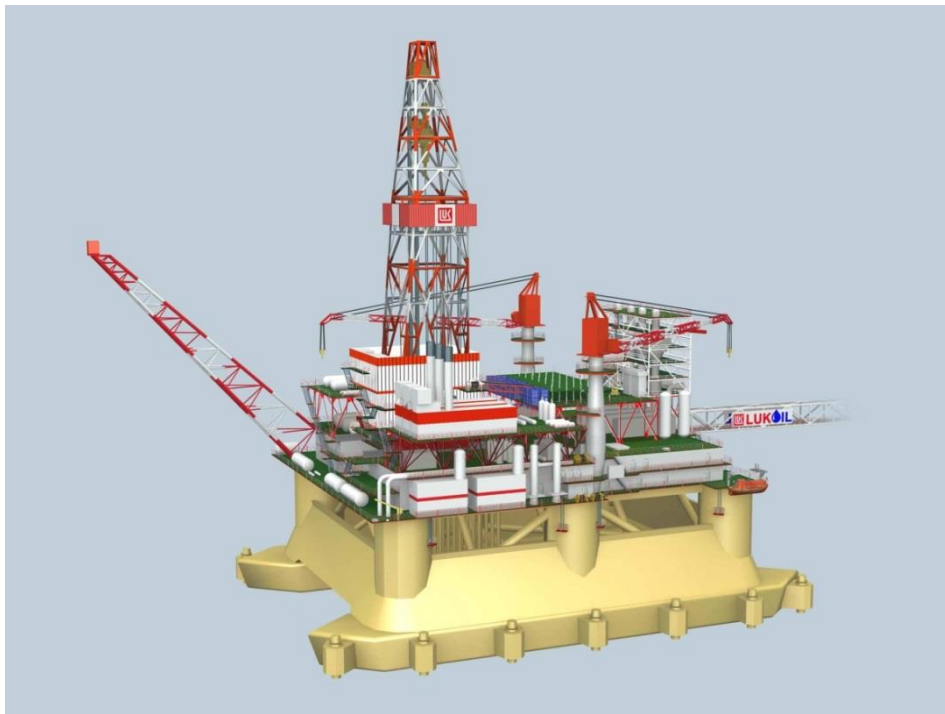


Рисунок А.2 — Комп'ютерна модель платформи ЛСП-1

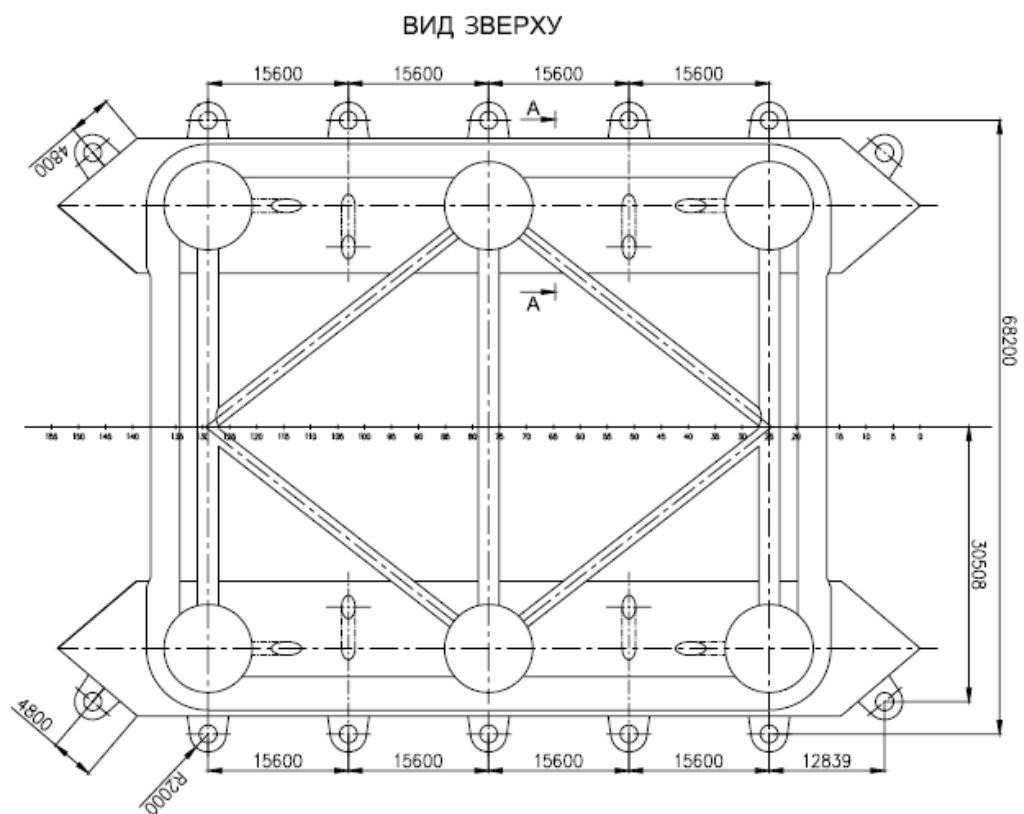


Рисунок А.3 — Конструктивна схема опорної основи ЛСП-1 з льодовим захистом

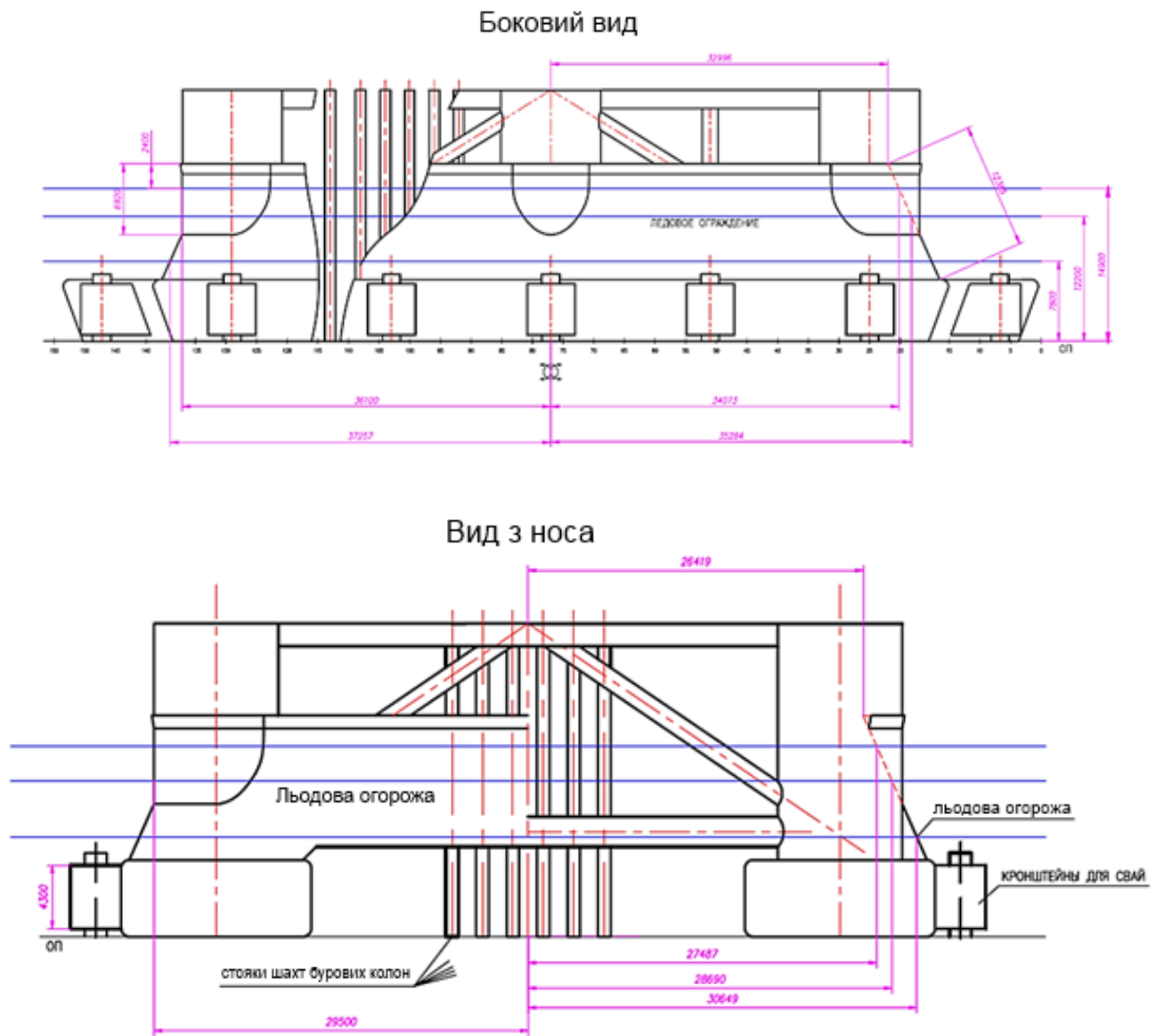


Рисунок А.4 — Загальний вид основи ЛСП-1

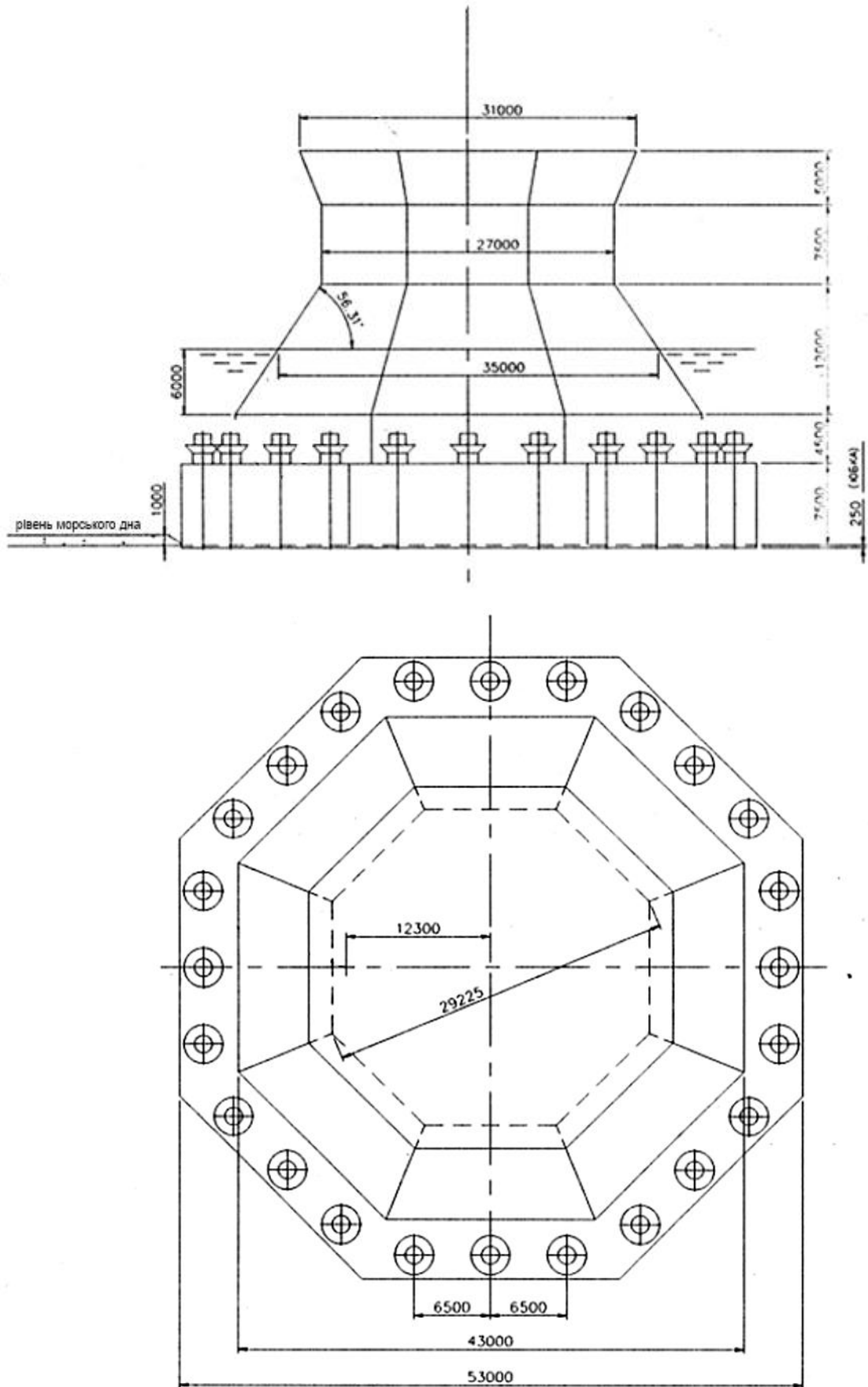


Рисунок А.5 — Загальний вигляд основи СМОЛП



Рисунок А.6 — Видяд основи СМОЛП

ДОДАТОК Б

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

«За тверджую»



Проректор з НІПР ОНМУ

Проф. Марков В.В.

01. 11. 2017р.

АКТ

Про впровадження результатів дисертаційної роботи

Заєць Анастасії Юріївни

«Вдосконалення методики розрахунку льодових навантажень на океано технічні споруди для Азово-Чорноморського басейну» в навчальний процес

