

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВОЛЕНЮК ЛЮДМИЛА СЕРГІЇВНА

УДК629.5.081.532

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПУСКУ СУДЕН
З ПОХИЛИХ ПОЗДОВЖНИХ СТАПЕЛІВ**

Спеціальність 05.08.03 – Конструювання та будування суден

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

Л.С. Воленюк

Науковий керівник Рашковський Олександр Саулович, доктор технічних наук, професор

Миколаїв 2018

АНОТАЦІЯ

Воленюк Л.С. Удосконалення технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.08.03 «Конструювання та будування суден». - Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2018.

В дисертаційному дослідженні представлено удосконалення технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів за рахунок реновації та заміни традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

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 на основі огляду вітчизняних і закордонних літературних джерел виконано аналіз стану і виявлені основні проблеми спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів. Досліджена історія розвитку та використання цього спуску. Представлені основні конструктивні елементи традиційного похилого стапеля й спускових пристроїв. Також досліджені переваги та недоліки відомих методів удосконалення спускових пристроїв.

Проведено дослідження інноваційного способу спуску суден – на пневматичних балонах. Для спуску суден на пневматичних балонах необхідно створити плоску похилу поверхню поздовжнього стапеля, яка може бути виконана з крупного піску, дрібного гравію, бетону, металу, дерева та інших матеріалів. Застосування такої технології не вимагає великих витрат на обладнання, дозволяє економити час і кошти на будівництві суден і ремонті будівельних місць, але неможливо використовувати на існуючих стапелях.

Даний спосіб застосовується на деяких закордонних суднобудівних заводах, але в літературі відсутні матеріали з його теоретичного обґрунтування та розрахунку.

Також в першому розділі розглянуто основні задачі розрахунку спуску суден з похилих поздовжніх стапелів, які необхідно розв'язати для спуску на пневматичних балонах: можливість перекидання або спливання, зіскоку зі стапеля, удару судна об стапель або ґрунт, величину баксового тиску. Обрано основні напрямки дослідження та поставлено основні задачі дисертаційної роботи. Обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, показано його важливість і актуальність, а також відповідність спеціальності 05.08.03 «Конструювання та будування суден». Визначені основні методи дослідження.

У другому розділі проведено дослідження з реновації існуючих поздовжніх стапелів. На прикладі суднобудівних заводів м. Миколаїв: ПАТ «Чорноморського суднобудівного заводу» і Державного підприємства імені 61 комунара, на яких для спуску суден використовуються похилі поздовжні стапелі, проведено аналіз гідрогеологічних і конструктивних характеристик стапелів. Виявлено основні пошкодження стапелів: дерев'яне покриття спускових доріжок знаходиться у незадовільному стані і потребує заміни, підводна частина стапельних доріжок, включно поріг, вимагає 100% заміни через тривалий термін експлуатації та знаходження під водою.

Вперше розроблено ефективний метод реновації похилого поздовжнього стапеля без його руйнування - створення плоскої поверхні, що дає можливість спускати судна на пневматичних балонах. Плоска поверхня створюється за рахунок використання металевих або залізобетонних проставок, якими заповнюється простір між спусковими доріжками. На основі проведеного техніко-економічного аналізу обрані конструкції металевих та залізобетонних проставок.

Розглянуто декілька типових металевих конструкцій, аналогічних конструкціям корпусу судна, які можливо виготовити на обладнанні суднобудівного заводу. Для перевірки міцності металевих конструкцій

використовувався програмний комплекс SolidWorks / CosmosWorks «Інженерний аналіз методом скінченних елементів».

Вибір конструкції металевих проставок проводився методом аналізу ієрархій за наступними критеріями: стійкість, трудомісткість, металоємність, технологічність. Метод полягає в декомпозиції задачі на більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності суджень, згідно парних порівнянь.

За результатами дослідження, найбільш оптимальною є конструкція, яка складається з полотнища, підкріпленого зварним повздовжнім тавровим набором. Дана форма перерізу перевершує інші в 1,1 ... 1,5 рази.

Також, розглянуто три типові залізобетонні конструкції. Проведено комплексний аналіз за наступними критеріями: технологічність процесу виготовлення, витрати матеріалу, міцність, трудомісткість та собівартість. Виявлено, що найбільш прийнятною є плита, армовану каркасом і сіткою, оскільки її проста форма спрощує технологічний процес і здешевлює собівартість виготовлення, так як не вимагає складних форм і оснастки. Проставки обраного типу є типовими для підприємств, які спеціалізуються на виготовленні залізобетонних конструкцій.

Перевірки міцності залізобетонних конструкцій проводилась у розрахунково-конструкторській системі SCAD, яка використовує метод скінченних елементів (програмне додаток АРБАТ).

У *третьому* розділі, досліджено процес спуску судна на пневматичних балонах. **Вперше** досліджено поведінку системи судно - пневматичні балони в процесі спуску судна на воду та розроблена математична модель спуску судна на воду з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах.

Для дослідження спуску судна на пневматичних балонах у першому наближенні використовувався метод аналогії, в основі якого лежить статичний розрахунок спуску судна на традиційних спускових пристроях. При статичному розрахунку передбачається, що судно переміщується по спускових доріжках з нескінченно малою швидкістю і, отже, гідродинамічні сили нескінченно малі.

Спуск судна з похилого поздовжнього стапеля умовно можна поділити на 4 періоди. Найбільш небезпечним є кінець другого періоду і початок третього, коли починається поворот судна навколо горизонтальної осі. При нормальному спуску (без перекидання) судно поступово спливає. Якщо спуск відбувається з перекиданням, тоді перед спливанням відбувається обертальний рух навколо порога стапеля.

Основне завдання статичного дослідження - встановити положення судна, при якому виникає кутове переміщення (перекидання або спливання) і величину баксового тиску.

Проведено статистичне дослідження спуску суден з поздовжніх похилих стапелів на традиційних спускових пристроях і на пневматичних балонах. Наведено розрахунок спуску танкера довжиною 174,6 м (вага судна 12035 т) зі стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу та рефрижератора типу «Бухта русская» довжиною 133,95 м (вага судна 4850 т) зі стапеля «III» Державного суднобудівного заводу імені 61 комунара. Побудовані англійські діаграми спуску.

Порівняльний аналіз показав, що при спуску судна на пневматичних балонах спливання настає раніше, та додаткова плавучість створює додатковий баксовий тиск. Але баксовий тиск, на відміну від традиційних носових копилів, сприймається більшою площею та не перевищує розрахункових навантажень на корпус. За проведенням розрахунком спуску обраних суден перекидання та стрибок відсутні.

Також, у першому розділі **вперше** створена і апробована математична модель руху твердого тіла на пружних опорах у вигляді рівнянь механіки руху твердих тіл в квазістатичному наближенні, яка дозволяє встановити положення судна та навантаження в розрахунковий момент часу з урахуванням зміни положення судна (вертикальне та кутове переміщення) під час спуску.

На основі отриманої, у другому наближенні, математичної моделі проведені розрахунки спуску суден та виявлено такі закономірності: положення максимального значення реакцій стабільно протягом спуску, зменшення ширина

зіткнення між балоном і днищем судна (звуження суду) істотно зменшує реакції; максимальні реакції, протягом спуску, змінюються на 15...20%.

Проведено дослідження по оптимізації вибору пневматичних балонів та виявлено, що максимальний діаметр балонів і мінімальна відстань між ними забезпечують максимально безпечне положення судна.

На основі проведених досліджень **удосконалена технологія** спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів за рахунок застосування пневматичних балонів.

В *четвертому* розділі проведено техніко-економічне обґрунтування реновації похилого поздовжнього стапеля, порівняльний аналіз вартості спуску судна на традиційних спускових пристроях та на пневматичних балонах.

Отримав подальший розвиток техніко-економічний аналіз спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів. Проведено порівняння вартості ремонту похилого поздовжнього стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу і реновації його для спуску на пневматичних балонах. За отриманими даними створення плоскій поверхні стапеля для спуску судна на пневматичних балонах в 2,5...3,6 рази дешевше ніж ремонт.

Для проведення порівняльного аналізу вартості спуску судна розрахована вартість спуску на традиційному спусковому пристрої за даними Чорноморського суднобудівного заводу та орієнтовна вартість спуску на пневматичних балонах.

Застосування пневматичних балонів для спуску суден з поздовжніх стапелів дає економію коштів в 1,64 рази при одноразовому використанні балонів, та 4,2 рази за рахунок багатократного їх використання без додаткових витрат.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в теоретичному розв'язанні задачі спуску суден з існуючих похилих поздовжніх стапелів шляхом їх реновації та заміни традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони.

У результаті дослідження:

- на основі техніко-економічного аналізу металоємності, міцності та технологічності обрано раціональні конструкції металевих та залізобетонних проставок для створення плоскої поверхні стапеля;
- **вперше** створено та апробовано математичну модель руху твердого тіла на пружних опорах у вигляді рівнянь механіки руху твердих тіл у квазістатичному наближенні, яка дозволяє встановити положення судна та навантаження в розрахунковий момент часу;
- **вперше** досліджено та отримано нові кількісні і якісні характеристики поведінки системи «судно-балони» в процесі спуску судна на воду з похилого поздовжнього стапеля;
- **удосконалена технологію** спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів шляхом використання пневматичних балонів;
- **отримав подальший розвиток** техніко-економічний аналіз спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблений спосіб реновації існуючих поздовжніх стапелів дозволяє спускати судна з них на пневматичних балонах без руйнування стапельної плити шляхом заповнення простору між доріжками спеціальними міцними проставками.

Розроблений стандарт підприємства на спуск суден на пневматичних балонах з похилих поздовжніх стапелів може використовуватися в науково-дослідних і проектно-конструкторських організаціях, на суднобудівних і судноремонтних заводах України.

Результати проведених досліджень впроваджені в навчальний процес у кораблебудівному інституті НУК.

Ключові слова: спуск судна, похилий поздовжній стапель, проставки, пневматичні балони, статичний розрахунок спуску судна.

Основні наукові результати дисертації опубліковано в наукових спеціалізованих виданнях:

1. Смирнова Л. С., Рашковський О. С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Електронне видання. Вісник НУК, №1. – Миколаїв: НУК, 2012.– URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.

2. Смирнова Л. С., Рашковский А. С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах. Збірник наукових праць НУК, № 1. – Миколаїв: НУК, 2013. С. 11 – 15.

3. Воленюк Л. С. Статическое исследование спуска судна на пневматических баллонах. Вестник СевНТУ, серия «Механика, энергетика, экология». Выпуск 147. – Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 109 –114.

4. Воленюк Л. С. Исследование спуска судов на воду с помощью пневматических баллонов. International journal MOTROL «Commission of Motorization and Energetic in Agriculture», vol. 16, № 2. – Lubline- Rzeszow, 2014. С. 189 – 193. (НМБ Copernicus).

5. Воленюк Л. С., Рашковский А. С. Инновации в строительстве судов и средств океанотехники. Научное обозрение. Технические науки, № 5. – Пенза: Академия естествознания, 2016. С. 92 – 102.

6. Voleniuk L. S., Rashkovskyi A. S. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. Journal: International Shipbuilding Progress, vol. 64, no. 1-2.– Amsterdam The Netherlands, 2017. pp. 41 – 50. (НМБ Scopus)

Тези доповідей на науково-технічних конференціях:

7. Смирнова Л. С. Совершенствование спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева. Матеріали II міжнародної науково- технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 5-7 жовтня). Миколаїв: НУК, 2011. С. 50 – 51.

8. Смирнова Л.С. Совершенствование технологии спуска судов с продольных наклонных стапелей. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». (Миколаїв, 22-24 травня). Миколаїв: НУК, 2013. С. 274 – 275.

9. Смирнова Л. С., Фам Н. Б. Т., Дао Н. З. Перспективы совершенствования спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології – 2013» (Миколаїв, 24-26 вересня). Миколаїв: МНАУ, 2013. С.184 –187.

10. Воленюк Л.С. Анализ спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 9-11 жовтня). Миколаїв: НУК, 2013. С.62 – 64.

11. Воленюк Л.С. Методы статического исследования спуска судна с продольных наклонных стапелей. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 8-10 жовтня). Миколаїв: НУК, 2014. С. 46 – 48.

12. Воленюк Л.С. Исследование опрокидывания судна при спуске судна с продольного наклонного стапеля на пневматических баллонах. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». (Миколаїв, 19-20 травня). Миколаїв: НУК, 2016. С. 124 –127.

13. Воленюк Л. С. Применение инновационных способов спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 12-14 жовтня). Миколаїв: НУК, 2016. С.194 –196.

ABSTRACT

Voleniuk L.S. Improving the technology of ship launch from longitudinal inclined slipways. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences by the specialty 05.08.03 “Design and construction of ships”. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, 2018.

The dissertation study presents the improvement of the technology of ship launch from longitudinal inclined slipways due to replacement of traditional launching devices with air bags. The dissertation thesis consists of an introduction, four sections, conclusions, annexes and a list of references.

In the *introduction*, the relevance of the topic of the thesis is substantiated; its aim and objectives are formulated; the object and subject of the study are identified; the scientific novelty and practical value of the results are presented.

In the *first* section, based on the review of domestic and foreign literary sources, the analysis of the current state of the problem of ship launch from longitudinal inclined slipways is performed; its basic problems are specified. The history of development and use of this type of ship launch is studied. The main constructive elements of the traditional inclined slipway and launching devices are presented. The advantages and disadvantages of the known methods of the launching device improvement are also considered.

The innovative method of ship launch is studied, namely, the launch on air bags. For the ship launch on air bags, it is necessary to create a flat inclined surface of the longitudinal slipway, which can be made of coarse sand, fine gravel, concrete, metal, wood and other materials. The use of such technology does not require high expenses for equipment, allows saving time and money for construction of ships and repair of construction sites, but cannot be used on existing slipways.

This method is applied at some foreign shipbuilding plants, but there is no information on its theoretical justification and calculation in literary sources.

In addition, the first section considers the main problems of calculation of ship launch from longitudinal inclined slipways, which need to be addressed for the launch on air bags: the possibility of the ship's tipping over, floating up, going off the slipways, hitting the slipway or soil, as well as the value of the pivoting load. The main directions of the research are selected, and the main objectives of the dissertation are set. The choice of the topic of the dissertation research is substantiated, its importance and relevance are shown, as is its compliance with the specialty 05.08.03 "Design and construction of ships". The main research methods are specified.

The *second* section presents a study on renovation of existing longitudinal slipways. The analysis of hydro geological and structural characteristics of the slipways is carried out on the example of the shipbuilding plants of Mykolaiv, the Black Sea Shipbuilding Plant and the 61 Communard Plant, which use inclined longitudinal slipways for the ship launch.

The main types of deterioration of the slipways is identified: the wooden covering of the launching tracks is in a poor condition and requires replacement, while the underwater part of the slipway tracks including the threshold requires 100% replacement due to long-term operation and location under water.

For the first time ever, an effective method of renovation of the longitudinal inclined slipway without its destruction has been developed. It resides in creating a flat surface that enables ship launch on air bags. The flat surface is formed through the use of metal or concrete spacers filling the space between the launching tracks. Based on the technical and economic analysis, the designs of metal and reinforced concrete spacers have been selected.

Several typical metal structures similar to the ship hull structures are considered, as they can be manufactured with the help of the equipment available at the shipbuilding plant. To test the strength of the metal structures, the SolidWorks / CosmosWorks program complex "Engineering analysis with the finite elements method" is used.

The metal spacer design was selected by the hierarchy analysis method according to the following criteria: stability, labour intensity, metal content, and

technological effectiveness. The method involves decomposition of the problem into simpler components and further processing of the sequence of judgments by pairwise comparisons.

According to the results of the study, the most optimal is the design consisting of the sling supported with a welded longitudinal tee set. This sectional shape exceeds the other ones by 1.1...1.5 times.

Furthermore, three typical reinforced concrete structures are considered. A comprehensive analysis is conducted on the following criteria: technological effectiveness of the manufacturing process, material consumption, strength, labour intensity, and production cost. It is revealed that the most acceptable is a slab reinforced with a frame and a mesh. Its simple form makes the technological process easier and reduces the production cost, as it does not require complex molds and tools. The spacers of the selected type are typical for enterprises specializing in the manufacture of reinforced concrete structures.

Tests of durability of the concrete structures have been carried out in the calculation and design system SCAD, which employs the finite element method (the software application ARBAT).

The *third* section presents a study of the process of ship launch on air bags. For the first time ever, the behavior of the system “ship – air bags” in the process of ship launch has been studied, and a mathematical model of the ship launch from the inclined longitudinal slipway on air bags has been developed.

To study the ship launch on air bags in a first approximation, the analogy method was implemented. It is based on a static calculation of ship launch with the use of traditional launching devices. At a static calculation, it is assumed that the ship moves along the slipways with an infinitely small velocity, and thus the hydrodynamic forces are infinitely small.

The ship launch from a longitudinal inclined slipway can be roughly divided into 4 phases. The most dangerous are the end of the second phase and the beginning of the third one, when the ship starts rotating along a horizontal axis. In case of successful

launch (without tipping over), the ship floats gradually. If the ship tips over while being launched, rotational motion around the threshold occurs before floating.

The main objective of the static analysis is to determine the ship's position where the angular movement (tipping over or floating) occurs, as well as the value of the pivoting load.

A statistical study of the ship launch from longitudinal inclined slipways on traditional launching devices and on air bags is performed. There is presented a calculation of the launch of the tanker 174.6 m long (ship weight of 12035 tons) from the slipway "0" of the Black Sea Shipbuilding Plant and that of the ship of the refrigerator type "Bukhta Russkaya" 133.95 m long (ship weight 4850 tons) from the slipway "III" of the 61 Communard State Shipbuilding Plant. The English diagrams of the launch are plotted.

Comparative analysis has shown that during the ship launch on air bags, floating occurs earlier, and the extra buoyancy creates additional pivoting load. In contrast to traditional fore poppets, the pivoting load is perceived by a larger area and does not exceed the estimated load on the ship hull. According to the performed calculation of launch of the selected ships, there is no drop or tipping over.

In addition, the first section renders creation and testing of the first-ever mathematical model of the motion of a rigid body on elastic bearings in the form of equations of the mechanics of rigid body motion in a quasi-static approximation. The model allows establishing the ship's position and load at the specified moment of time, taking into account changes in the position (vertical and angular displacement) during the launch.

The mathematical model obtained in the second approximation has served as a basis for calculation of the ship launch. The following patterns have been revealed: the position of the maximum value of reactions remains stable during the launch, a reduced collision width between the air bag and the ship's bottom (ship narrowing) substantially diminishes the reactions; the maximum reactions alter by 15...20% during the launch.

The research on the optimization of the selection of air bags has been conducted. As it has shown, the maximum diameter of the air bags and the minimum distance between them provide the safest position of the ship.

Based on the research conducted, the technology of the ship launch from inclined longitudinal slipways has been improved through the use of air bags.

In the *fourth* section, a technical and economic substantiation of the renovation of the longitudinal inclined slipway is performed, and so is a comparative analysis of the costs of the ship launch on traditional launching devices and air bags.

A further development has been given to the technical and economic analysis of the ship launch from inclined longitudinal slipways. The costs of repair of the longitudinal inclined slipway “0” at the Black Sea Shipbuilding Plant and the costs of its renovation for launch on air bags have been compared. According to the obtained data, creation of a flat surface of the slipway for ship launch on air bags is by 2.5-3.6 times cheaper than the repair.

For a comparative analysis of the cost of the ship launch, the cost of the launch on a traditional launching device is calculated with the help of the data provided by the Black Sea Shipbuilding Plant. The cost of the launch on air bags is also estimated.

The use of air bags for the ship launch from longitudinal slipways results in cost savings by 1.64 times at a single use of the air bags and 4.2 times at their multiple use with no extra costs involved.

Scientific novelty of the obtained results resides in the theoretical solution to the problem of ship launch from available inclined longitudinal slipways through their renovation and replacement of traditional launching devices with air bags. The research results are as follows:

- the technical and economic analysis of specific amount of metal, strength and workability serves as a basis for selection of rational designs of metal and reinforced concrete spacers for the creation of a flat surface of the slipway;
- for the first time ever, there is developed and tested a mathematical model of the motion of a rigid body on elastic bearings in the form of equations of the mechanics of rigid body motion in a quasi-static approximation, which allows establishing the ship’s position and load at the specified moment of time;

- for the first time ever, the behavior of the system “ship – air bags” during ship launch from the longitudinal inclined slipway has been studied; its quantitative and qualitative characteristics have been obtained;
- the technology of the ship launch from inclined longitudinal slipways is enhanced by the use of air bags;
- a further development is given to the technical and economic analysis of the ship launch from inclined longitudinal slipways.