Одеського національного морського університету

Теоретичні результати дисертаційної роботи асистента кафедри Теорії та проектування корабля ім. проф.Ю.Л. Воробйова А.Ю. Заєць впроваджені в навчальний процес на кафедрі «КТПК ім. проф.Ю.Л. Воробйова» Факультету суднобудування, інформаційних технологій і системи техніки ОНМУ, а саме:

- 1) Результат аналізу особливостей видобутку вуглеводневої сировини в Азово-Чорноморському басейні.

Враховані проблеми функціонування і проектування з урахуванням особливостей льодової обстановки, моніторингу та фізичних властивостей льоду.

- 2) Наукові основи визначення льодового навантаження на океано технічні споруди для Азово-Чорноморського басейну.

Для вирішення проблеми врахування реальних зовнішніх впливів на океано технічні споруди в Азово-Чорноморському басейні була розроблена методика визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейна. В навчальний процес впроваджені отримана методика для визначення льодових навантажень на океано технічні споруди та програмний комплекс «IceLoads v.1», що реалізує розроблену методику.

3) Наукові основи визначення оптимальних конструктивних параметрів льодостійкої стаціонарної платформи для Азовського моря на початкових стадіях проектування.

В навчальний процес впроваджені оцінки і співвідношення, що дозволяють в загальному вигляді обчислити залежності максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на ЛСП в залежності від кута нахилу грані споруди до горизонту.

Наведені вище результати дисертаційного дослідження А.Ю. Заєць впроваджені у навчальний процес на Факультеті суднобудування, інформаційних технологій і систем техніки ОНМУ при вивченні навчальних дисциплін «Засоби освоєння океану» та «Проектування спеціалізованих суден і морських плавучих споруд» за напрямком підготовки 135 Суднобудування, а також в науково-дослідницьких роботах студентів.

Результати впровадження дисертаційної роботи дозволили вдосконалити методологічну базу кафедри «КТПК ім. проф. Ю.Л. Воробйова» та навчальний процес за рахунок використання нових актуальних даних.