Practical importance of the results is as follows:

The developed method of renovation of existing inclined longitudinal slipways allows for the ship launch with the use of air bags without destroying the staple slab by filling the space between the tracks with special durable spacers.

The developed enterprise standard for the ship launch on air bags from inclined longitudinal slipways can be used at scientific and research institutions, design and engineering organizations, shipbuilding and ship repair plants of Ukraine.

The research results have been introduced into the educational process of the Shipbuilding Institute of NUOS.

Keywords: ship launch, inclined longitudinal slipway, spacers, air bags, statistical calculation of the ship launch.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	10
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМИ СПУСКУ СУДЕН НА ВОДУ З ПОХИЛИХ ПОЗДОВЖНІХ СТАПЕЛІВ.....	25
1.1 Стан і проблеми спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів	25
1.2 Задачі, що виникають при спуску суден з поздовжніх похилих стапелів ..	34
1.3 Постановка задачі дослідження	38
1.4 Обґрунтування теми дисертаційного дослідження	39
1.5 Основні методи та методики проведення дослідження	42
1.6 Висновки.....	43
РОЗДІЛ 2 РЕНОВАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ПОХИЛИХ ПОЗДОВЖНІХ СТАПЕЛІВ...	45
2.1 Загальні відомості	45
2.2 Гідрогеологічні та конструктивні характеристик стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод»	50
2.2.1 Гідрогеологічні умови розташування майданчика стапеля.....	50
2.2.2 Конструктивні особливості стапеля.....	50
2.3 Спосіб реновації похилого поздовжнього стапеля	55
2.4 Висновки	77
РОЗДІЛ 3 СПУСК СУДНА З ПОХИЛОГО ПОЗДОВЖНЬОГО СТАПЕЛЯ НА ПНЕВМАТИЧНИХ БАЛОНАХ	79
3.1 Загальні відомості та основні позначення	79
3.2 Спуск судна з існуючих похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах	81

3.2.1 Спуск танкера зі стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу у першому наближенні	81
3.2.2 Спуск рефрижератора зі стапеля «III» Державного підприємства «Суднобудівний завод імені 61 комунара»	98
3.3 Математична модель спуску судна на пневматичних балонах.....	105
3.3.1 Математична модель спуску судна у першому наближенні	105
3.3.2 Математична модель спуску судна на пневматичних балонах у другому наближенні	109
3.4 Висновки:	124
РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕНОВАЦІЇ СТАПЕЛЯ ТА СПУСКУ СУДЕН ТРАДИЦІЙНИМ МЕТОДОМ ТА НА ПНЕВМАТИЧНИХ БАЛОНАХ	126
4.1 Порівняльний аналіз вартості реновації стапеля для спуску суден традиційним методом та на пневматичних балонах	126
4.2 Порівняльний аналіз вартості спуску судна на традиційних спускових пристроях та на пневматичних балонах	136
4.3 Висновки	138
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
ДОДАТОК А Схема розташування опорних пристроїв. Результати розрахунку на міцність проставок	153
ДОДАТОК Б Характеристики пневматичних балонів. Розрахунки кривих елементів теоретичного креслення в програмному комплексі FreeShip	165
ДОДАТОК Г Стандарт підприємства. Акт упровадження в навчальний процес... ..	172
ДОДАТОК Д Рекомендації по підбору пневматичних балонів	191

ДОДАТОК Е Розрахунок спуску судна з похилого поздовжнього стапеля	194
ДОДАТОК Є Список опублікованих праць	201

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку з відсутністю замовлень похилі поздовжні стапелі суднобудівних підприємств України стали з часом непридатними і не можуть конкурувати зі стапелями заводів нового покоління, оскільки для їх відновлення необхідні значні капітальні вкладення. Разом з тим при будівництві суден і кораблів різних типів та призначень розумно поставити питання про реновацію похилих поздовжніх стапелів таких заводів при мінімальних економічних витратах.

Спуск суден на воду є одним з відповідальних етапів їх будівництва. Історія спусків суден з похилих поздовжніх стапелів складає не менше сотні років і тому дана проблема загалом може вважатися досить розробленою. Дослідженням і удосконаленням спуску суден з таких стапелів займалися В. П. Суслов, А. М. Степанов, А. А. Курдюмов, Е. О. Шаров, В. М. Спиридонов, В. О. Карасев, Г. К. Косинський, М. Т. Євдокимов, І. Я. Баландін, В. Н. Андріанов, А. А. Малярчук, С. І. Герасимов, В. І. Шкирков, В. І. Григор'єв, А. А. Мільто, Д. В. Марченко, Г. В. Симаков, Л. І. Студенко, Л. П. Сулова, В. Г. Власов, Г. М. Волков, В. В. Семенов-Тян-Шанський, D. J. Eyres, D.T. Charles, A. M. Rob, H. B. Andrews, K. J. Rawson, E. C. Tupper та інші вчені.

Розвиток суднобудування засновано на застосуванні сучасних досягнень у проектуванні, технології та організації будівництва і спуску суден. Останньою інноваційною розробкою можна вважати спуск суден з похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах. Цей спосіб використовується для спуску на деяких суднобудівних заводах Китаю і Туреччини, але теоретичні основи та технологія його розрахунку поки що відсутні в літературних джерелах.

Можливість використання пневматичних балонів для спуску суден з існуючих похилих поздовжніх стапелів є актуальною і важливою задачею для суднобудування України. Для спуску суден на стапелі необхідно створити плоску поверхню, по якій будуть перекочуватися балони. Вирішення цього завдання дозволить відновити існуючі будівельні місця з мінімальними витратами,

спростити технологічний процес спуску суден на воду, а також значно скоротити тривалість і трудомісткість робіт.

Таким чином, наукова актуальність теми визначається необхідністю реновації існуючих будівельних місць на суднобудівних заводах України та відсутністю теоретичних матеріалів з розрахунку спуску судна на пневматичних балонах.

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів шляхом їх реновації та застосування пневматичних балонів для спуску суден з них, розробці теорії з розрахунку спуску судна на пневматичних балонах.

Об'єктом дослідження є процес спуску судна з похилого поздовжнього стапеля.

Предмет дослідження – поздовжні похилі стапелі й технологія спуску суден з них на пневматичних балонах.

Основні задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1) на основі вивчення й аналізу ряду існуючих похилих поздовжніх стапелів суднобудівних заводів України розробити ефективний метод їх реновації, який забезпечить спуск суден на пневматичних балонах;

2) розробити математичні моделі спуску суден на пневматичних балонах та сформулювати методи їх дослідження;

3) дослідити процес спуску суден на пневматичних балонах та з'ясувати його основні закономірності;

4) визначити оптимальні характеристики балонів з погляду забезпечення міцності балонів та безпечного положення судна на всіх етапах спуску;

5) провести порівняльний техніко-економічний аналіз спуску суден традиційним способом і на пневматичних балонах;

6) для впровадження результатів проведених досліджень у виробництво розробити стандарт підприємства на спуск суден на пневматичних балонах з похилих поздовжніх стапелів;

7) впровадити результати проведених досліджень у навчальний процес.

Методи дослідження. При проведенні дослідження використані наступні загальнонаукові методи:

- методи емпіричного дослідження – спостереження та порівняння;
- загальнологічні методи і прийоми дослідження – аналіз, дедукція, аналогія, параметричне моделювання;
- методи механіки руху твердих тіл у квазістатичному наближенні;
- методи обчислювальної математики.

Методи емпіричного дослідження, а саме спостереження та порівняння спуску суден на пневматичних балонах та на традиційних спускових пристроях. Зокрема, вивчалися відео реальних спусків на балонах, характеристика руху судна та поведінка балонів.

Комплексний аналіз – при виборі методу реновації стапеля та параметрів залізобетонної проставки. Для вибору параметрів металевої проставки використовувався метод аналізу ієрархій, який дозволив з типових суднобудівних конструкцій вибрати найбільш прийнятну за наступними критеріями: стійкість, трудомісткість, металоємність, технологічність.

Міцність обох типів проставок визначалась за допомогою моделювання конструкцій у програмних комплексах та розрахунку методом скінченних елементів.

Математична модель спуску судна на пневматичних балонах у першому наближенні розроблена методом аналогії та використання базових розрахункових залежностей традиційних спусків суден з похилого стапеля.

У другому наближенні використано аналітичний метод, який полягає в створенні математичного опису об'єкта з використанням рівнянь статички твердих тіл у квазі-статичному наближенні.

Для дослідження процесу спуску судна на пневматичних балонах використано чисельно ітераційні розв'язки системи нелінійних рівнянь, що описують стан системи «судно-балони», та сили, що діють на них.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в теоретичному розв'язанні задачі спуску суден з існуючих похилих поздовжніх стапелів шляхом їх реновації та заміни традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони.

У результаті дослідження:

- на основі техніко-економічного аналізу металоємності, міцності та технологічності обрано раціональні конструкції металевих і залізобетонних проставок для створення плоскої поверхні стапеля;

- **вперше** створено та апробовано математичну модель руху твердого тіла на пружних опорах у вигляді рівнянь механіки руху твердих тіл у квазістатичному наближенні, яка дозволяє встановити положення судна та навантаження в розрахунковий момент часу;

- **вперше** досліджено та отримано нові кількісні і якісні характеристики поведінки системи «судно-балони» в процесі спуску судна на воду з похилого поздовжнього стапеля;

- **удосконалено технологію** спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів шляхом використання пневматичних балонів;

- **отримав подальший розвиток** техніко-економічний аналіз спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і були позитивно оцінені на наступних конференціях:

- II, IV, V і VII Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, НУК, 5-7 жовтня 2011 р., 9-11 жовтня 2013 р., 8-10 жовтня 2014 р., 12-14 жовтня 2016 р.);

- IX Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів, і студентів «Перспективна техніка і технологія - 2013» (Миколаїв, МНАУ, 24-26 вересня 2013 р.);

- Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, НУК, 22-24 травня 2013 р., 21-23 травня 2014 р., 19-20 травня 2016 р.).

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

Напрямок дисертаційного дослідження відповідає Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» №3715-VI від 08.09.2011 (редакція від 05.12.2012), ст. 4 «Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011 – 2021 роки» (п. 2 «Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки»); положенням «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» (розпорядження КМУ від 20.10.2010 №2174-р, а саме: модернізація та будівництво флоту); рішенню Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (наказ Президента України від 20.05.2008 р. № 463/2008).

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблений спосіб реновації існуючих поздовжніх стапелів дозволяє спускати судна з них на пневматичних балонах без руйнування стапельної плити шляхом заповнення простору між доріжками спеціальними міцними проставками.
2. Розроблений стандарт підприємства на спуск суден на пневматичних балонах з похилих поздовжніх стапелів може використовуватися в науково-дослідних і проектно-конструкторських організаціях, на суднобудівних і судноремонтних заводах України.
3. Результати проведених досліджень впроваджені в навчальний процес у кораблебудівному інституті НУК.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, висновки та рекомендації, які наведені в дисертації та виносяться на захист, отримані автором самостійно і опубліковані в 13 наукових роботах, 9 з яких опубліковані самостійно.

У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачу належать такі наукові результати: в [1, 2, 9] проведено аналіз можливості реновації поздовжніх похилих стапелів з метою створення плоскої поверхні для спуску суден на пневматичних

балонах; в [5, 6] досліджено спуск судна з похилих поздовжніх стапелів на предмет можливості перекидання.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових робіт: 5 наукових статей у фахових технічних наукових виданнях, затверджених ДАК МОН України (4 з яких опубліковані в міжнародних виданнях, включених у наукометричні бази, 1 в НМБ **Copernicus** і 1 в НМБ **Scopus**); 1 стаття в періодичному виданні, затвердженому ДАК МОН Росії, і 7 тез міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 203 сторінки: обсяг основного тексту – 123 сторінки, додатків – 45 сторінок, в яких наведені розрахунки міцності проставок, характеристики пневматичних балонів, стандарт підприємства, акт впровадження в навчальний процес, приклад розрахунку спуску та список опублікованих праць. Дисертація містить 51 рисунок, 29 таблиць і посилання на 105 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМИ СПУСКУ СУДЕН НА ВОДУ З ПОХИЛИХ ПОЗДОВЖНИХ СТАПЕЛІВ

1.1 Стан і проблеми спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів

Суднобудування - одна з найдавніших галузей промисловості. До XIX–XX століть практично на всіх суднобудівних заводах для будівництва і спуску суден на воду застосовувались похилі стапелі. Спуск суден проводився під дією сили тяжіння. У такому вигляді суднобудування проіснувало до кінця 20-х років минулого століття [1–3].

У 20...30-ті роки застосування електрозварювання для з'єднання деталей і конструкцій підвищило продуктивність праці при формуванні корпусів суден, дозволило розширити фронт робіт – збирати і зварювати корпусні конструкції не на стапелі, як це було раніше, а в умовах цеху. 60...70-і роки пов'язані зі стрімким зростанням розмірів споруджуваних суден [2,4]. Для будівництва і спуску суден водотоннажністю в кілька сотень тисяч тон в якості будівельно-спускових споруд використовувалися сухі доки і похилі поздовжні стапеля [5–7]. Тому будівельні місця розділили на спорудження для будівництва і спуску суден, споруди (горизонтальні) тільки для будівництва суден і споруди для спуску суден з них [8,9]. На рис. 1.1 представлено класифікацію існуючих будівельних місць на суднобудівних заводах [4,10,11].

Поздовжні похилі стапелі існують на суднобудівних заводах багатьох країн: Польща, Болгарія, Чехія, Туреччина (рис. 1.2), Швеція, Норвегія, Латвія, Китай (рис. 1.3), Японія (рис. 1.4), Росія, Україна [12,13]. Зокрема в Україні, в м. Миколаєві, поздовжні похилі стапеля є на Публічному акціонерному товаристві «Чорноморський суднобудівний завод» (далі ЧСЗ)[14] і Державному підприємстві «Суднобудівний завод імені 61 комунара» (далі ЗШО) [10,15].

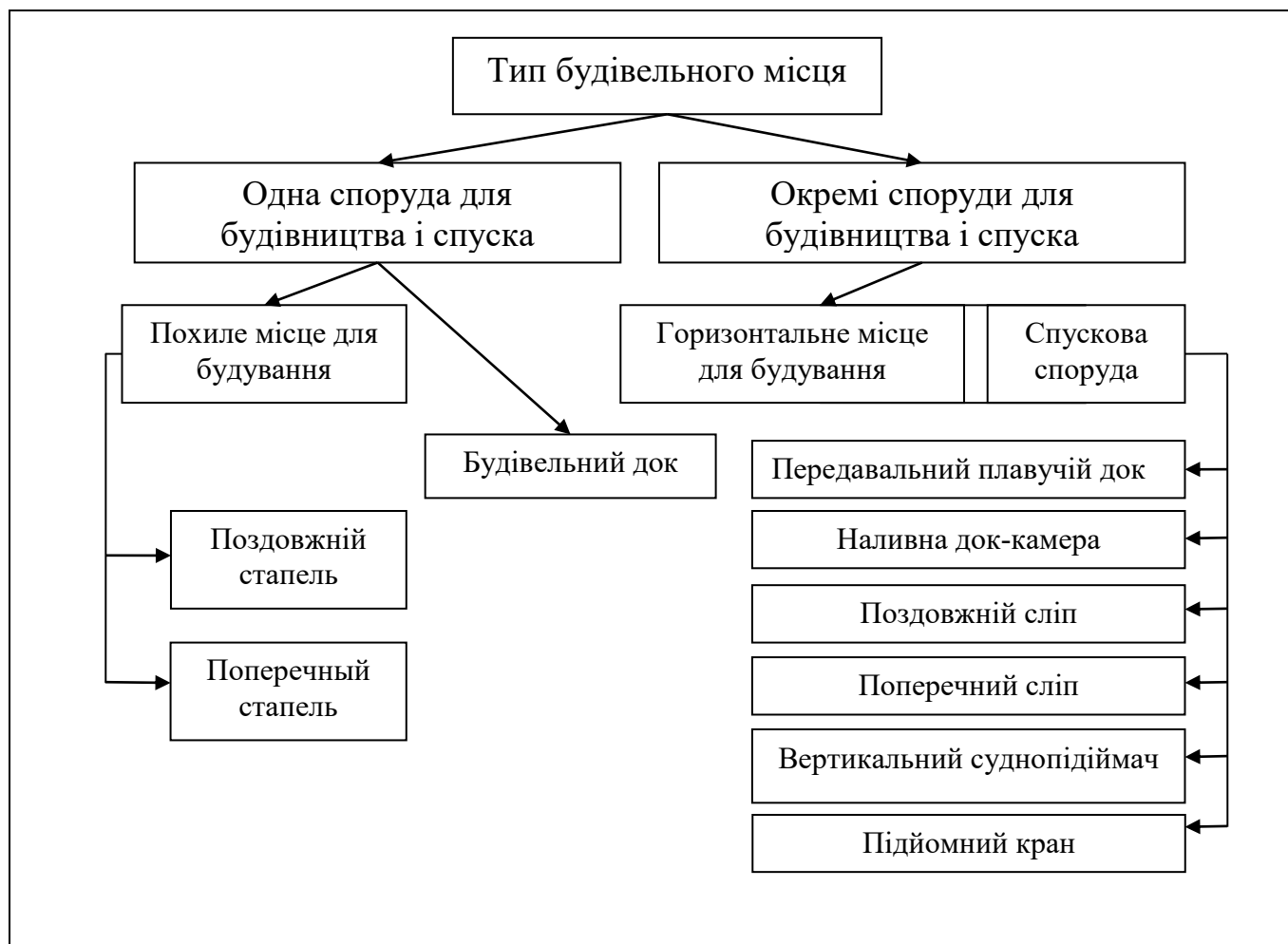


Рисунок 1.1 – Класифікація будівельних місць



Рисунок 1.2 – Поздовжній похилий стапель на заводі в Туреччині



Рисунок 1.3 – Поздовжній похилий стапель на заводі в Китаї



Рисунок 1.4 – Поздовжній похилий стапель на заводі в Японії

Спуск з похилого поздовжнього стапеля відноситься до некерованого спуску і відбувається вільно під дією сили тяжіння судна після звільнення його від затримуючих пристроїв: спускових стріл і носового затримка. Зупинити розпочатий рух судна по похилому стапелю або керувати швидкістю його руху в процесі спуску не представляється можливим [11,16,17].

Для спуску судна з похилого стапеля, між корпусом судна і спусковими доріжками встановлюють спеціальний спусковий пристрій. Традиційний пристрій складається з полозів, підчеревника, носових і кормових копилів, з'єднувальних елементів (розпірні бруси, стяжки, найтови), утримувачів (спускові стріли, курки, носові утримувачі), гальмівних пристроїв і пристосувань. Спускові полози встановлюються на кожній спусковій доріжці [3,11].

Поздовжні похилі стапелі мають довжину від 100 до 350 м і розташовані перпендикулярно до берегової лінії або під деяким кутом до неї. Стапель є складною інженерною спорудою, яка має залізобетонну основу для розміщення спускових доріжок. Він складається з надводної та підводної частин [6,10,18].

Конструкція доріжок стандартного типу наступна: у бетонну плиту стапеля (рис. 1.5) закладають поперечні дерев'яні бруси 1, на яких кріплять дубову підшивку 2 (товщиною 50...100 мм) і спускові рибини 3 (перерізом 200х200 або 300х300 мм) підтримувані дерев'яними або металевими упорами 4.

Спускові полози закріплюють до корпусу судна, а при його русі вони ковзають по гладким поверхнях спускових доріжок. Для зменшення тертя, що перешкоджає руху судна, на третю поверхню полозів і спускових доріжок наносять спеціальне мастило – насалку. Поверхня спускових доріжок має ухил у напрямку до води від 1° до 3° і продовжується в воду на деяку глибину. Величина ухилу для поздовжніх похилих стапелів знаходиться в межах від 1/18 до 1/24[8,11,16].

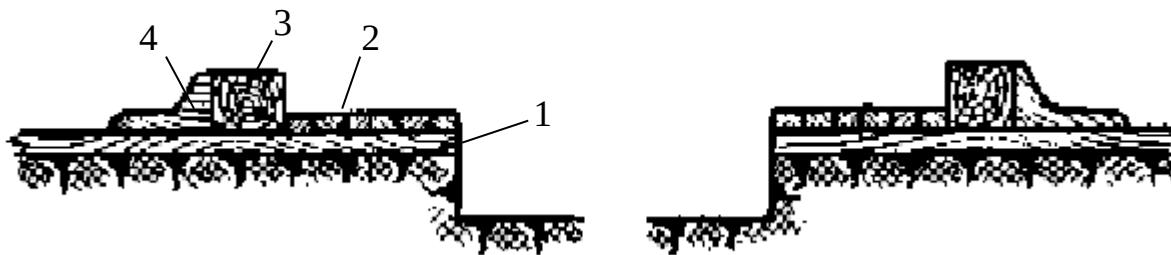


Рисунок 1.5 – Конструкція спускових доріжок поздовжнього похилого стапеля

Вибір конструкції спускового пристрою є одним з найважливіших завдань спуску судна (схема пристрою, його розташування під корпусом судна, характер і величина зусиль, що сприймаються при спуску). Ці рішення необхідно прийняти ще до розробки робочих креслень конструкцій корпусу [8,11,16].

Спуск суден з поздовжніх похилих стапелів застосовується давно і його прийнято вважати достатньо розробленим. Однак, цей процес постійно вдосконалювався. У вітчизняних конструкціях спускових пристроїв застосовувалися нові типи поворотних копилів, полози нових конструкцій, прокладки, що зминаються під час великих навантажень, пластмасові щити. Для зменшення сил тертя при спуску застосовують спеціальні одноразові парафіновазелінові або комбіновані мильні насалки [3]. Замість насалки застосовують антифрикційні пластмасові щити багаторазового використання. Матеріал щитів є композицією, що складається з поліетилену низького тиску, пластифікованого методом міжструктурної пластифікації і володіє наступними основними характеристиками:

статичний коефіцієнт тертя спокою 0,02...0,04;

динамічний коефіцієнт тертя руху 0,02...0,035;

стабільне збереження властивостей при температурі навколишнього повітря від -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$ і атмосферних опадах;

незначний зношення матеріалу і технологічність кріплення щитів дозволяє використовувати один і той же комплект для спуску не менше ніж 50 суден [19].

Для спуску суден на ЗШО застосовувалися пластмасові щити, форма і розміри яких показані на рис. 1.6 [15].

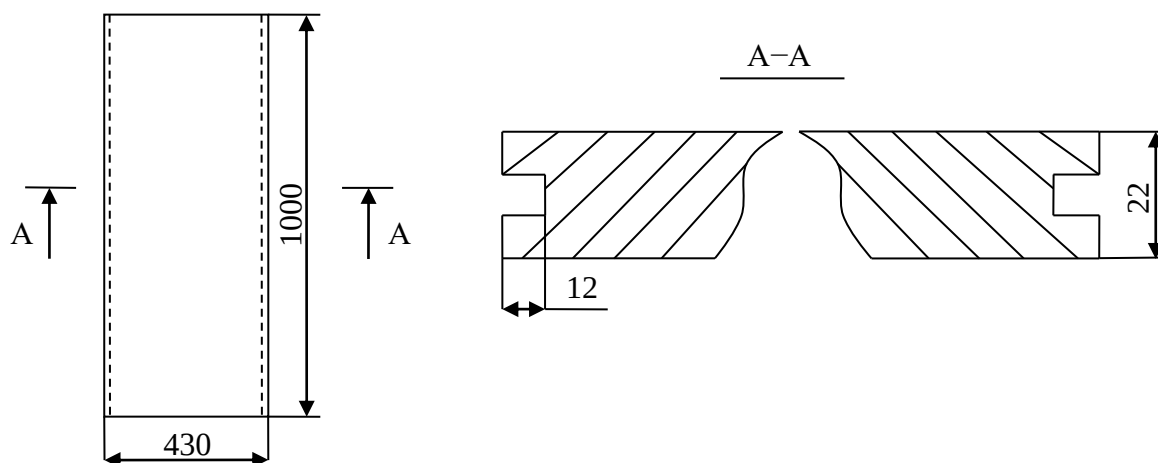


Рисунок 1.6 – Щит з антифрикційного пластмасового матеріалу

Перед початком монтажу спускового пристрою пластмасові щити подаються в закритих контейнерах в район їх установки і кріпляться на спускових доріжках. Кріплення пластмасових щитів на доріжках виконується шляхом установки їх між упорними планками в пази на торцях щитів. У підводній частині спускових доріжок щити закріплюються на постійно. Перед встановленням щитів вся підводна частина стапеля очищається від мулу і сторонніх предметів. В районі встановлення спускових полозів на поверхню щитів наноситься шар мастила товщиною не більше 1 мм для стабілізації статичного коефіцієнта тертя. Мастило наноситься безпосередньо перед встановленням кожного спускового полоза. Після укладання й змащення щитів на відкритих частинах спускових доріжок щити вкривають плівковим матеріалом та закріплюють рейками по краях доріжок.

Спуск суден із застосуванням антифрикційного пластмасового матеріалу дозволив відмовитися від використання насалки (хоча деяка кількість мастила все ж наноситься на поверхню пластмаси), що знизило трудомісткість підготовки стапеля, знизило вартість спуску за рахунок багаторазового використання щитів й усунуло забруднення води компонентами насалки. Однак, багато проблем залишилися невирішеними [15,19].

Також застосовувалися методи зменшення сил тертя за рахунок заміни тертя ковзання тертям кочення. У цих випадках замість звичайного спускового пристрою спуск судна здійснювали на кульових або роликів опорах (рис. 1.7).

Спуск на кулях проводився по сталевим листам, закріпленим на доріжках стапеля. Кулі розміщувалися в спеціальних рамах-сепараторах. Дерев'яні спускові полози підшивали сталевими листами. На листах спускових доріжок для кожного ряду куль робили напрямні жолоби. На підшивний лист полоза для тієї ж мети встановлювали напрямні планки. Спуск на кулях не набув поширення в практиці, оскільки використання антифрикційних пластмасових щитів виявилось більш економічним і надійним [10,15].

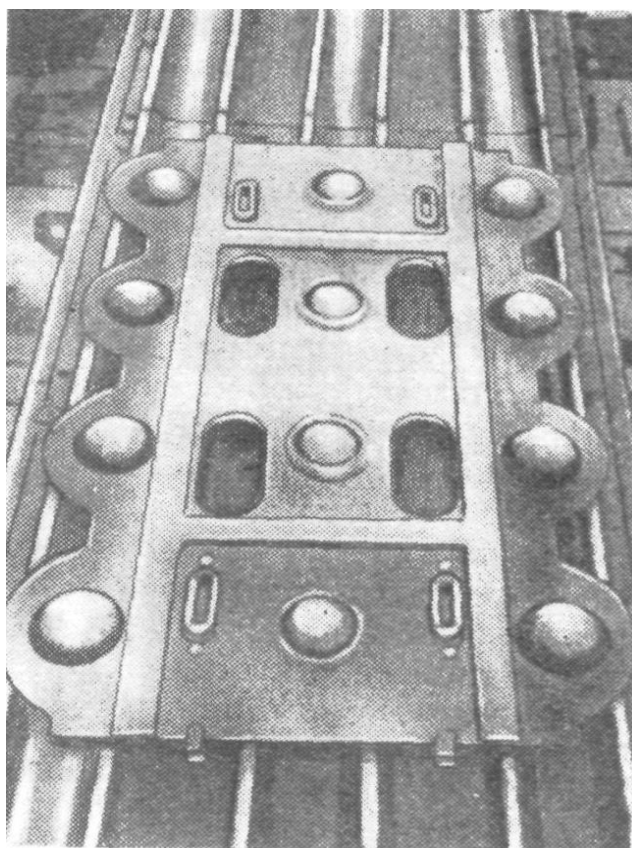


Рисунок 1.7 – Пристрій для спуску суден на кулях

У Миколаївському кораблебудівному інституті був розроблений спосіб спуску суден з похилих стапелів на водяній подушці. У цьому способі замість традиційних полізів використовувались спеціальні опори на водяній подушці. Гідравлічна опора являє собою пристрій для переміщення вантажів за допомогою водяної подушки. Вона зменшує вплив вантажу на гнучке ущільнення, що обмежує по периметру рідку подушку, без збільшення витрат рідини [20].

Цей спосіб спуску судна вирішив частину проблем:

- немає необхідності в громіздкому і дорогому спусковому пристрої;
- спрощується пересадка судна з опорного пристрою на гідравлічні опори за рахунок підняття судна над опорними пристроями;
- спрощується підготовка стапеля за рахунок того, що немає необхідності в нанесенні насалки або установки пластмасових щитів;
- скорочується тривалість і трудомісткість підготовки до спуску судна.

Однак, він має і ряд недоліків:

- гідравлічні опори досить складні по конструкції та дорогі;
- необхідно, як і при спуску з використанням традиційного спускового пристрою, закріплювати гідравлічні опори до корпусу судна;
- можуть виникнути проблеми при проході порогу стапеля;
- неможливість використання цього способу при мінусовій температурі повітря, а застосування незамерзаючих рідин різко збільшить вартість спуску і також призведе до забруднення акваторії.

Цей спосіб не знайшов широкого застосування у суднобудуванні через складність конструкції, велику ціну пристроїв водяної подушки, неможливості його використання при мінусовій температурі повітря [20].

На початку 80-х років минулого століття в Китаї був застосований спосіб спуску суден на воду на пневматичних балонах (рис. 1.8). З 2006 року цей спосіб отримав статус передових технологій і почав широко використовуватися не тільки для спуску суден, а й для їх підйому на стапель, підйому і транспортування затонулих суден і кораблів [21–24].

Технологічний процес підготовки і спуску судна на пневматичних балонах полягає в наступному: балони розкладаються під судном перпендикулярно до його діаметральної площини (рис. 1.9); надуваються повітрям від заводської магістралі стиснутого повітря; після підйому судна на балонах з під нього прибираються опорні пристрої; віддається утримувач і судно, як на циліндрах (катках), спускається на воду (рис. 1.10) [25–29].

Для спуску суден на пневматичних балонах необхідно створити плоску похилу поверхню поздовжнього стапеля, яка може бути виконана з крупного піску, дрібного гравію, бетону, металу, дерева та інших матеріалів. Застосування такої технології не вимагає великих витрат на обладнання, дозволяє економити час і кошти на будівництво суден і ремонт будівельних місць [26,30,31].



Рисунок 1.8 – Пневматичний балон для спуску судна



Рисунок 1.9 – Встановлення пневматичних балонів під судном на стапелі

Основна техніко-економічну перевага застосування пневматичних балонів пов'язана з простою організацією підготовки і спуску суден, низькими витратами на монтаж та експлуатацію, багаторазовим використанням балонів. З технічної

точки зору для 90% суден, що будуються, можна застосувати цю технологію[21,22,32]. Незважаючи на те, що даний спосіб застосовується на ряді суднобудівних заводів, в літературі відсутні матеріали з його теоретичного обґрунтування, розробки і розрахунку.



Рисунок 1.10 – Спуск судна на пневматичних балонах

Для застосування спуску суден на пневматичних балонах на існуючих поздовжніх похилих стапелях необхідно створити на них суцільну пласку поверхню. Як було показано вище, традиційний стапель має спеціальні спускові доріжки, заглиблення між якими не дозволяє застосувати пневматичні балони (рис. 1.5) [11,16,33]. В останні роки в Китаї будували поздовжні похилі стапелі з плоскою поверхнею спеціально для спуску суден на пневматичних балонах [12,34].

1.2 Задачі, що виникають при спуску суден з поздовжніх похилих стапелів

Однією з основних задач в дослідженні процесу спуску судна на воду є вивчення руху судна. Для повного вирішення цієї задачі необхідно встановити

для кожного моменту часу величину і точку докладання всіх сил, що діють на судно, обчислити положення судна і швидкість його поступального і обертального рухів. Вирішення цієї задачі в повному обсязі неможливо у зв'язку зі складністю процесу спуску і руху спускових пристроїв.

У зв'язку з цим в дослідженні спуску, узгодженому з практичними потребами, достатньо обмежитися визначенням швидкостей і положень судна лише в окремі моменти. Оскільки в процесі спуску сили, що діють на судно змінюються, процес спуску теоретично поділяють на чотири періоди. При такому розподіленні можна виділити наступні небезпечні моменти спуску, які необхідно враховувати при проведенні дослідження: перекидання, спливання, зіскок зі стапеля, удар судна об стапель або ґрунт [11,16,35].

Найбільш небезпечним є третій період, в якому можливе перекидання (обертання судна навколо порогу стапеля) або спливання, а в носовій частині корпусу можуть виникнути великі зосереджені зусилля – баксовий тиск (різниця сум сили тяжіння судна й спускового пристрою та сили плавучості, що з'явилась) (рис.1.11) .

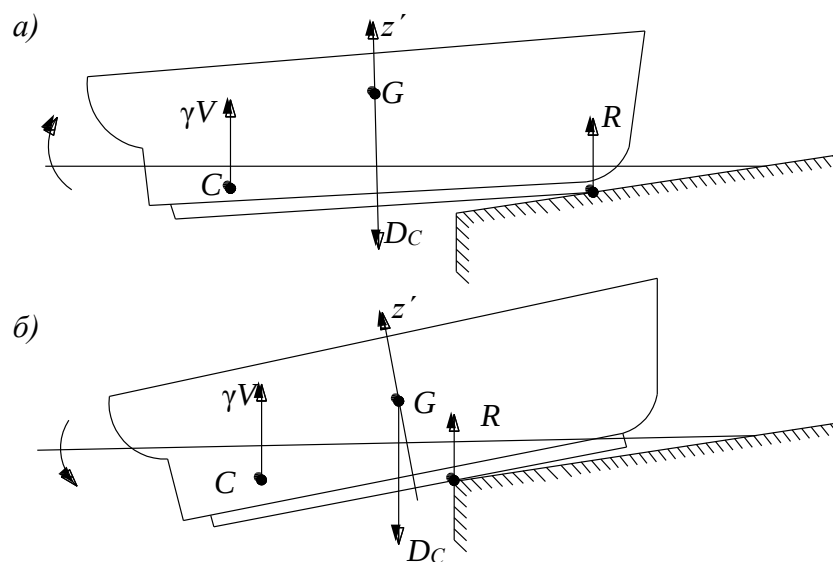


Рисунок 1.11 – Спуск судна зі стапеля: *а* – нормальний;

б – з перекиданням

При перекиданні відбувається обертальний рух судна навколо осі, яка перпендикулярна до його діаметральної площини та проходить крізь поріг стапеля (рис. 1.11, б). Це є вкрай небажаним і небезпечним для судна. При перекиданні тиск судна на фундамент зосереджується на вельми малій ділянці біля порогу, але величина його велика, й в результаті цього можуть відбутися значні пошкодження корпусу судна і порогу стапеля [11,35,36].

Крім цього, при традиційному спуску на спускових пристроях під великим зосередженим тиском насалка між полозами і доріжками може бути видавлена, полози і доріжки деформовані, а сила опору руху підвищиться до такої міри, що судно зупиниться на стапелі, не зійшовши в воду.

На більшості сучасних суден машинно-котельне відділення і надбудова розташовуються в кормовій частині. Тому перекидання настає, коли момент сили підтримки, який прагне обертати судно біля порога в напрямку годинникової стрілки, менше моменту сил ваги судна, що прагне його перекинути. По мірі руху судна по стапелю момент сил підтримки буде зростати. В результаті цього судно, повернувшись на деякий кут, почне зі зростаючою кутовою швидкістю повертатися біля порога в зворотному напрямку до тих пір, поки не вдариться об стапель своєю носовою частиною. В результаті такого удару корпус судна може отримати серйозні пошкодження. Під час перекидання відбувається підйом носової частини спускових пристроїв над доріжками й зв'язки, що з'єднують судно зі спусковими полозами можуть зруйнуватися, носові копили можуть вистрибнути з місць встановлення. При зворотному обертанні носова частина судна не знайде належної опори і вдариться об стапель, що може привести до його пошкодження [3,8,11].

Спливання супроводжується обертальним рухом судна навколо осі, яка перпендикулярна діаметральній площині й проходить через носовий край полозів спускових пристроїв, при цьому корма судна буде підніматися вгору. Тиск судна на доріжки, бувший до початку спливання розподіленим на досить значну поверхню, до моменту настання цього явища, зосередиться на вельми малу площу у носових країв полозів. При цьому виникає великий питомий тиск на стапель –

баксовий тиск. Величина баксового тиску може досягати до $1/3$ спускового ваги судна. Тому поява настільки великої зосередженої сили зазвичай вимагає установки спеціальних підкріплень в носовій частині корпусу. При подальшому русі судна величина цього зосередженого тиску поступово зменшується, тому для розрахунку міцності судна і спускового пристрою дуже важливо знати величину тиску на доріжки в момент початку спливання [11,16].

При недостатній глибині води за порогом можливий удар кормової частини судна або полозів о ґрунт. З метою визначення можливості такого удару, необхідно шляхом попереднього розрахунку знайти величину найбільшого занурення корми під час спуску і положення судна на стапелі в цей момент.

В результаті обертання судна в третьому періоді можливий удар носової частини судна (особливо бульбоподібний) або носових полозів о стапель. Удар може статися в тому випадку, коли носовий край судна звисає на значну довжину за полози, коли ніс судна мало піднятий над стапелем і коли спільно з цими двома обставинами кут обертання судна при спливанні великий.

Після сходу носових полозів зі спускових доріжок можливе раптове опускання носа судна в воду – зіскакування, що представляє собою звичайне явище при спуску і саме по собі не може надати будь-якого неприємного ефекту, якщо тільки не буде супроводжуватися ударом носа о поріг стапеля або ґрунт.

При спуску судна з похилого поздовжнього стапеля можлива його зупинка, що вимагатиме великих витрат часу і коштів [3,11].

З вищевикладеного робимо висновки, що спуск судна з похилих поздовжніх стапелів, є дуже складним некерованим процесом, залежним від багатьох факторів. До його недоліків також варто віднести:

- складність розрахунку, виготовлення та встановлення спускових пристроїв;

- високу трудомісткість виготовлення насалки, включаючи її випробування на визначення коефіцієнта тертя в залежності від температури повітря, й нанесення;

- необхідність в демонтажі спускових пристроїв, збору їх з акваторії заводу після спуску судна, у великих площах для їх зберігання;
- забруднення акваторії компонентами насалки.

Прогресивним є спуск суден з похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах.

1.3 Постановка задачі дослідження

У багатьох країнах існують поздовжні похилі стапелі, на яких виконується будівництво суден і спуск з них на воду. Розглянуто різні типи спускових пристроїв. Спуск суден з таких стапелів є складним некерованим процесом, а також пов'язаним з тривалістю і великою трудомісткістю підготовки стапеля до спуску, забрудненням акваторії заводу.

В останні роки в ряді країн набув поширення спосіб спуску суден на пневматичних балонах. У Китаї були побудовані нові стапелі з плоскою похилою поверхнею з гравію і бетону без спускових доріжок, на яких вже передбачено спуск суден на пневматичних балонах. З технічної точки зору для 90% всіх суден можна застосувати цю технологію.

Спуск суден на пневматичних балонах з існуючих поздовжніх похилих стапелів неможливий, оскільки між спусковими доріжками знаходиться заглиблення досить великої глибини і ширини. Разом з тим, реновація стапелів для створення плоскої поверхні потребують капітальних вкладень.

Незважаючи на те, що спосіб спуску суден на пневматичних балонах знайшов застосування на ряді зарубіжних суднобудівних заводів, в літературі відсутні матеріали з його теоретичного обґрунтування, розробки, розрахунку та техніко-економічного обґрунтування. Тому перераховані в пункті 1.2 завдання, які стосуються спуску суден з поздовжніх похилих стапелів на традиційних спускових пристроях, необхідно вирішити стосовно спуску на пневматичних балонах.

Вивчення літературних джерел і проведений аналіз дозволили сформулювати завдання цього дослідження, спрямованого на вдосконалення технології спуску суден з поздовжніх похилих стапелів.