Декан ФСТіС ОНМУ,
к. т. н., професор



О.Б. Ляшенко

Завідувач кафедри
«КТПК ім. проф. Ю.Л. Воробйова»
к. т. н., доцент



О.В. Демідюк

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної роботи
та міжнародної інтеграції

Національного університету

кораблебудування

імені адмірала Макарова

к.т.н. Рижков О.С.

«03» листопада 2017 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Заєць Анастасії Юріївни

«Вдосконалення методики розрахунку льодових навантажень на
океанотехнічні споруди для Азово-Чорноморського басейну»

в навчальний процес Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Однією з найбільш значущих і гострих проблем сучасної світової цивілізації є швидке зростання споживання основних енергоносіїв (нафти, газу, газового конденсату), яке значно випереджає темпи їх видобутку. Здобуття енергетичної незалежності нашої країни потребує суттєвого зростання видобутку нафти і газу, в першу чергу для збільшення виробництва електроенергії і тепла. Вирішення цієї важливої народногосподарської задачі неможливе без освоєння родовищ на континентальному шельфі Азово-Чорноморського басейну. Облаштування морських родовищ вуглеводнів пов'язано з конструюванням і будівництвом океанотехнічних систем різних типів. Метою дисертаційної роботи Заєць Анастасії Юріївни є удосконалення проектування на початковій стадії океанотехнічних споруд з урахуванням особливостей льодового режиму в Азово-Чорноморському басейні та на основі нейромережевого прогнозування товщини льодових утворень.

Наступні теоретичні результати дисертаційної роботи А.Ю. Заєць впроваджено в навчальний процес Кораблебудівного навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова:

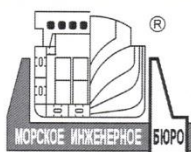
- 1) Результат аналізу особливостей видобутку вуглеводневої сировини в Азово-Чорноморському басейні.
Враховані проблеми функціонування і проектування з урахуванням особливостей льодової обстановки, моніторингу та урахуванням фізичних властивостей льоду.
- 2) Наукові основи визначення льодового навантаження на океанотехнічні споруди для Азово-Чорноморського басейну.
Для вирішення проблеми врахування реальних зовнішніх впливів на океанотехнічні споруди в Азово-Чорноморському басейні була розроблена методика визначення льодового навантаження на підставі нейромережових технологій, з урахуванням багаторічних реальних статистичних даних Азово-Чорноморського басейна. У навчальний процес впроваджена отримана методика для визначення льодових навантажень на океанотехнічні споруди та програмний комплекс «Ice Loads v.1», що реалізує розроблену методику.
- 3) Наукові основи визначення оптимальних конструктивних параметрів льодостійкої стаціонарної платформи для Азовського моря на початкових стадіях проектування.
У навчальний процес впроваджені оцінки і співвідношення, які дозволяють в загальному вигляді розраховувати значення максимальних величин льодового і вітро-хвильового навантажень на ЛСП в залежності від кута нахилу грані споруди до горизонту.

Наведені вище результати дисертаційного дослідження А.Ю. Заєць впроваджені у навчальний процес кафедри «Теорії та проектування суден» Кораблебудівного навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова при вивченні навчальних дисциплін «Основи проектування суден та технічних засобів освоєння океану (ТЗОО)», «Спеціальні питання проектування суден та ТЗОО» за спеціальністю «135 Суднобудування».

Результати впровадження дисертаційної роботи дозволили вдосконалити методологічну базу кафедри «Теорії та проектування суден» та навчальний процес Кораблебудівного навчально-наукового інституту за рахунок використання нових актуальних даних.