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів шляхом їх реновації та застосування пневматичних балонів для спуску суден з них, розробці теорії з розрахунку спуску судна на пневматичних балонах.

Для досягнення зазначеної мети дослідження необхідно вирішити наступні **задачі**:

- 1) на основі вивчення й аналізу ряду існуючих похилих поздовжніх стапелів суднобудівних заводів України розробити ефективний метод їх реновації, який забезпечить спуск суден на пневматичних балонах;
- 2) розробити математичні моделі спуску суден на пневматичних балонах та сформулювати методи їх дослідження;
- 3) дослідити процес спуску суден на пневматичних балонах та з'ясувати його основні закономірності;
- 4) визначити оптимальні характеристики балонів з погляду забезпечення міцності балонів та безпечного положення судна на всіх етапах спуску;
- 5) провести порівняльний техніко-економічний аналіз спуску суден традиційним способом і на пневматичних балонах;
- 6) для впровадження результатів проведених досліджень у виробництво розробити стандарт підприємства на спуск суден на пневматичних балонах з похилих поздовжніх стапелів;
- 7) впровадити результати проведених досліджень у навчальний процес.

1.4 Обґрунтування теми дисертаційного дослідження

Тема дисертації повинна включати в себе наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного потенціалу України. Обрана тема повинна бути актуальною, економічно ефективною, науково значущою,

вирішувати нову науково-прикладну задачу, відповідати профілю наукового колективу, бути здійсненою [37,38].

Спуск судна на воду є найбільш важливою й невід’ємною частиною будівництва судна. Існуючі похилі повздовжні стапелі, на даний час, потребують відновлення. Повне відновлення поверхні стапеля, дерев’яного настилу та спускових пристроїв – це тривалий, трудомісткий та дорогий процес. Також, традиційна технологія спуску суден з похилих стапелів є застарілою та складною.

Обрана тема дисертаційного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.08.03 "Конструювання та будування суден". *Формула спеціальності*: Галузь науки і техніки, яка займається розробленням та вдосконаленням методів проектування, конструювання, будування суден, інших плавучих споруд, засобів океанотехніки, підводно-технічних систем і комплексів, підводних апаратів, суднових конструкцій, загальносуднових систем, суднових пристроїв та їх елементів, забезпеченням їх ефективності, надійності і безпеки на протязі усього життєвого періоду. *За напрямом*: 8. Теорія і методи формування корпусу судна на будівельному місці та спуску суден на воду.

Галузь науки, з якої присуджуються наукові ступені: технічні науки.

Рішення завдання удосконалення технології спуску суден з похилих повздовжніх стапелів доцільно проводити відповідно до загальноприйнятої методології наукових досліджень [37–41]. На рисунку 1.12 представлена структурно-логічна схема наукового дослідження.

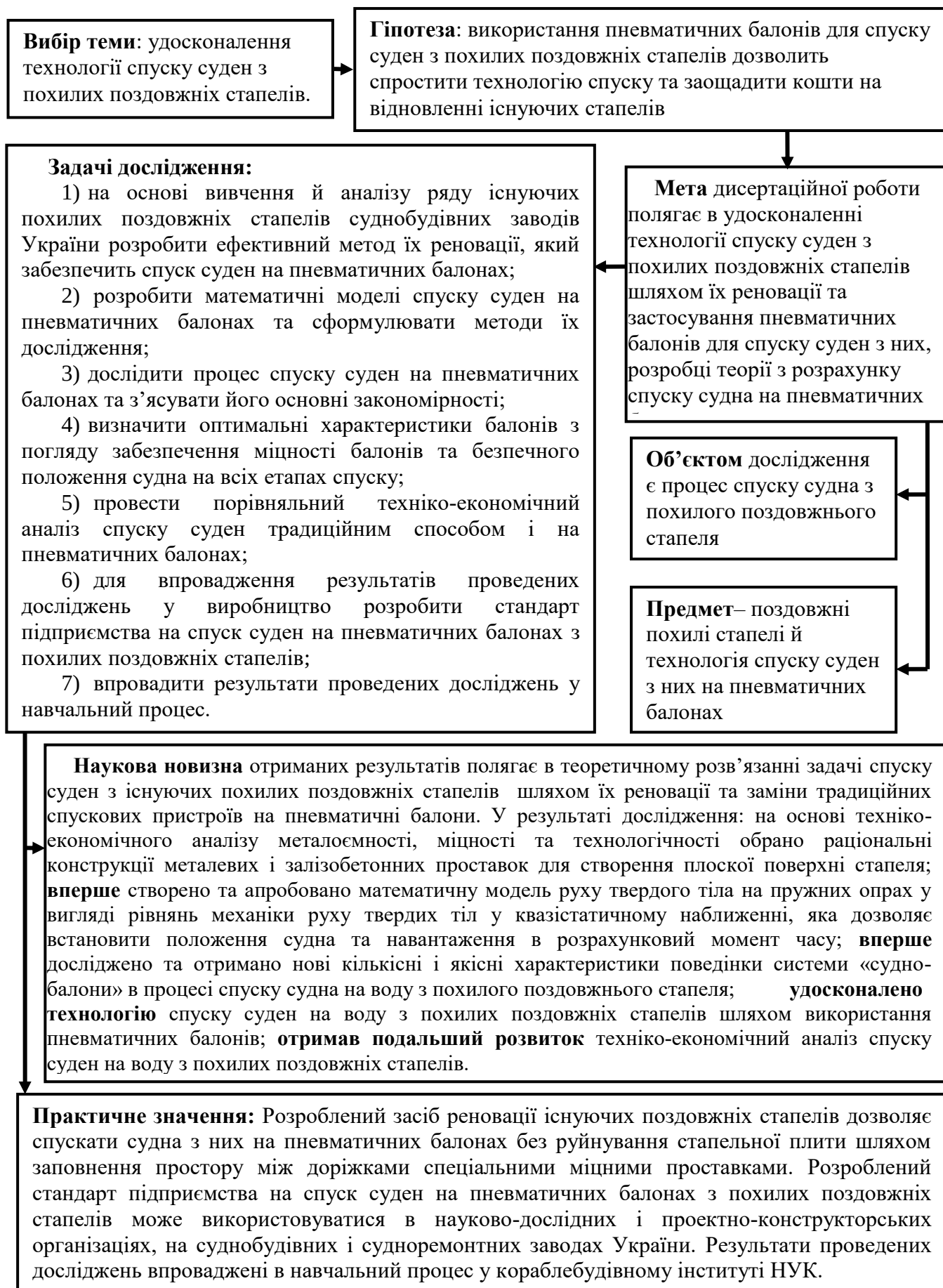


Рисунок 1.12 – Структурно-логічна схема проведеного наукового дослідження

1.5 Основні методи та методики проведення дослідження

При проведенні дослідження використані наступні загальнонаукові методи:

- методи емпіричного дослідження – спостереження та порівняння;
- загальнологічні методи і прийоми дослідження – аналіз, дедукція, аналогія, параметричне моделювання;
- методи механіки руху твердих тіл у квазістатичному наближенні;
- методи обчислювальної математики.

Методи емпіричного дослідження, а саме спостереження та порівняння спуску суден на пневматичних балонах та на традиційних спускових пристроях. Зокрема, вивчалися відео реальних спусків на балонах, характеристика руху судна та поведінка балонів.

Комплексний аналіз – при виборі методу реновації стапеля та параметрів залізобетонної проставки. Для вибору параметрів металеві проставки використовувався метод аналізу ієрархій, який дозволив з типових суднобудівних конструкцій вибрати найбільш прийнятну за наступними критеріями: стійкість, трудомісткість, металоємність, технологічність.

Міцність обох типів проставок визначалась за допомогою моделювання конструкцій у програмних комплексах та розрахунку методом скінчених елементів.

Математична модель спуску судна на пневматичних балонах у першому наближенні розроблена методом аналогії та використання базових розрахункових залежностей традиційних спусків суден з похилого стапеля.

У другому наближенні використано аналітичний метод, який полягає в створенні математичного опису об'єкта з використанням рівнянь статички твердих тіл у квазістатичному наближенні.

Для дослідження процесу спуску судна на пневматичних балонах використано чисельно ітераційні розв'язки системи нелінійних рівнянь, що описують стан системи «судно-балони», та сили, що діють на них.

Для теоретичного аналізу процесу спуску судна на пневматичних балонах використано підхід, заснований на числовому розв'язку системи рівнянь, що описують стан системи судно-балони та сили, що діють під час їх руху. Умовна схема розрахунку спуску судна з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах зображена на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Схема розрахунку спуску судна з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах

1.6 Висновки

На підставі огляду вітчизняної та закордонної технічної літератури проведено аналіз технології спуску суден з похилого поздовжнього стапеля та методів його вдосконалення. Досліджено технологію спуску суден на пневматичних балонах.

Сформульовано мету, та основні завдання дослідження, актуальні для суднобудування.

Обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, основні методи та методики проведення дослідження.

РОЗДІЛ 2

РЕНОВАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ПОХИЛИХ ПОЗДОВЖНИХ СТАПЕЛІВ

2.1 Загальні відомості

У сучасній технології будівництва суден застосовується кілька способів спуску. Умовно їх поділяють на дві групи: керовані і некеровані.

До керованих видів спуску суден відносяться: спуск спливанням; механізований. До некерованих - спуск під дією власної сили тяжіння. Спуск судна з поздовжніх стапелів є некерованим. Існує два види: поздовжній і поперечний. Поздовжній є найбільш складним [16,18,42].

До основних недоліків цього виду спуску слід віднести:

- неможливість керувати процесом спуску;
- необхідність у великій кількості деревини для виготовлення спускових доріжок і пристроїв;
- необхідність наявності дорогих та складних спускових пристрів (рис. 2.1);
- висока трудомісткість і тривалість підготовки спускових пристроїв;
- необхідність пересадки судна з будівельних пристроїв на спускові;
- висока трудомісткість підготовки стапеля, зокрема, необхідність нанесення насалки для забезпечення необхідного коефіцієнта тертя;
- необхідність діставати елементи спускових пристроїв з поверхні і з дна акваторії після спуску з використанням водолазів;
- забруднення навколишнього середовища мастильними матеріалами (насалкою) [11,16,43].

В даний час українське суднобудування знаходиться не в кращому стані. Відсутність інвестицій призвело до того, що більшість суднобудівних заводів не мають замовлень на будівництво суден. Разом з тим, уряд України вважає одним з пріоритетних напрямів - відродження українського суднобудування [44].

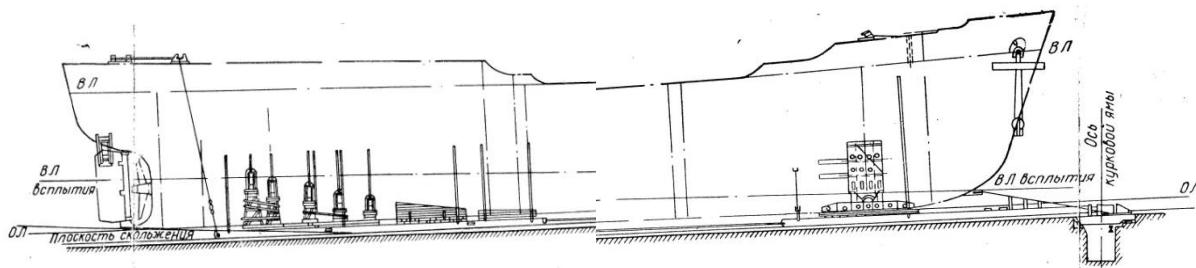


Рисунок 2.1 – Схема спускового пристрою для поздовжнього спуска

Розглянемо два з найбільших суднобудівних заводів України ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод» (ЧСЗ) [14] та «Державний завод імені 61 комунара» (ЗШО) [15], які мають потужні будівельні місця для будівництва великотоннажних суден.

В даний час ЧСЗ має два похилих стапеля (стапель «0» для будівництва суден зі спусковий масою до 24 тис. т, та стапель «1» – до 10 тис. т), для яких необхідний капітальний ремонт, реалізації якого можлива з вкладення значних інвестицій (за розрахунком на 2013 рік близько 10 млн грн). Так само слід враховувати, що для традиційного спуску на даному стапелі необхідне відновлення механізмів для варіння мастильних матеріалів, що створює ряд додаткових складнощів для відновлення стапелів [14,43,45].

На стапелів «0» повністю відсутні дерев'яні бруси на спускових доріжках, а на іншому - вимагають капітального ремонту (рис. 2.2). Також серйозний ремонт та часткова заміна потрібні для спускових полозів та інших елементів спускових пристроїв. Для зменшення коефіцієнта тертя при спуску судна з похилого стапеля на дерев'яний настил спускових доріжок наноситься спеціальна насалка, частина компонентів якої не виробляється в Україні. Насалку перед нанесенням варять у спеціальних ємностях. Раніше необхідна температура в цих ємностях створювалася за допомогою пари. В даний час сам завод пар не виробляє, а купівля його з поряд розташованою ТЕЦ коштує дуже дорого. Все описане вище свідчить про необхідність значних інвестицій тільки для відновлення стапеля і спуску готового судна на воду[46].



Рисунок 2.2 – Стан дерев'яного настилу стапеля (місцями повна відсутність дерев'яного настилу)

ЗШО має досвід будівництва морських великотоннажних суден і кораблів різних класів, накопичений на підприємстві за післявоєнні роки, який дозволяє виготовляти суховантажні судна (рефрижератори, балкери, контейнеровози), спеціальні судна (рятувальні, буксирні, промислові), а також кораблів для військово-морських сил і для прикордонних морських частин. Формування корпусів суден проводиться на трьох похилих стапелях (рис. 2.3) розмірами (довжина x ширина):

I - 216x33 м;

II - 178x33 м;

III - 218x42 м.

Але на даний час завод також переживає важкі часи, стапеля знаходяться у занедбаному стані та потребують капітального ремонту [15].



Рисунок 2.3 – Похилі стапелі ЗШО

В цій частині даної роботи проводяться дослідження, пов'язані з реновацією стапелів ЧСЗ та ЗШО з метою зменшення витрат на їх відновлення і розробляється нова технологія спуску суден з допомогою пневматичних балонів (рис 2.4). На існуючих стапелях при незначних витратах може бути створена суцільна похила плита, а для спуску під днищем судна замість традиційних спускових пристроїв будуть встановлюватися пневматичні балони [47,48]. Спуск судна на воду буде здійснюватися шляхом перекочування судна на цих балонах (рис 2.5). При цьому значно спрощуються роботи з відновлення стапеля та скорочується їх тривалість. Заміна традиційних спускових пристроїв на балони спрощує процес підготовки судна до спуску на воду і сам процес спуску [22,24,49].



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд пневматичного балону



Рисунок 2.5 – Спуск судна на пневматичних балонах

Спуск судна на пневматичних балонах дозволяє:

- а) спростити технологію процесу спуску судна;
- б) знизити експлуатаційні витрати, тому що немає необхідності в нанесенні мастильних матеріалів, а спускові пристосування – пневматичні балони можуть бути використані не одноразово;
- в) регулювати швидкість спуску судна, що забезпечує надійність і безпеку процесу;
- г) зменшити час підготовки до спуску.

Даний спосіб є екологічно чистим, тому що немає мастильних матеріалів, які забруднюють акваторію. Одним з найбільших переваг є низькі вимоги до стапеля, що дозволяє економити на будівництві або реконструкції будівельного місця [25,50,51].

2.2 Гідрогеологічні та конструктивні характеристик стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод»

2.2.1 Гідрогеологічні умови розташування майданчика стапеля

Реконструкцію похилого поздовжнього стапеля для спуску суден на пневматичних балонах розглянуто на прикладі стапеля «0» ЧСЗ. Стапель «0» розташований на березі Бузького лиману, що має прямий вихід в Чорне Море. У кінці 18 століття на цій ділянці існувала заболочена заплава річки складена мулками і заторцьованими пісками, яка в результаті діяльності людини була видозмінена. Було зроблено намівання і підсипання піщано-гравійного матеріалу, що досягають місцями глибини 4,5 м.

Корінними породами майданчика є вапняки, відмітки яких у напрямі поздовжньої осі стапеля коливаються в межах 7,5м ... 8,5м. Корінні породи перекриті наступними ґрунтами (згори – вниз):

- а) насипні ґрунти (глини, суглинки, різнозерністі піски);
- б) ґрунти алювіальних відкладень лиманового типу;
- в) ґрунти алювіальних відкладень річкового типу;
- г) ґрунти древніх алювіальних відкладень.

У районі розташування стапеля «0» рівневий режим Південно-Бугського лиману обумовлений згінно-нагінними вітровими течіями. Амплітуда добових коливань рівня води знаходиться в межах 0,5...0,7 м і знаходиться в прямій залежності від характеру зміни панівних вітрів. Течії річки практично не спостерігається, швидкості вітрових течій у поверхневому шарі води коливаються від 0,01 м/хв до 0,3 м/хв, висота вітрових хвиль досягає 1 м [14,45].

2.2.2 Конструктивні особливості стапеля

Підводна частина стапеля

Підводна частина стапеля включає ділянки № 9, 8, 7 (рис. 2.6). Порогова частина стапеля (ділянка № 9) представляє собою споруду, що складається з флютбету, бічних засад і затвору (батопорту).

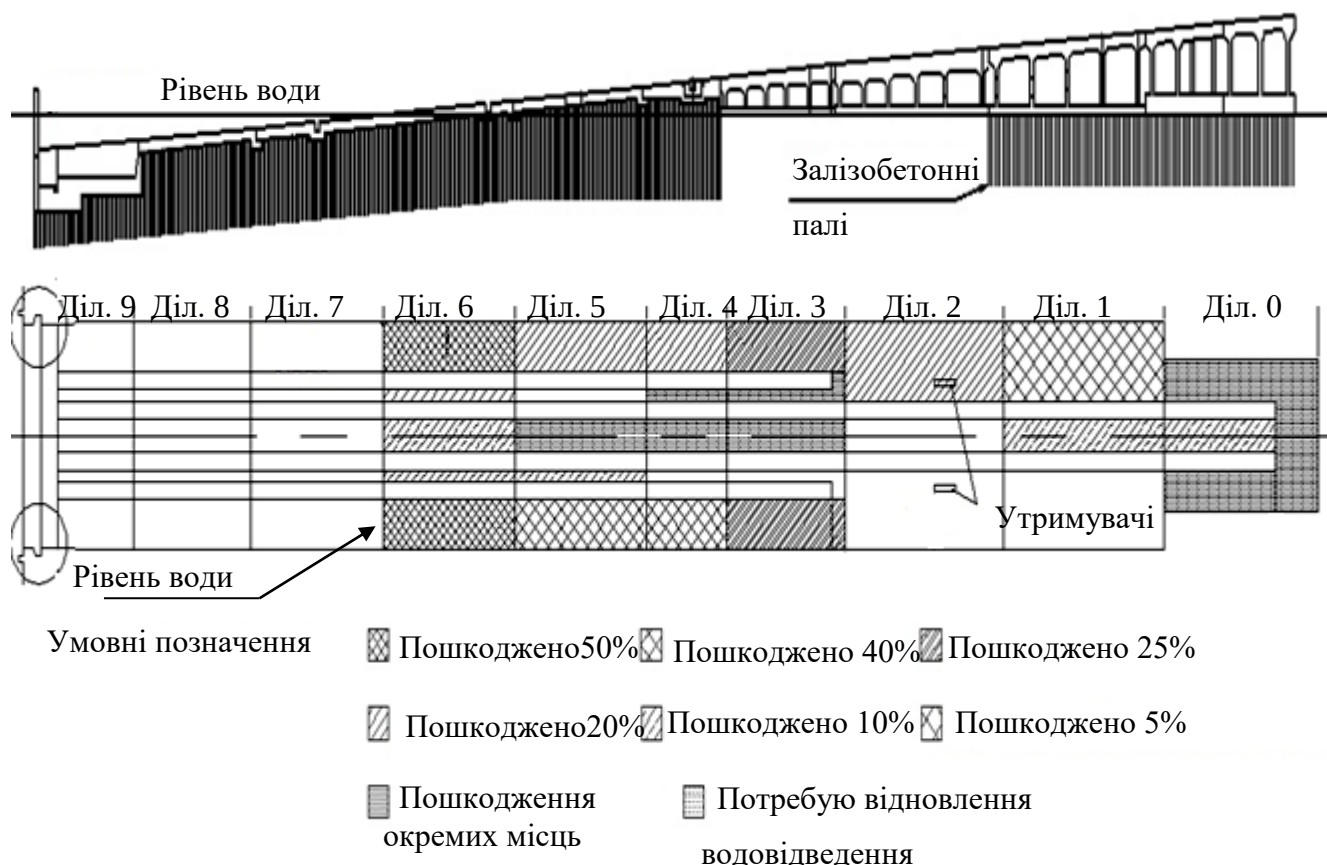


Рисунок 2.6 – Загальні данні схеми плану стапеля

Флютбет - стапельна залізобетонна плита товщиною 3 м - спирається на пальове поле із залізобетонних пал-стійок. Конструкцією порогової частини стапеля передбачено два положення для установки батопорту: робоче та ремонтне.

На цій ділянці симетрично поздовжній осі стапеля розташовані чотири спускових доріжки. Спускові доріжки закінчуються порогом на глибині 3,9 м, між середніми спусковими доріжками розташовується стрибкова яма, що має позначку дна 9,0 м.

Батопорт стапеля перекриває спусковий отвір шириною 43,2 м по верху на позначці 3,2 м. Осушення підводної частини стапеля проводиться за допомогою насосних установок, встановлених в самому батопорті.

Особливістю конструкції діляниць № 8, 7 являється сполучення їх з пороговою частиною і між собою температурно-осадовими швами (ТОШ). У цих місцях ТОШ повинні працювати як зазвичай і не пропускати воду під напором.

Надводна частина стапеля

Надводною частиною стапеля прийнято вважати ділянки № 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0.

Ділянки стапеля № 6, 5, 4 являють собою залізобетонні плити довжиною 22,2 м; 36,4 м і 36,4 м відповідно; заввишки 1,55 м і шириною 34 м. Залізобетонні стапельні щити спираються на пальове поле із залізобетонних пал-стійок. Пали цього поля прорізають слабкі ґрунти: насипні ґрунти, замулені піски, заторцованні мули, глинисті піски і глини та спираються на вапняки середньої щільності.

Ділянки № 3, 2 з довжинами 32,4 м і 43,6 м представляють просторову конструкцію - естакаду. Залізобетонна естакада складається з верхньої похилої опорної та нижньої фундаментної плит. Обидві плити з'єднані поздовжніми і поперечними залізобетонними стінами. Фундаментна плита має ширину 36 м і товщину 0,9 м і 1,15 м відповідно номеру ділянки. Конструкція естакади виконана з монолітного залізобетону на природній основі.

Ґрунти підстави: піски слабозамулені і піски слабоглиністі; підстильні ґрунти - глини і вапняки середньої щільності.

Ділянка № 1 довжиною 29,2 м являє собою таку ж монолітну залізобетонну естакаду з фундаментною плитою спертою на основу з дерев'яних пал.

Ділянка № 0 довжиною 42,45 м також монолітна естакада пізнішої споруди, розділена температурно-опадним швом на дві секції довжиною 22,0 м і 20,45 м на пальовий підставі із залізобетонних пал, які також прорізають товщу слабких грантів і спираються на щільні глини і вапняки. У естакаді обладнані приміщення майстрів і цивільної оборони. Ширина естакади складає 30,2 м.

Спускові похилі доріжки

Стапель «0» обладнаний чотирма спусковими доріжками, розташованими симетрично і паралельно повздовжньої осі стапеля. Спускові доріжки виконані у вигляді смуг з бетону з верхнім покриттям з дерева. На рис. 2.7 та рис. 2.8 показаний поперечний розріз спускових доріжок. Для обмеження поперечних переміщень спускових пристроїв при спуску судна кожна доріжка має по одному краю так звану «рибину» - сталевий профіль, який виступає над поверхнею доріжки на 150 мм. З метою запобігання заклинювання спускових пристроїв при розвороті корми спливаючого спускового судна до низу, починаючи в 150 м від порога відстань між рибинами поступово збільшується, утворюючи розтруб.

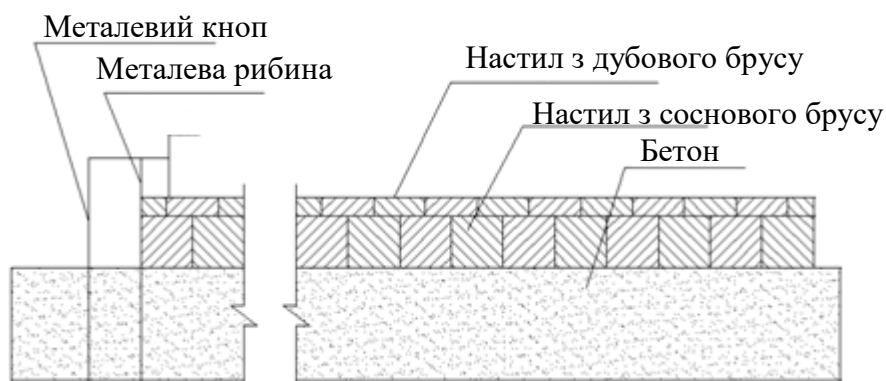


Рисунок 2.7 – Поперечний переріз спускової доріжки

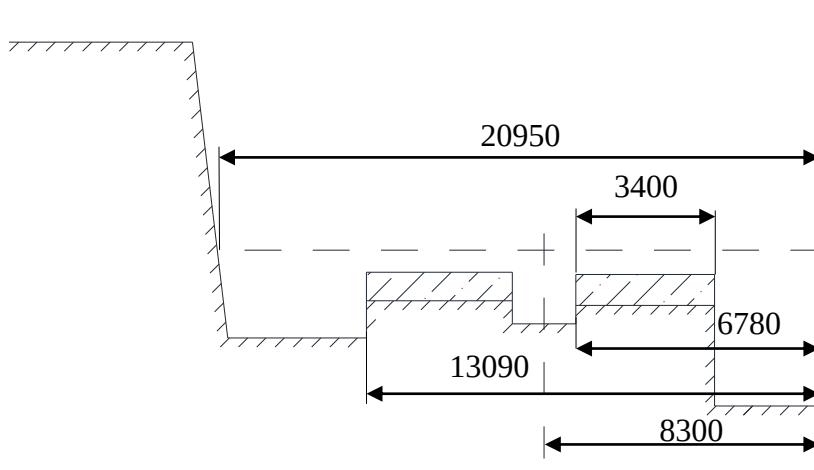


Рисунок 2.8 – Перетин в районі порогу стапеля

Утримуючі пристрої

Для утримання судна до початку спуску стапель обладнаний утримуючими пристроями та фундаментами носових утримувачів: на зусилля 1000 тис - 1 од. ділянка 0; на зусилля 2000 тис - 2 од. ділянку 3; на зусилля 3000 тис - 2 од. ділянка 2; упори під стріли; куркові утримувачі.

В процесі експлуатації спускові доріжки зазнавали конструктивні зміни. У 1955р доріжки реконструювалися для можливості одночасного будівництва невеликих замовлень на лівій і правій від повздовжньої осі стороні стапеля. У наступний період для будівництва великих суден водотоннажністю 45'000...80'000 т спускові доріжки знову взяли у проектну конструкцію.

Дефекти спускових конструкцій

Стан залізобетону головної частини стапеля, стапельної плити та естакади близький до нормального.

Спускові доріжки (бетонна підстава). Візуальному огляду доступна вузька бокова поверхня вздовж доріжок висотою 25...30см. У зв'язку з тим, що поверхня доріжок закрита дерев'яним настилом, можна вважати стан цієї конструкції - задовільним. У бетонну частина спускових доріжок вбудовані стійки - кнопки, виготовлені з штабобульбового. Кнопки та металеві рибини в окремих місцях мають механічні пошкодження, не пов'язані з їх основним призначенням.

У 1983 році проводилися вибіркові випробування 10% кнопок на горизонтальне зусилля. Втрати металу від корозії не виявлено. Стан кнопок і рибин задовільний.

Дерев'яне верхнє покриття. Остання заміна дерев'яного покриття доріжок була проведена в 1984 році. В даний час дерев'яне покриття середніх спускових доріжок знаходиться в незадовільному стані і вимагає заміни через ураження гниллю соснового бруса. Також заміни потребують і крайні спускові доріжки, які знаходяться без ремонту значно більший час. З досвіду експлуатації стапелю «0» в минулі роки встановлено, що термін служби дерев'яного покриття не перевищує 15 років [14,45].

Виконане нівелювання по поверхні ковзання спускових доріжок не виявило відхилень від заданого ухилу 1:20. Підводна частина стапельних доріжок, зважаючи перебуванню їх під водою - не обстежувалася, але треба думати, що їх верхнє покриття, включаючи поріг вимагає 100% заміни через тривалий термін експлуатації.

2.3 Спосіб реновації похилого поздовжнього стапеля

Для забезпечення спуску суден на традиційних спускових пристроях необхідно усунути виявлені дефекти стапеля, спускових пристроїв та допоміжного обладнання. Для спуску суден за допомогою запропонованого способу – на пневматичних балонах, немає необхідності в ремонті спускових доріжок, тобто їх дерев'яного покриття. Але для забезпечення можливості спуску на пневматичних балонах необхідно мати плоску поверхню стапеля [51–53].

Створення плоскої поверхні можливо двома способами:

- повний демонтаж доріжок;
- заповнення простору між доріжками.

Повний демонтаж доріжок, за даними фахівців заводу, технологічно складна операція, в зв'язку з міцністю бетону, виконання якої буде не раціональною.

Заповнення простору між доріжками можливо за допомогою проставок – металевих або залізобетонних конструкцій [7,54,55]. Для визначення економічної доцільності застосування пневматичних балонів, були розроблені і розраховані проставки. Схема розташування проставок на стапелі показано на рисунку 2.9.

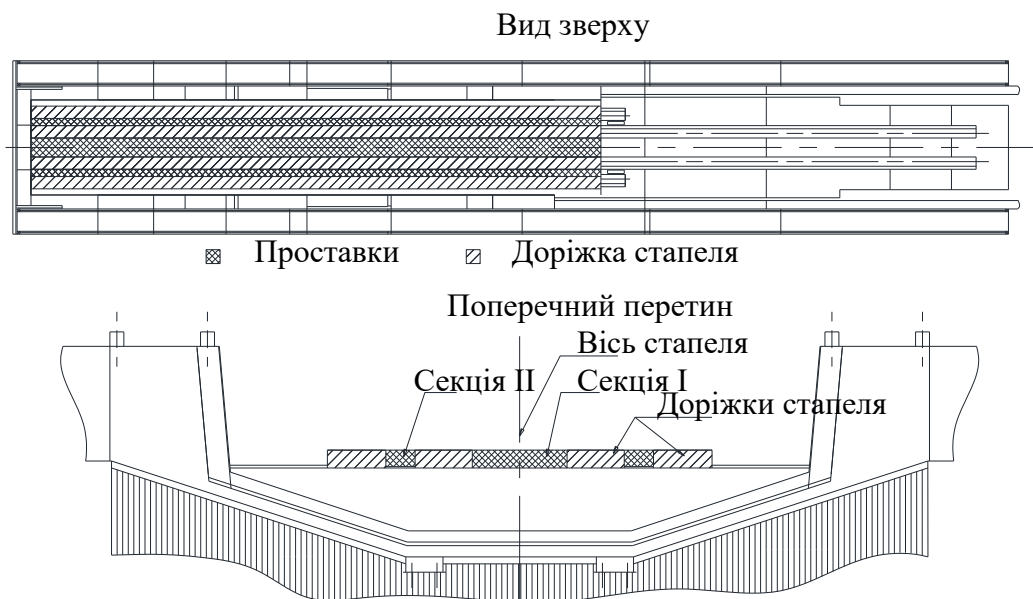


Рисунок 2.9 – Схема розташування проставок на стапелі «0»

З метою економії коштів проставки встановлюються не по всій довжині стапеля, а тільки в місці розташування судна і далі до порогу за ходом руху судна.

Для подальшого розрахунку проставок проведені розрахунки основних опорних пристроїв, на яких можливо будівництво судна, та наведена схема розташування балонів та опорних пристроїв.

Розрахунок опорних пристроїв

Формування корпусу судна на похилому поздовжньому стапелі «0» Чорноморського суднобудівного заводу виконується блочним методом. Стапель оснащений:

- опорними пристроями;
- підйомно-транспортними засобами;
- будівельними лісами;
- системами енергозбереження;
- опорні пристрої

Основні характеристиками стапеля: габаритний розмір 330x40 м; спускова маса судів - до 25 тис. т. Призначений для будівництва суден водотоннажністю до

100 тис. т , оснащений 2-ма козовими кранами в/п 900т кожен. На потужній плиті біля стапеля (250x40м.) можливий монтаж і збірка секцій масою до 1460т [14].

Опорні пристрої служать для опори і підтримки в заданому положенні і наведення при стикуванні окремих блоків корпусу судна в цілому. Оскільки споруда судна йде без пересування судна, то опорними пристроями служать кильблоки або клітки [56,57].

Розрахунок опорних пристроїв для побудови судна полягає у визначенні навантаження, що припадає на пристрій від ваги судна в період найбільшої його готовності - до моменту спуску. У нашому випадку вага судна, узята з 15% неврахованої маси, становить 22434 т.

Як правило, для традиційного спуску з похилому поздовжнього стапеля, кильблоки виставляються на практичних шпангоутах через одну шпацию. Висота кильблоків становить 0,8-1,5м від опорної поверхні стапеля. Тиск на поверхню кожного кильблока не повинно перевищувати 70т.

Клітки набираються під корпусом в районах місцевих зосереджених навантажень. Тиск на одну клітку (опорної площею 2000x2500) до 150т. Однак клітки при розрахунку опорних пристроїв не враховуються, вважаючи, що вага судна сприймається тільки кильблоками. Кількість клітин, що встановлюються на стапелі, визначається в залежності від довжини судна [58,59].

Для спуску судна на пневматичних балонах традиційна схема розташування опорних пристроїв буде недоцільною, так як для пересадки судна на спускові пристрої - пневматичні балони, необхідно мати порожні ділянки, між якими будуть розкочуватися і надуватися балони (рис. Б.1 додаток Б).

В даному випадку, для будівництва судна можливо використання як кильблоків, так і клітин.

Для визначення кількості необхідних опорних пристроїв скористаємося формулою:

$$P_{max} = \frac{D_{сп}}{n} \cdot K_T \rightarrow n = \frac{D_{сп}}{P_{max}} \cdot K_T ,$$

де P_{max} – вантажопідйомність опорного пристрою;

$D_{сп}$ – спускова вага судна;

n – кількість опорних пристроїв;

K_T – коефіцієнт нерівномірності.

Кількість кильблоків:

$$n = \frac{22434}{70} \cdot 1,6 = 513 \text{ шт.}$$

Кількість клітин:

$$n = \frac{22434}{150} \cdot 1,6 = 240 \text{ шт.}$$

Схема розташування кильблоків та клітин представлена на рисунку Б.1
Додаток Б.

2.3.1 Розрахунок оптимальних параметрів металевих проставок

Вибір конструкції металевих проставок

Для реновації стапеля розглянуто декілька типових конструкцій металевих проставок аналогічних конструкціям корпусу судна [60,61], які можливо виготовити на існуючому обладнанні: полотнище, з повздовжнім набором у вигляді зварних таврових балок – Тип А (рисунок 2.10); полотнище, з листовим перехресним набором – Тип Б (рисунок 2.11); полотнище, підкріплене поперечними ребрами жорсткості та повздовжнім листовим набором – Тип В (рисунок 2.12); полотнище з листовим перехресним набором, та конструкцією у вигляді тунельного кіля посередині – Тип Г; полотнище, з листовим повздовжнім набором, та похилими опорами – Тип Д.

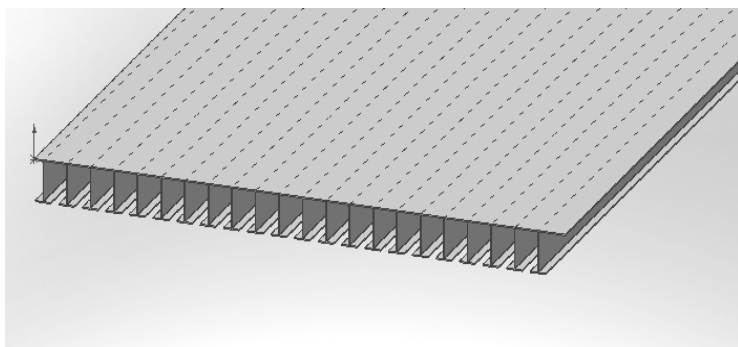


Рисунок 2.10 – Полотнище, підкріплене зварним повздовжнім тавровим набором (Тип А)

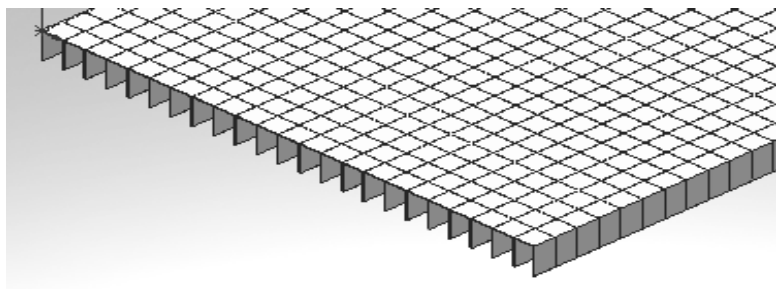


Рисунок 2.11 – Полотнище, підкріплене листовим повздовжнім та поперечним набором (Тип Б)

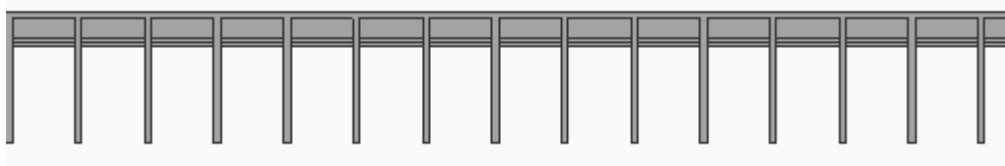


Рисунок 2.12 – Полотнище, підкріплене поперечними ребрами жорсткості та повздовжнім листовим набором (Тип В)

Критерії вибору оптимальної металевої проставки

Для того, щоб обрати найбільш прийнятну конструкцію металевої проставки було обрано метод аналізу ієрархій [62]. Проставки Тип Г и Д є не технологічними та важкими в виготовленні [60,63,64], тому їх подальший розгляд не доцільний. Проставки Тип А, Б та В спершу необхідно перевірити на міцність та підібрати необхідні товщини полотнищ та опорних конструкцій [56,65,66].

2.3.2 Дослідження з оптимізації металевих проставок

Розрахунок проставок на міцність

Розрахунок на міцність базується на тому, що конструкції повинні витримувати вагу судна водотоннажністю 60 тис. тон – максимально допустима вага для спуску судна на пневматичних балонах. Маса судна узята з 15% неврахованої маси та дорівнює 22434 т, площа днища 3903 м^2 . Сила дії судна знаходиться як відношення спускової ваги судна до площі днища та дорівнює $5,75\text{ т/м}^2$ [67–69]. Дія від опорних пристроїв, на яких будується судно (кильблоків) становить 21, 57 т/м² (рис. А.1 Додаток А).

Відстань між балонами відносно ширини смужки дотику балона з опорною поверхнею не велика, тому вважаємо, що тиск на металеві конструкції буде рівномірно розподіленим.

Приймаємо ширину конструкцій рівною відстані між доріжками – 6,76 м, а довжину 12м – довжина типових секцій, які виготовляються на ЧСЗ [14].

Міцність являється забезпеченою коли у будь-якій точці конструкції діючі напруження не будуть перевищувати межу плинності матеріалу, тобто $\sigma < \sigma_T$ [70]. Для збільшення точності розрахунку та максимального наближення до умов експлуатації, конструкції виконуємо в середовищі програмного комплексу SolidWorks/CosmosWorks «Інженерний аналіз методом скінчених елементів», це дозволяє змоделювати конструкцію в натуральну величину. У даному випадку виконуємо «статичне дослідження» [71–73].

Перевірку міцності металевих конструкцій виконуємо за наступним алгоритмом (рис. 2.13 – 2.18):

1. Побудова конструкцій у тривимірному середовищі SolidWorks.