Завідувач кафедри Теорії та проектування суден,
д.т.н., професор

 В.О. Некрасов

	Морское Инженерное Бюро Marine Engineering Bureau	
МОРСКОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ БЮРО	ул. Тенистая, 15, г. Одесса, Украина, 65009 тел: +38 (048)2 347928, факс +38 (048)2 356005 E-mail: office@meb.com.ua	15, Tenistaya str., Odessa, Ukraine, 65009 Phone: +38 (048)2 347928, Fax +38 (048)2 356005 E-mail: office@meb.com.ua

Исх.№8/06 от 06.11.2017

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
Морского Инженерного Бюро
д.т.н., профессор

 **Г.В. Егоров**


А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 – конструирование и постройка судов А.Ю. Заец «Совершенствование методики расчета ледовых нагрузок на океанотехнические сооружения для Азово-Черноморского бассейна».

Комиссия в составе первого заместителя генерального директора Морского Инженерного Бюро, главного конструктора Ильницкого Игоря Анатольевича, руководителя прочностной группы Бутенко Натальи Федоровны, старшего научного сотрудника, к.т.н. Егорова Александра Геннадьевича составили настоящий акт о том, что результаты кандидатской диссертации А.Ю. Заец «Совершенствование методики расчета ледовых нагрузок на океанотехнические сооружения для Азово-Черноморского бассейна» были использованы в работах Морского Инженерного Бюро, а именно:

- методика определения ледовой нагрузки на океанотехнические сооружения с использованием нейросетевого прогнозирования толщины ледовых образований.

Данные результаты позволили улучшить качество выполняемых проектных работ, включая этапы предэскизной проработки и технико-экономических обоснований.

Первый заместитель генерального директора,
Главный конструктор

 **И.А. Ильницкий**

Руководитель группы прочности

 **Н.Ф. Бутенко**

Старший научный сотрудник, к.т.н.

 **А.Г. Егоров**

ДОДАТОК В

Список публікацій за темою дисертації

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких викладено основні наукові результати дисертації

1. Лопатнева А.Ю. Использование спутниковой информации при автоматизации процессов расчета ледовых нагрузок. *Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління*. 2014. Вып. 146. С.118—121.
2. Душко В. Р., Лопатнёва 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. Вып. 15. С. 228—233.
4. Заец А.Ю. Особенности проектирования МСПБУ для условий Азово-Черноморского бассейна. *Вісник ОНМУ*. 2015. Вып. 3 (45). С.207—210.
5. Заец А.Ю. Determining optimal parameters of a neural network for sea ice thickness prediction. *Вісник ОНМУ*. 2015. Вып. 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. Вып. 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. .[входить до науково-метричної бази Scopus]

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Душко В.Р. Лопатнёва А. Ю., Шоларь С. А. Влияние скорости движения ледовых полей на конструкции буровых платформ конической формы. *Матеріали VII Всеукраїн. наук.–техн. конф. молодих вчених і*

студентів. (Севастополь, 5–7 декабря 2012 г.). Севастополь: СевНТУ, 2012. С.216—220.

Дата проведення конференції 5.12.2012 – 7.12.2012. – форма участі доповідач.

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.

Дата проведення конференції 22.05.2012 – 24.05.2012. – форма участі доповідач.

10. Лопатнёва 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 2013р.). Севастополь: СевНТУ, 2013. С. 32—34.

Дата проведення конференції 25.09.2013 – 27.09.2013. – форма участі доповідач.

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, 2014г.). Севастополь: СевНТУ, 2014. С.145—150.

Дата проведення конференції 23.09.2014 – 27.09.2014. – форма участі доповідач.

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.

Дата проведення конференції 20.06.2015 – 22.06.2015. – форма участі доповідач.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

13. Заец А. Ю. Крамарь В. А. Гарантоспособность океанотехнических систем. *Науков-технічний журнал Радіоелектронні 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 нагрузок на океанотехнические сооружения. *Всероссийская конференция «Полярная механика»*. (Санкт-Петербург, 3 – 5 июня, 2014 г.). Санкт-Петербург: Крыловский государственный научный центр, 2014. С.22.

Дата проведення конференції 3.06.2014 – 05.06.2014. – форма участі доповідач.

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

Дата проведення конференції 24.09.2014 – 26.09.2014. – форма участі доповідач.