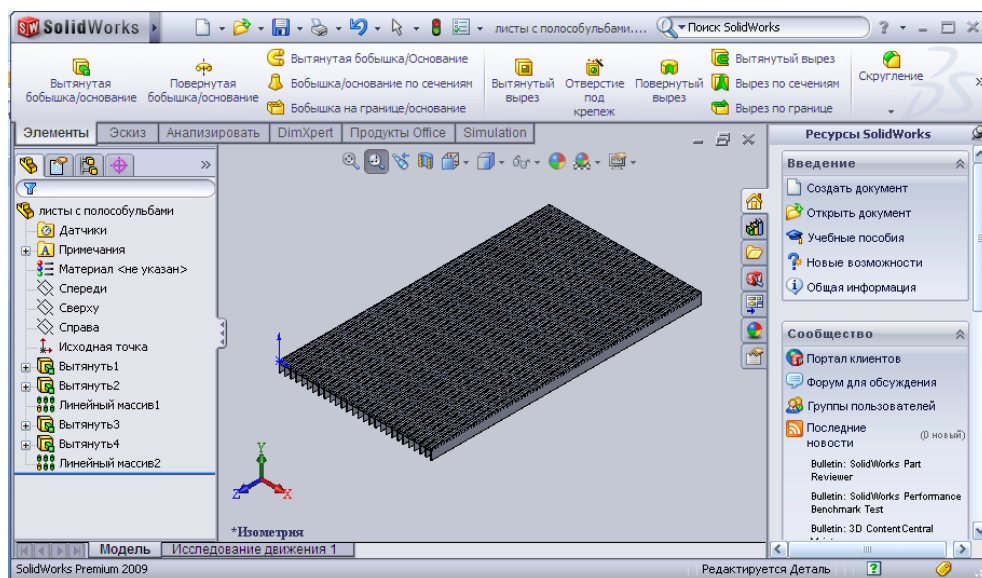


Рисунок 2.13 – Побудова конструкції

2. Завдання матеріалу: листову вуглеводисту сталь.

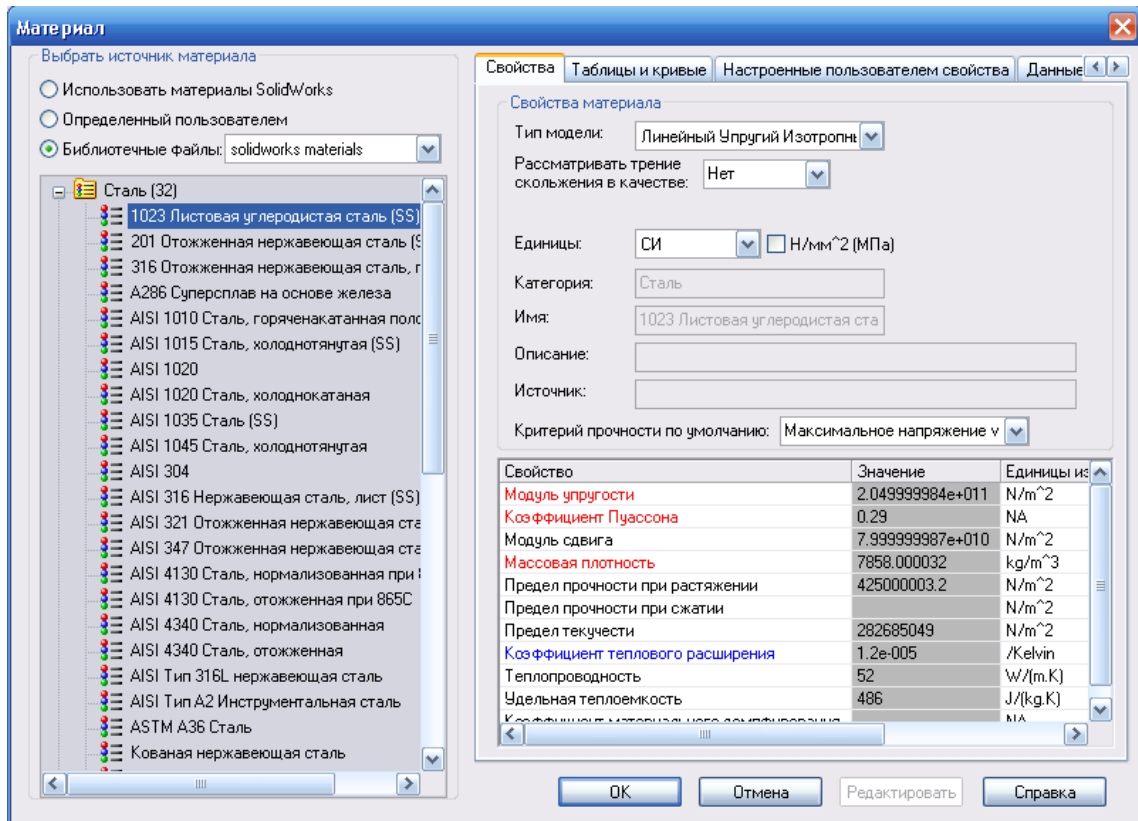


Рисунок 2.14 – Материал

3. Завдання обмежень (кріплення): зафіксована геометрія та ролик/повзун.

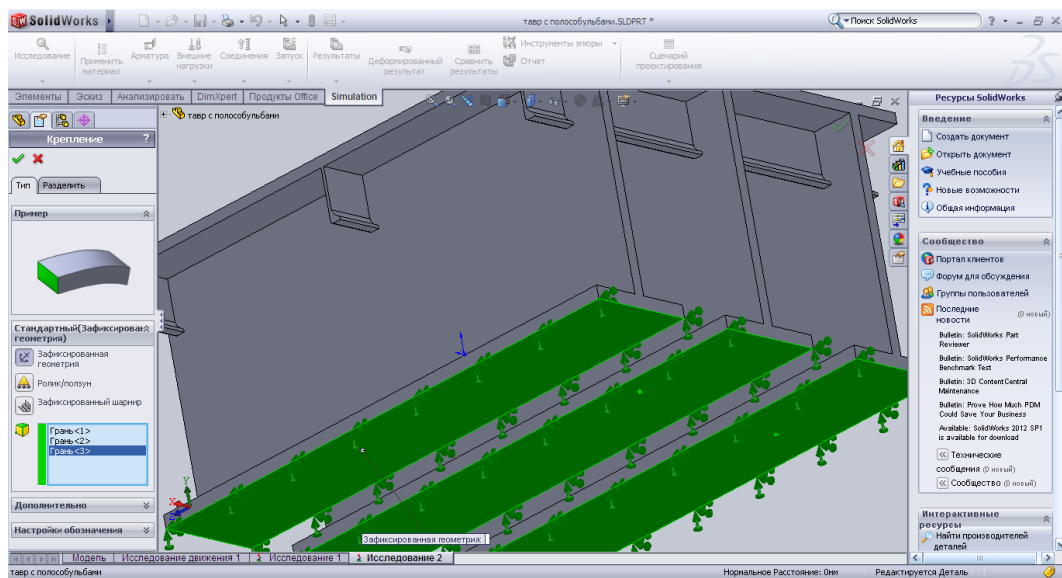


Рисунок 2.15 – Обмеження

4. Завдання тиску: перпендикулярно полотнищу діє тиск рівний $5,75 \text{ т/м}^2$ ($6 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$).

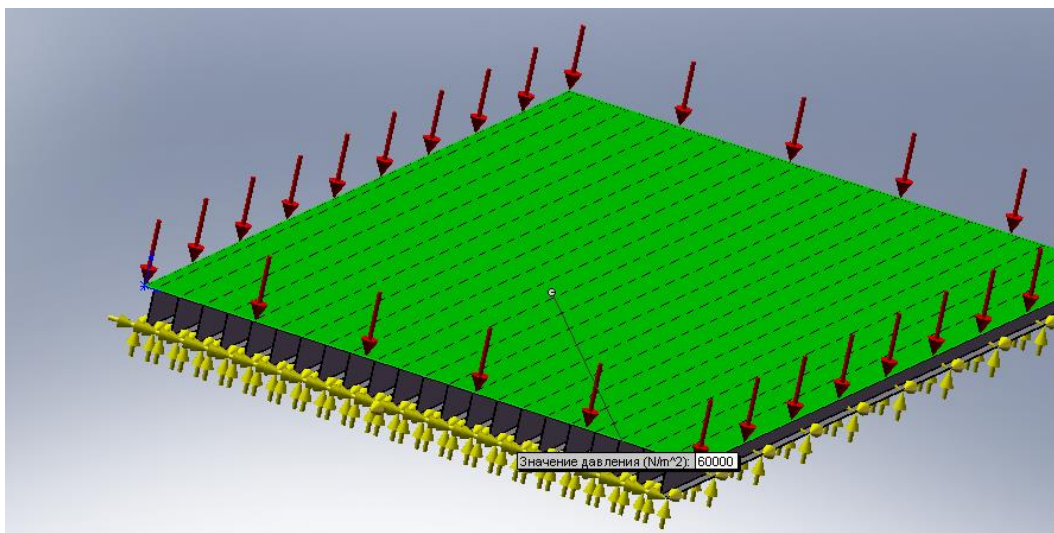


Рисунок 2.16 – Тиск

5. Задаємо розмір сітки

Оскільки метод скінчених елементів являється дискретним методом то перед, безпосередньо, розрахунком виконується дискретизація конструкції (створення сітки) [71–73]. Сітка складається з тетраедрів, які мають розміри сторін від 41мм до 206мм.

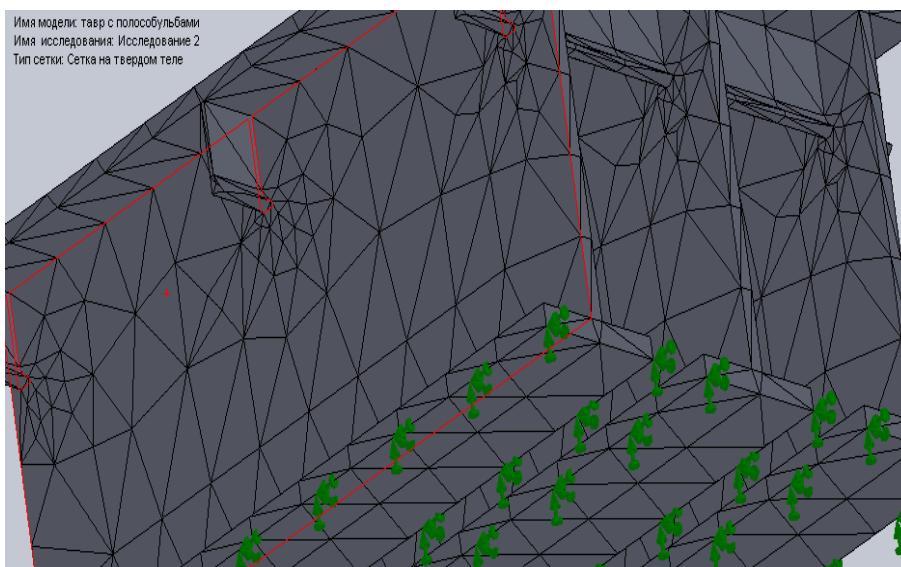


Рисунок 2.17 – Сітка

6. Запускаємо розрахунок.

7. Аналізуємо отримані результати.

В результаті отримуємо епюри зображені на рисунках А.2- А.9 Додаток А. Максимальні значення отримані від дії локальних навантажень: коефіцієнт запасу міцності 7.1, максимальне значення переміщень 0,07мм.

Якщо конструкція не витримує задані навантаження, і якісь з її елементів отримали значні деформації, тоді збільшуємо товщину настилу чи підкріплюючих елементів та повторюємо розрахунок за алгоритмом наведеним вище.

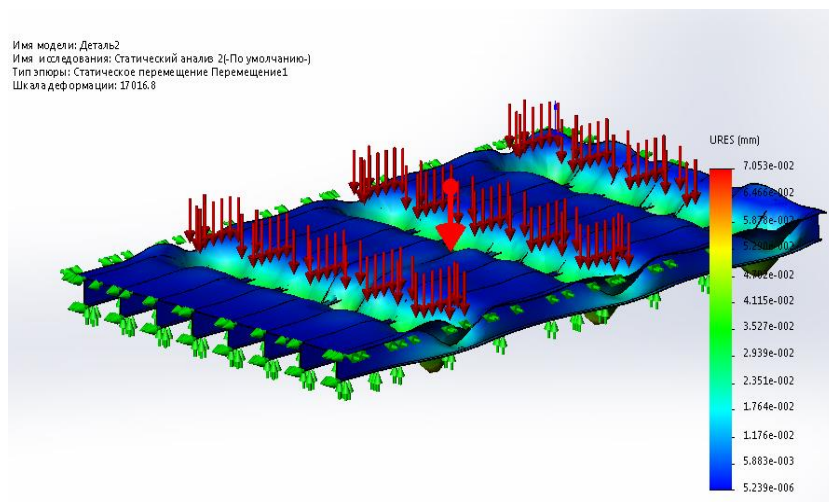


Рисунок 2.18 – Приклад епюри статичних переміщень

Розрахунок трудомісткості виготовлення конструкцій

Одним з критеріїв обрання металевих проставок є трудомісткість виготовлення. До трудомісткості виготовлення включається норма часу на виготовлення деталей, та норма часу на виготовлення вузлів та конструкцій проставок [60,74,75]. Розрахункові формули були взяті для обладнання, яке використовується на заводі ЧСЗ. Розрахунок представлений у таблиці А.1 Додаток А.

Розрахунок металоємності виготовлення конструкцій та вартість металу

Металеві конструкції виготовлені з листової вуглеводистої сталі [76], для розрахунку ваги металу необхідно визначити об'єм конструкції, та помножити його на питому масу сталі ($7,85 \text{ т/м}^3$).

Вартість металу взята з каталогу «Цены Снабинвест Экспортные поставки металлопроката, труб, запчастей подвижного состава, ПШГН в страны СНГ и дальнего зарубежья» [77].

Площа перерізу конструкції розраховується за конструкціями змодельованих у тривимірному просторі SolidWorks. Отримані результати представлені у таблиці А.2 Додаток А.

Технологічність металевих конструкцій

Технологічність конструкції – сукупність властивостей, що визначають її пристосованість для досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність являє собою комплекс робіт по зниженню трудомісткості, матеріаломісткості і собівартості в процесі розробки, виготовлення та експлуатації виробу. Технологічність поділяють на виробничу і експлуатаційну [60,74].

Виробнича технологічність проявляється у скороченні витрат, коштів і часу на конструкторську підготовку виробництва, технологічну підготовку виробництва та виготовлення виробу. Експлуатаційна технологічність проявляється у скороченні витрат коштів і часу на технічне обслуговування та ремонт виробу.

В даному випадку нас цікавить лише виробнича технологічність, яка повинна забезпечувати зниження трудомісткості, металоємності та собівартості виготовлення конструкцій.

Виробнича технологічність досягається і оцінюється в першу чергу якісно за рахунок:

- серійності при виготовленні (обробці, складанні, випробування і т.п.) та уніфікації деталей виробу;
- раціонального призначення матеріалів і зниження його витрат за рахунок вибору найбільш дешевого матеріалу без втрати якості виробництва та найбільш економного витрачання матеріалів шляхом зміни конструкції;
- вибору раціональних за формою деталей і елементів конструкцій, які забезпечують достатню жорсткість конструкції та взаємозамінність.

По вищезазначеним критеріям найбільш технологічною являється конструкція Типу А, менш технологічною конструкція Типу В та відносно гіршу технологічність має конструкція Типу Б.

Застосування методу аналізу ієрархій для вибору оптимальної конструкції

Під час проектування конструкцій, технологічних процесів завжди має місце процедура ухвалення рішення, в рамках якої проводиться певний вибір. Це припускає наявність різних варіантів (альтернатив), яким віддається перевага. В умовах невизначеності вибір рішень є досить складним завданням, а людина, що ухвалює це рішення, потребує допомоги.

Одним з напрямків у пошуку рішень, що допомагають досягти кращих результатів, є системний аналіз, у результаті якого надаються корисні рекомендації, що дозволяють допомогти вибрати альтернативу, найбільш відповідну інтересам проектанта та кращу в умовах обмеженого часу й інших ресурсів.

В даній роботі для розв'язку отриманих завдань використовується метод аналізу ієрархій (Т.Сааті) [43]. Він дозволяє побудувати граф цілей і завдань, які представляють собою ієрархічну структуру, що полягає з певної кількості рівнів. Метод полягає в декомпозиції задачі на все більш прості складові частини й подальшій обробці послідовності суджень проектанта, що ухвалює рішення, згідно парних порівнянь. Метод аналізу ієрархій (MAI) включає процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень.

На першому етапі, враховуючи принцип ідентичності й декомпозиції, що передбачає структурування проблеми у вигляді ієрархії або мережі, виберемо вид ієрархії. На першому рівні ієрархії перебуває загальна мета – вибір оптимальної металевої конструкції. На другому рівні перебувають критерії, згідно з якими вибирається необхідна форма перерізу конструкції. На третьому рівні розташовано три конструкції-кандидати, які повинні бути оцінені стосовно критеріїв другого рівня.

Конструкції-кандидати – три обрані типи проставок: Тип А, Б та В.

Після ієрархічного відтворення задачі необхідно встановити пріоритети критеріїв і оцінити кожен з альтернатив за критеріями, виявивши найважливішу з них. Для цього елементи завдання рівняються попарно стосовно їх впливу на загальну для них характеристику. Парні порівняння приводять до квадратної матриці 2.1:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

що має властивість зворотної симетричності, тобто $a_{ji} = 1/a_{ij}$, де індекси i та j відносяться до рядка й стовпцю відповідно.

Нехай $A_1, A_2 \dots A_n$ – безліч з n елементів і $w_1, w_2 \dots w_n$ – відповідно інтенсивність їх впливу (вага). Порівняння ваг можна представити в такий спосіб:

	A_1	A_2	A_3	$\dots$	A_n
A_1	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_1}{w_3}$	$\dots$	$\frac{w_1}{w_n}$
A_2	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$	$\frac{w_2}{w_3}$	$\dots$	$\frac{w_2}{w_n}$
A_3	$\frac{w_3}{w_1}$	$\frac{w_3}{w_2}$	$\frac{w_3}{w_3}$	$\dots$	$\frac{w_3}{w_n}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
A_n	$\frac{w_n}{w_1}$	$\frac{w_n}{w_2}$	$\frac{w_n}{w_3}$	$\dots$	$\frac{w_n}{w_n}$

(2.2)

Так як $w_1, w_2 \dots w_n$ невідомі заздалегідь, то попарні порівняння елементів проводяться з використанням суб'єктивних суджень, чисельно оцінюваних за шкалою в табл.2.1, а потім вирішується проблема знаходження компонент w .

Таблиця 2.1 – Шкала оцінювання

Інтенсивність важливості	Визначення	Пояснення
1	Рівна важливість	Рівний вклад двох порівнюваних елементів
3	Помірна перевага одного над іншим	Досвід та судження дають легку перевагу одного елементу над іншим
5	Істотна або сильна перевага	Досвід та судження дають сильну перевагу одного елементу над іншим
7	Значна перевага	Одному елементу надається настільки сильна перевага, що він стає практично значущим
9	Дуже сильна перевага	Очевидність переваги одного елемента над іншим підтверджується найбільш сильно
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями	Проймуться в компромісному випадку

Оцінювання проводимо за чотирма критеріями: стійкість, трудомісткість, металоємність, технологічність. Для розглянутого завдання складаються таблиці 2.2 і 2.3, які будуть використані для складання матриць згідно з (2.1) та (2.2).

Таблиця 2.2 – Попарні порівняння для рівня ієрархії 2

	Стійкість	Трудоміст. н/г	Металоємн.	Технолог.
Стійкість	1,00	2,00	3,00	4,00
Трудоміст. н/г	0,50	1,00	2,00	3,00
Металоємн.	0,33	0,50	1,00	2,00
Технолог.	0,25	0,33	0,50	1,00

Таблиця 2.3 – Попарні порівняння для рівня ієрархії 3

	А	Б	В
Стійкість			
А	1	0,333	2
Б	3	1	5
В	0,5	0,2	1
Трудомісткість			
	А	Б	В
А	1	5	2
Б	0,2	1	0,5
В	0,5	2	1
Металоемність			
	А	Б	В
А	1	4	0,5
Б	0,25	1	0,2
В	2	5	1
Технологічність			
	А	Б	В
А	1	3	2
Б	0,33	1	0,33
В	0,5	3	1

З групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, які виражають відносний вплив безлічі елементів на елемент рівня, що примикає зверху. Знаходимо відносну ймовірність кожного окремого об'єкта. Для цього обчислюємо безліч власних векторів для кожної матриці шляхом знаходження геометричного середнього, а потім нормалізуємо результат до одиниці, одержуючи тим самим вектор пріоритетів.

Компоненти власного вектора для i -го рядка з j кількістю компонентів розрахуємо за формулою 2.3.

$$a_i = \sqrt[j]{\left(\frac{w_i}{w_1}\right) \times \left(\frac{w_i}{w_2}\right) \times \left(\frac{w_i}{w_3}\right) \times \dots \times \left(\frac{w_i}{w_j}\right)} \quad (2.3)$$

Нормалізований результат для одержання оцінки вектора пріоритету одержуємо за формулою 2.4.

$$x_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (2.4)$$

де i – номер рядка, n – кількість рядків у матриці.

Для розглянутого випадку згідно (2.3) і (2.4) одержуємо вектор пріоритетів (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Вектор пріоритетів

	Стійкість	Трудоміст. н/г	Металоємн.	Технолог.
Вектор пріорит.	0,467	0,278	0,160	0,095

Для того, щоб уникнути неузгодженості матриці суджень, необхідно визначити відношення узгодженості – ВУ, яке показує відношення індексу узгодженості – ІУ вихідної матриці суджень до випадкової узгодженості матриці того ж порядку. Причому величина ВУ повинна бути близько 10%, щоб бути прийнятною. У деяких випадках можна допустити 20 %, але не більше.

Для визначення ВУ необхідно знайти найбільше власне значення матриці суджень λ_{max} за формулою:

$$\lambda_{max} = \left(\frac{w_1}{w_1} + \frac{w_2}{w_1} + \frac{w_3}{w_1} + \dots + \frac{w_n}{w_1}\right) \cdot x_1 + \left(\frac{w_1}{w_2} + \frac{w_2}{w_2} + \frac{w_3}{w_2} + \dots + \frac{w_n}{w_2}\right) \cdot x_2 + \dots + \left(\frac{w_1}{w_n} + \frac{w_2}{w_n} + \frac{w_3}{w_n} + \dots + \frac{w_n}{w_n}\right) \cdot x_n$$

Індекс узгодженості визначимо за формулою:

$$IU = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

де n – кількість порівнюваних елементів.

Величину ВУ знайдемо за формулою:

$$BU = IU / BBU,$$

де ВБУ – величина випадкової узгодженості для випадкових матриць різного порядку.

Для розглянутого випадку $\lambda_{max} = 6,312$, $IU = 0,062$, $BU = 5\%$.

Для третього рівня виконуються аналогічні обчислення, результати яких представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Розв'язки й узгодженість для рівня ієрархії 3

Альтернативи	А	Б	В	λ_{max}	ИС	ОС
Вектор пріоритетів	Стійкість					
	0,230	0,648	0,122	3,00	0,00	0,00
	Трудомісткість, н/г					
	0,595	0,128	0,276	3,01	0,00	0,00
	Металоємність					
	0,333	0,097	0,570	3,03	0,01	0,01
	Технологічність					
	0,528	0,139	0,333	3,047	0,02	0,03

Наступним етапом є застосування принципу синтезу. Для виявлення складених або глобальних пріоритетів у матриці, локальні пріоритети розташовуються стосовно кожного критерію, кожний стовець множиться на пріоритет відповідного критерію й результат складається уздовж кожного рядка (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Глобальні пріоритети

	0,467	0,278	0,160	0,095	Глобальні пріоритети
А	0,230	0,595	0,333	0,528	0,376
Б	0,648	0,128	0,097	0,139	0,367
В	0,122	0,276	0,570	0,333	0,257

Аналізуючи отримані глобальні пріоритети можна зробити висновок, що найбільш оптимальною є альтернатива А– проставка Тип А, яка має максимальне значення глобального пріоритету. Дана форма перерізу перевершує інші в 1,1...1,5 рази й буде прийнята для подальших розрахунків.

2.3.3 Дослідження з оптимізації залізобетонних конструкцій

Вибір конструкції залізобетонних проставок

Як було зазначено вище, для створення плоскої поверхні необхідно заповнити простір між спусковими доріжками.

Залізобетонні конструкції, якими заповнюється простір між доріжками повинен відповідати наступним вимогам: витримувати відповідні навантаження, мати мінімальну собівартість, бути технологічними та мати відносно малу матеріалоємність .

Для забезпечення плоскої поверхні стапеля розглянемо декілька варіантів типових конструкцій [54,78,79]. Так як необхідно заповнити простір між внутрішніми та зовнішніми спусковими доріжками, до уваги беремо два типорозміри залізобетонних конструкцій [80]. На рис.2.9 зображено спускові доріжки стапеля «0» на ЧСЗ з відповідними розмірами.

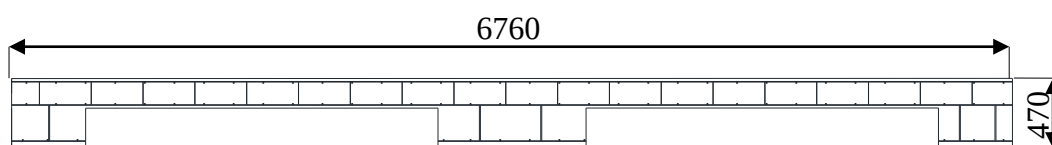


Рисунок 2.19 – Залізобетонна конструкція на опорах, армована каркасом і сіткою для розміщення між внутрішніми спусковим доріжками (Тип Г)

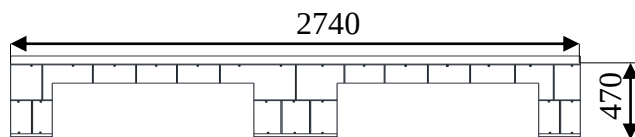


Рисунок 2.20 – Залізобетонна конструкція на опорах, армована каркасом і сіткою для розміщення між зовнішніми спусковими доріжками (Тип Г')

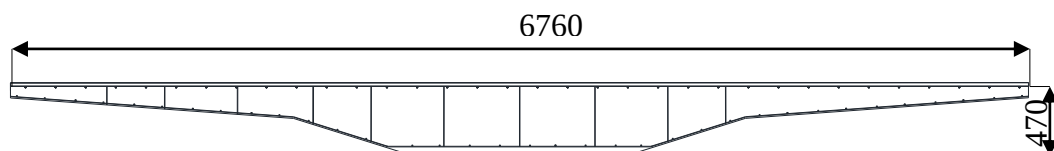


Рисунок 2.21 – Залізобетонна конструкція складного профілю для розміщення між внутрішніми спусковими доріжками (Тип Д)

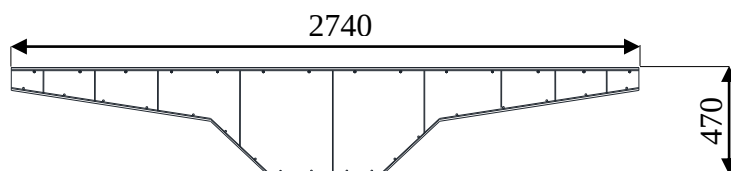


Рисунок 2.22 – Залізобетонна конструкція складного профілю для розміщення між зовнішніми спусковими доріжками (Тип Д')

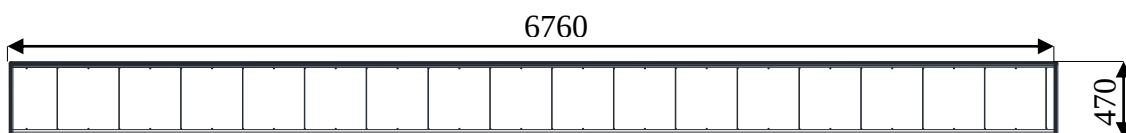


Рисунок 2.23 – Залізобетонна плита, армована каркасом і сіткою для розміщення між внутрішніми спусковими доріжками (Тип Е)

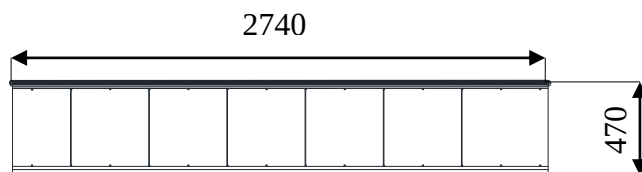


Рисунок 2.24 – Залізобетонна плита, армована каркасом і сіткою для розміщення між зовнішніми спусковими доріжками (Тип Е')

Вибір оптимальної залізобетонної конструкції методом комплексного аналізу

Використовуючи конструкції на опорах (Тип Г, Г') рисунок 2.19, рисунок 2.20 можна зменшити витрати матеріалу, а саме бетонної суміші. Проте для забезпечення міцності конструкції в прольотах між опорами необхідно їх додатково зміцнювати арматурою, що призведе до ще більшого її здороження. Також для виготовлення такої проставки буде використовуватись досить складний технологічний процес, з використанням нестандартної дорогої оснастки. Трудомісткість, собівартість та матеріалоемність такої конструкції буде високою, тому її використання буде недоцільним.

Другий тип проставки (Тип Д, Д') рисунок 2.21, рисунок 2.22 попри меншу матеріалоемність має також ряд недоліків. По-перше, і найголовніше дана конструкція не підходить з точки зору забезпечення міцності, оскільки навантаження від судна викликають великі згинальні моменти на крилах. По-друге, оскільки форма конструкції є досить складною, технологічний процес виготовлення буде збільшувати її собівартість. Таким чином, використання такого типу проставки є нераціональним.

Третій тип проставки (Тип Е, Е') рисунок 2.23, рисунок 2.24, який представляє собою плиту армовану каркасом і сіткою являється найбільш оптимальним, оскільки його проста форма спрощує технологічний процес і здешевлює собівартість виготовлення, так як не вимагає складних форм та оснастки. Розрахунок міцності такої конструкції проводиться нижче.

2.3.4 Розрахунок вибраної залізобетонної конструкції

Вибір матеріалу плити та арматури

Вибір марки бетону та розмірів арматури виконується виходячи з рекомендацій кваліфікованих спеціалістів з конструкторсько-проектної організації. Для забезпечення міцності плити вибрано клас бетону В30 марки М200. В30 вказує на середнє арифметичне значення міцності зразків на

стискання в кг/см^2 . М200 вказує на гарантовану міцність в МПа, тобто міцність, яка досягається в 95% з 100%.

Для верхньої армованої сітки обираємо арматуру марки А400С з діаметром 8 мм та шагом розміщення 200 мм. Для нижньої армованої сітки беремо арматуру у поздовжньому напрямі марки А400С з діаметром 16мм і шагом 150 мм, у поперечному напрямі – марки А400С з діаметром 8 мм, шагом 200 мм. З'єднувальні стержні являють собою арматуру тієї ж марки з діаметром 6 мм та шагом розміщення 400х400 мм. Закладні деталі, за допомогою яких конструкція переноситься краном, виготовлені з арматури марки А240С з діаметром 20мм. Виходячи з маси проставки, приймаємо ширину конструкцій рівною відстані між доріжками, 6.76м, а довжину 2м. Розрахункова схема конструкції представлена на рисунку 2.25.

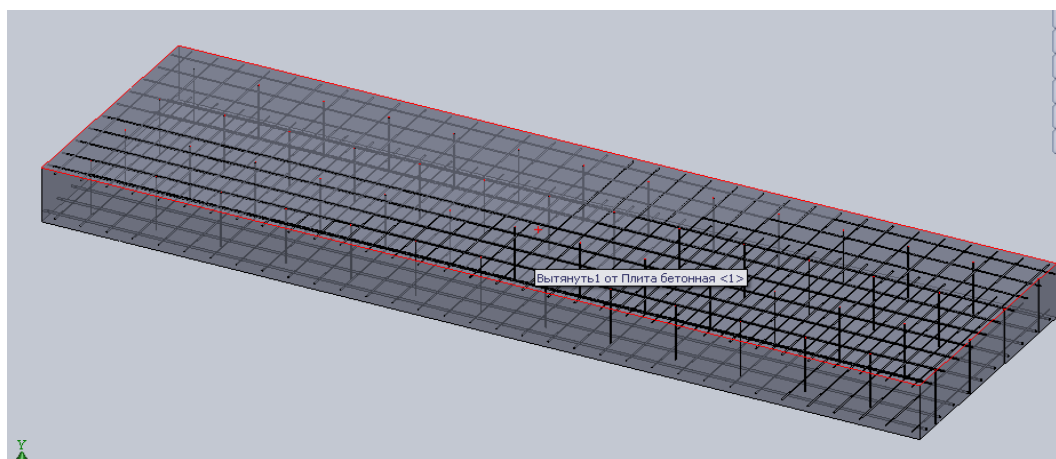


Рисунок 2.25 – Залізобетонна конструкція армована каркасом і сіткою

Розрахунок міцності плити

Для перевірки міцності залізобетонних конструкцій використовувалась розрахунково-конструкторська система SCAD, яка використовує метод скінченних елементів (рис. 2.26 – 2.30) [81–83].

Використано програмний додаток АРБАТ в якому проводиться експертиза розрахункової плити.

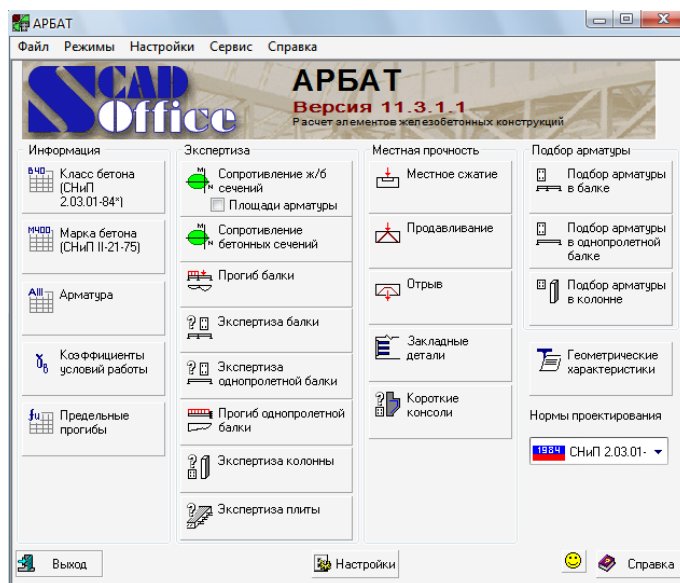


Рисунок 2.26 – Программный додаток АРБАТ

Задаємо загальні параметри плити: розмір, арматуру, умови защемлення.

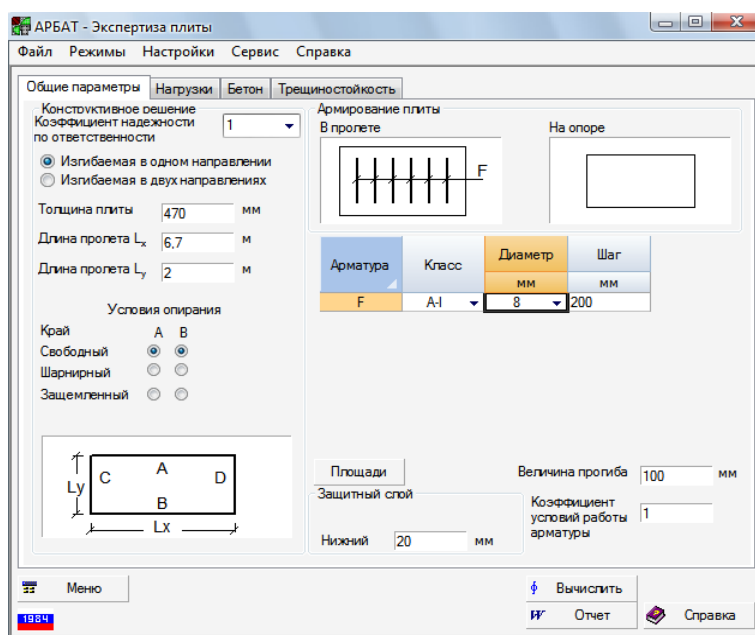


Рисунок 2.27 – Загальні параметри плити

Вказуємо навантаження на розрахункову плиту.

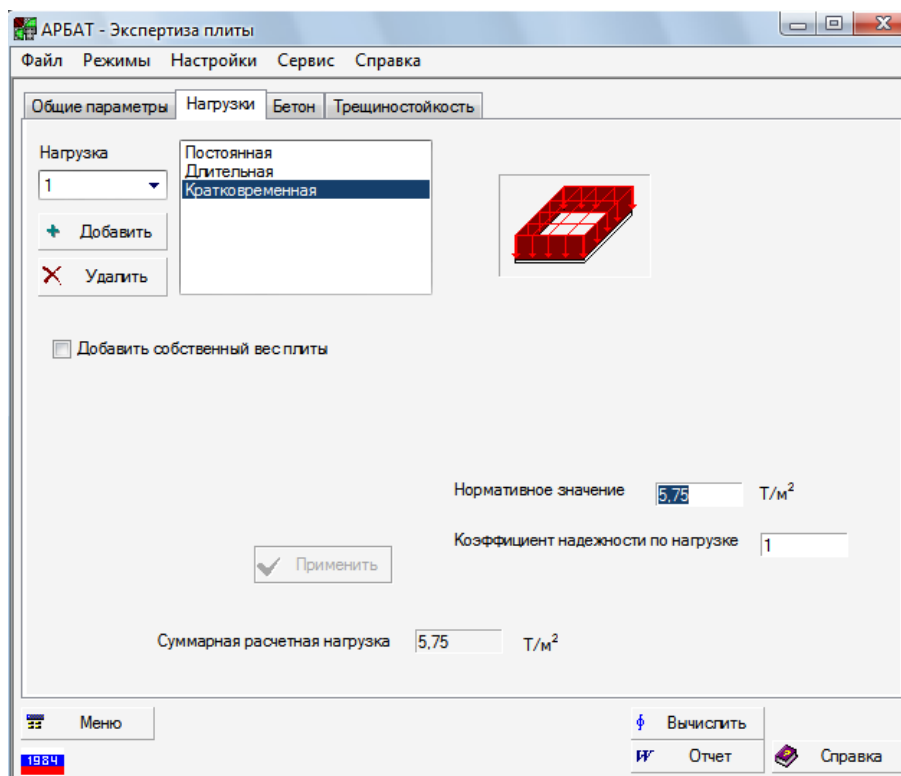


Рисунок 2.28 – Навантаження

Переходимо безпосередньо до розрахунку плити в системі SCAD.

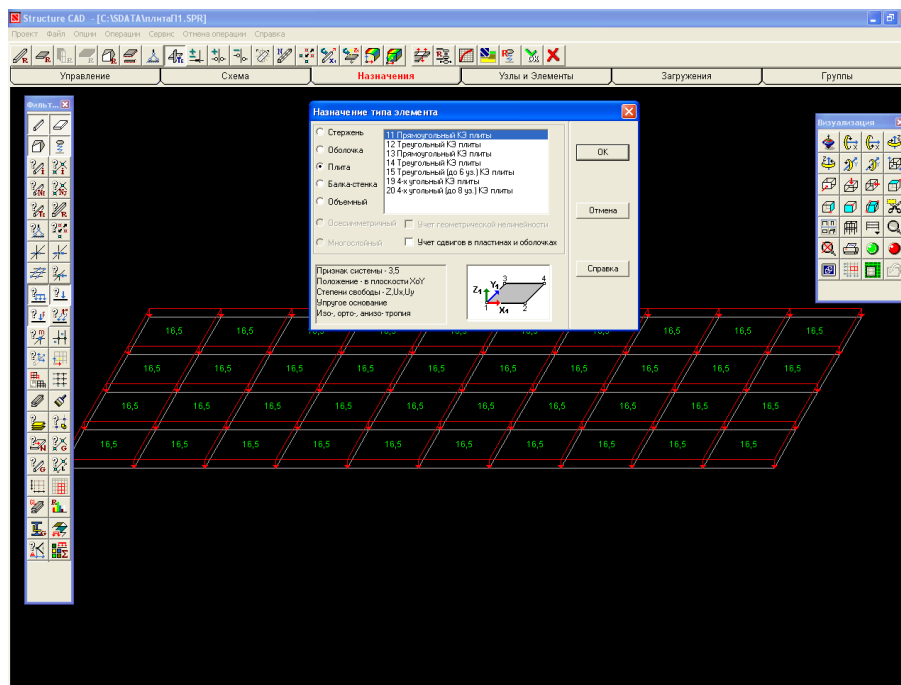


Рисунок 2.29 – Розрахунку плити в системі SCAD

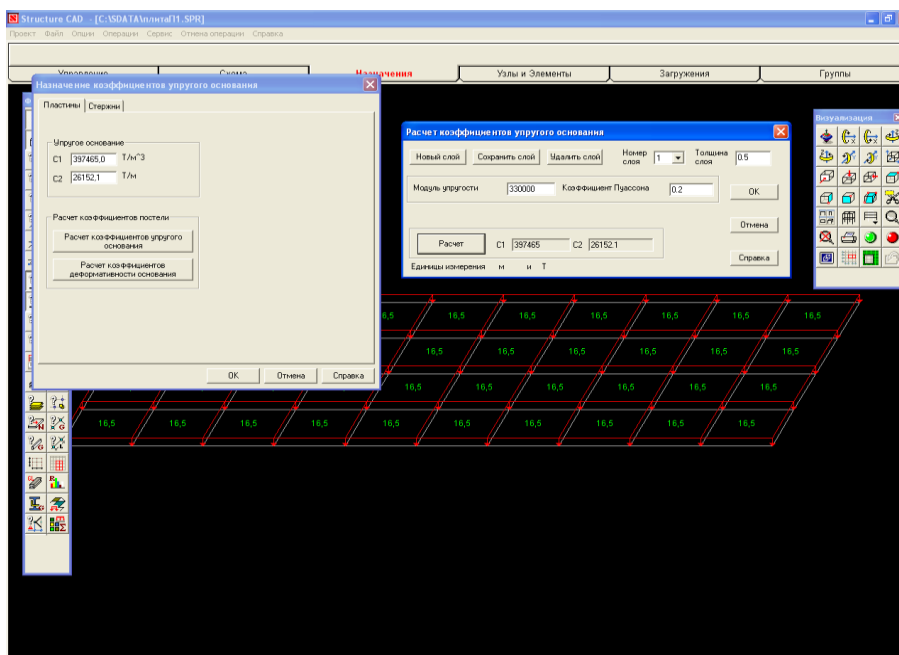


Рисунок 2.30 – Розрахунок в системі SCAD

Звіт з результатами розрахунку отримаємо в табличній формі (табл. А.3 – А.7 Додаток А).

Так як максимальні перерізуючі сили, напруження та переміщення є досить малими, тому розрахункова плита витримає навантаження $5,75 \text{ т/м}^2$, арматура і марка бетону підібрані вірно.

Проставки обраного типу Е (рис. 2.23, 2.24) є типовими для підприємств спеціалізованих на виготовленні залізобетонних конструкцій. Технологія виготовлення не має відмінностей від звичайних залізобетонних плит.

2.4 Висновки

Розглянути похилі повздовжні стапелі двох крупних суднобудівних заводів ЧСЗ та ЗШО. Проведено дослідження з реновації поздовжнього похилого стапеля на прикладі стапеля «0» ПАТ «Чорноморського суднобудівного заводу». Зібрані основні гідрогеологічні й конструктивні характеристики, та проведений аналіз стану стапеля.

Досліджені можливі методи реновації стапеля, та методом комплексного аналізу обраний найбільш прийнятний напрям – заповнення простору між

спусковими доріжками для створення плоскої поверхні, що дає можливість спускати судна на пневматичних балонах.

Проведений розрахунок оптимальних параметрів металевих та залізобетонних проставок необхідних для реновації поздовжнього похилого стапеля .

Отримані результати представлені в наступних виданнях:

1. Смирнова Л. С., Рашковський О. С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування №1. – Миколаїв: НУК, 2012.– URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.

2. Смирнова Л. С., Рашковский А. С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах .Зб. наук. праць НУК № 1. – Миколаїв: НУК, 2013. С. 11–15.

РОЗДІЛ 3

СПУСК СУДНА З ПОХИЛОГО ПОЗДОВЖНЬОГО СТАПЕЛЯ НА ПНЕВМАТИЧНИХ БАЛОНАХ

3.1 Загальні відомості та основні позначення

У світовому суднобудуванні найбільш складним вважається спуск судна з похилого поздовжнього стапеля, так як є не керованим. Він також вважається найбільш трудомістким, щоб здійснити спуск судна на воду, його встановлюють на спеціальні, спускові пристрої [1,3,84].

Виходячи з характеру руху і природи сил, що діють на судно, спуск умовно розділяють на чотири періоди.

Найбільш небезпечним є третій період. При нормальному спуску (без перекидання) судно ковзає по доріжках задніми кінцями полозів і одночасно повертається навколо горизонтальної осі, що проходить через них, тобто поступово спливає. Якщо спуск відбувається з перекиданням, тоді перед спливанням відбувається обертальний рух навколо порога[85].

При статичному дослідженні спуску передбачається, що судно переміщується по спусковим доріжках з нескінченно малою швидкістю і, отже, гідродинамічні сили нескінченно малі.

Основне завдання статичного дослідження - встановити положення судна, при якому виникає кутове переміщення (перекидання або спливання) та значення баксового тиску.

Для визначення шляху, пройденого судном до початку спливання, і величини баксового тиску, а також для встановлення можливості перекидання достатньо мати данні статичного розрахунку другого періоду. Результати такого розрахунку, виконаного за допомогою масштабу Бонжана, можна представити графічно у вигляді двох типів діаграм – англійської чи французької. Перевагою англійської діаграми перед французькою є її наочність. Тому для проведення дослідження обираємо англійську діаграму [8,49].

Англійська діаграма представляє сукупність графіків, що зображують залежність від шляху S , пройденого з початку другого періоду, наступних величин [11,84]:

- сили ваги D_C ;
- сили плавучості γV ;
- моменту сили ваги відносно заднього кінця полозу M_D ;
- моменту сили плавучості відносно заднього кінця полозу M_V ;
- моменту сили ваги відносно порогу M'_D ;
- моменту сили плавучості відносно порогу M'_V

Спуск проводиться кормою вперед по прямим доріжках. Будемо користуватися пов'язаної з судном системою координат $xu'z'$, в якій координатними площинами є:

- площина $xO'u'$, збігається з основною площиною судна;
- діаметральна площина $xO'z'$;
- поперечна площина $x'O'z'$, що проходить через центр ваги судна, тобто відстроїть від площини мидель-шпангоута yOz на відстані, рівному абсцисі центру ваги x_g .

Абсцису центру величини і центру ваги площі ватерлінії, відраховуємо від площин yOz і $y'O'z'$ будемо позначати відповідно x_C , x_f та x'_C , x'_f , звідки

$$x'_C = x_C - x_G \text{ та } x'_f = x_f - x_G.$$

Приймемо наступні позначення елементів нерухомої частини спускового пристрою:

β – кут нахилу спускових доріжок;

T_0 – глибина води на порозі;

λ – довжина підводної частини спускових доріжок;

Елементи рухомої частини спускового пристрою:

α – кут нахилу основної площини (ОП) до горизонту;

L_1 – довжина передньої частини спускового пристрою (від площини $y'O'z'$ до кормового перпендикуляра);

L_2 – довжина задньої частини спускового пристрою (від площини $y'O'z'$ до кормового перпендикуляра);

b – довжина спускового балона;

c – підвищення ОП над спусковими доріжками в площині $y'O'z'$
 рисунок 3.1.

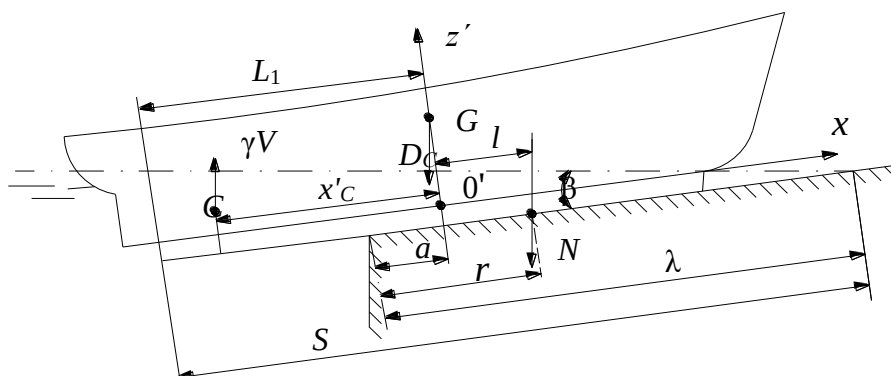


Рисунок 3.1 – Сили, які діють під час спуску судна

Кут α не суттєво відрізняється від кута β , тому можемо припустити:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha \text{ и } \cos \alpha \approx 1.$$

Зазвичай посадка судна на стапелі задається величинами c_1 й c_2 – підвищення ОП над доріжками відповідно у кормового та носового перпендикулярів. Використовуючи ці позначення, можна записати співвідношення:

$$\alpha = \beta + \frac{c_2 - c_1}{L_1 + L_2}.$$

3.2 Спуск судна з існуючих похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах

3.2.1 Спуск танкера зі стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу у першому наближенні

Дослідження проведено на прикладі танкера вантажопідйомність 59610 т основні характеристики якого представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики судна

Характеристики	Значення
Довжина між перпендикулярами $L_{\perp}$, м	174,6
Ширина судна B , м	31,1
Висота борту судна H , м	17,1
Осадка судна T , м	12,2
Коефіцієнт загальної повноти корпусу судна C_b	0,79
Густина вантажу μ , т/м ³	0,75
Вантажопідйомність судна D , т	59610
Спускова вага судна D_C , т	12035,11
Абсциса центру мас (ЦМ) судна порожнем x_G , м	-15,12
Апліката центру мас (ЦМ) судна порожнем z_G , м	10,93

Як було зазначено в розділах 1 та 2, для спуску судна з поздовжнього похилого стапеля «0» ЧСЗ було запропоновано використання пневматичних спускових балонів замість традиційних спускових пристроїв [85,86].

Для розрахунку спуска судна-прототипа необхідно провести розрахунок кількості пневматичних балонів, відстані між ними та виконати креслення розташування балонів під судном.

Кількість спускових пневматичних балонів

Використовуючи загальновідомі формули, які надають компанії – постачальники, знаходимо кількість балонів по формулі 3.1 [23,24]:

$$N=K_1 \frac{Q \cdot g}{C_b \cdot R_{ad} \cdot L_d} + N_1, \quad (3.1)$$

де K_1 – коефіцієнт запасу, $K_1 = 1,2 \div 1,3$;

Q – спускова маса судна, $Q=D_C=12035.11$ т;

C_b – коефіцієнт загальної повноти спускового судна, $C_b=0,79$;

R_{ad} – допустиме навантаження на одиницю довжини балона, $R_{ad}=113.21$ кН/м (табл. Б.1 Додаток Б);

L_d – довжина дотику між днищем судна та балоном на міделі, $L_d=15$ м;

N_1 – кількість пневматичних балонів між порогом стапеля та кормовим перпендикуляром, $N_1=1$.

$$N = 1,2 \frac{12035,11 \cdot 9,81}{0,79 \cdot 113,21 \cdot 15 \cdot 2} + 1 = 53 \text{ шт.}$$

Довжина одного обраного балона 18м, це вдвічі менше ніж ширина судна, тому використовуємо балони в два ряди (рис. 3.2). Таке розташування балонів забезпечує необхідну остійність судну під час спуску. Обираємо загальну кількість балонів $N_{\Sigma}=106$ шт.

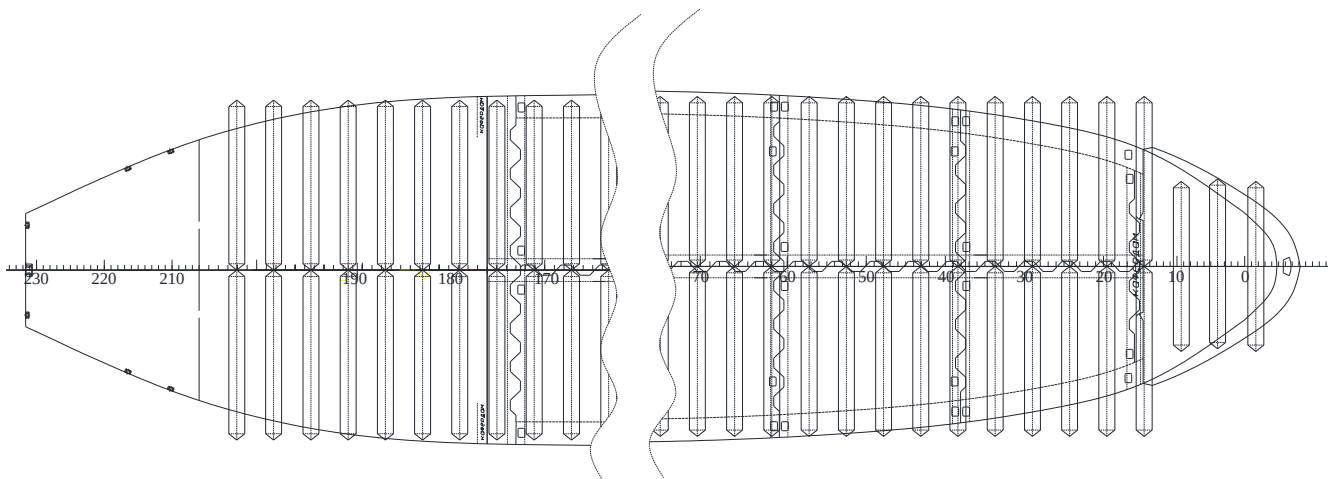


Рисунок 3.2 – Умовне позначення розташування балонів під судном

Відстань між балонами

Відстань між центрами двох сусідніх пневматичних балонів повинна відповідати необхідній міцності конструкцій корпусу судна. Як правило, відстань між центрами може бути розраховане за допомогою формули 3.2 [23,24]:

$$l = \frac{L_{\perp\perp}}{N_{\Sigma}-1}; l \leq 6 \text{ та } l \geq \frac{\pi D}{2} + 0,5, \quad (3.2)$$

де: $L_{\perp\perp}$ – довжина судна, $L_{\perp\perp}=174,6$ м;

N_{Σ} – кількість спускових пневматичних балонів, $N_{\Sigma}=106$ шт;

D – номінальний діаметр спускових пневматичних балонів, $D=1,8$ м.

$$l = \frac{174,6}{106-1} = 3,4 \leq 6; \quad l = \frac{3,14 \cdot 1,8}{2} + 0,5 = 3,3 \leq 3,4.$$

Приймаємо відстань між спусковими балонами 3,3 м.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики обраних балонів

Діаметр D , м	1,8
Робоча висота, м	0,9
Допустиме навантаження на одиницю довжини, кН/м	113,21
Довжина, м	18
Вага, кг	581
Об'єм, м ³	48,5

За основними розмірними характеристиками балонів та обраною відстанню розставляємо пневматичні балони. Також слід враховувати деформацію балона від дії ваги судна, тобто балони в поперечному перерізі мають форму приплющеного еліпсу рисунок 3.3 [87,88].

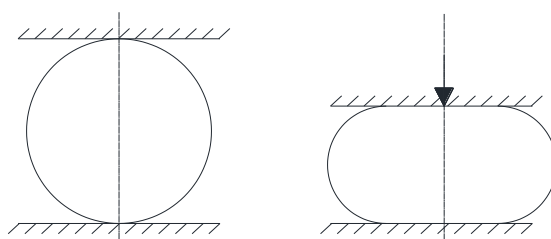


Рисунок 3.3 – Зміна форми балона під вагою судна

Дослідження розрахунку англійської діаграми спуска танкера

Спуск судна відбувається з використанням пневматичних балонів [28,29,89]. Діаграма будується для другого періоду поздовжнього спуску, тобто коли ЦМ судна рухається паралельно площині стапеля, та дозволяє визначити: перекидання, початок спливання та найбільше значення баксового тиску. Статичний розрахунок другого періоду поздовжнього спуску судна виконується за допомогою масштабу Бонжана. За початок другого періоду вважаємо момент, коли кормовий перпендикуляр досягає урізу води [90–92].

Вихідні данні для розрахунку:

спускова вага..... $D_C=12035,11\text{т}$;

координати його ЦМ..... $x_g = -15,12\text{ м}$; $z_g = 10,93\text{ м}$;

підвищення ОП над площиною стапеля..... $c=0,9$ м;
 уклін стапеля..... $\beta=0,05$;
 уклін ОП..... $\alpha=\beta=0,05$;
 розрахункова глибина води на порозі..... $T_0=3,6$ м;
 довжина підводної частини стапеля..... $\lambda=68,7$ м;
 питома вага води..... $\gamma=1,025$ т/м³.

Попередньо встановлюємо наближене значення ватерлінії спливання та значення баксового тиску [11]. Для цього за гідростатичними кривими (водотоннажність $D_C=12035,11$ т) визначаємо для спущеного на воду судна:

- середню осадку..... $T=2,98$ м;
- координати ЦВ..... $x_C=7,088$ м; $z_C=1,561$ м;
- абсцису ЦМ площі ВЛ..... $x_f=7,195$ м;
- поздовжній метацентричний радіус..... $R=646,3$ м.

Розрахунок характеристик остійності судна проводиться згідно з Правилами класифікаційних товариств [93,94]. Розраховуємо поздовжню метацентричну висоту

$$H=R+z_C-z_g; \quad (3.3)$$

$H=639,93$ м;

диферент

$$\psi = \frac{x_g - x_C}{H}; \quad (3.4)$$

$\psi = -0,0349$.

Наближене значення баксового тиску [11]

$$N_6 = \frac{D_C H}{L_2 - x'_f} (\alpha + \psi), \text{ т}, \quad (3.5)$$

де $x'_f = x_f - x_g = 7,195 - (-15,12) = 22,315$ – відстань між центром ваги площі ватерлінії та площини $y'O'z'$.

$N_6 = 1678,196$ т.

З гідростатичних кривих для водотоннажності

(3.6)

$$V_2 = \frac{1}{\gamma} (D_C - N_6), \text{ м}^3,$$

$$V_2 = 10104,31 \text{ м}^3.$$

знімаємо значення середньої осадки $T'_{cp} = 2,5$ м та $x_{f2} = 7,28$ м.

Тоді наближено (з 20%-вим запасом) ватерлінія спливання проходить на відстані h' над кілем та являється верхньою розрахунковою ватерлінією

$$h' = 1,2(T'_{cp} + x'_{f2} \cdot \alpha), \text{ м}, \quad (3.7)$$

$$\text{де } x'_{f2} = x_{f2} - x_g.$$

$$x'_{f2} = 7,28 - (-15,12) = 22,4 \text{ м};$$

$$h' = 1,2 \cdot (2,5 + 22,4 \cdot 0,0524) = 4,41 \text{ м}.$$

Параметри нижньої розрахункової ватерлінії визначаємо з умов знаходження судна на порозі

$$h'' = T_0 - c = 3,6 - 0,9 = 2,7 \text{ м}. \quad (3.8)$$

$$h'' = 2,7 \text{ м}.$$

Нижня розрахункова ватерлінія визначається осадками на носовому та кормовому перпендикулярах:

$$T_H = h'' - \left(\frac{L}{2} - x_g \right) \alpha, \text{ м}; \quad (3.9)$$

$$T_K = h'' + \left(\frac{L}{2} + x_g \right) \alpha, \text{ м}. \quad (3.10)$$

$$T_H = -2,67 \text{ м};$$

$$T_K = 6,48 \text{ м}.$$

Положення нижніх розрахункових ватерліній визначається величиною

$$\Delta h = (h' - h'')/n, \text{ м}, \quad (3.11)$$

де $n=5$ – кількість розрахункових ватерліній.

$$\Delta h = 0,342 \text{ м}.$$

Округлюючи, приймаємо відстань між розрахунковими ватерлініями рівну 0,35 м. Від верхньої розрахункової ватерлінії вниз з кроком $\Delta h = 0,35$ м та паралельно ній наносимо на масштабі Бонжана ватерлінії рис. 3.4.

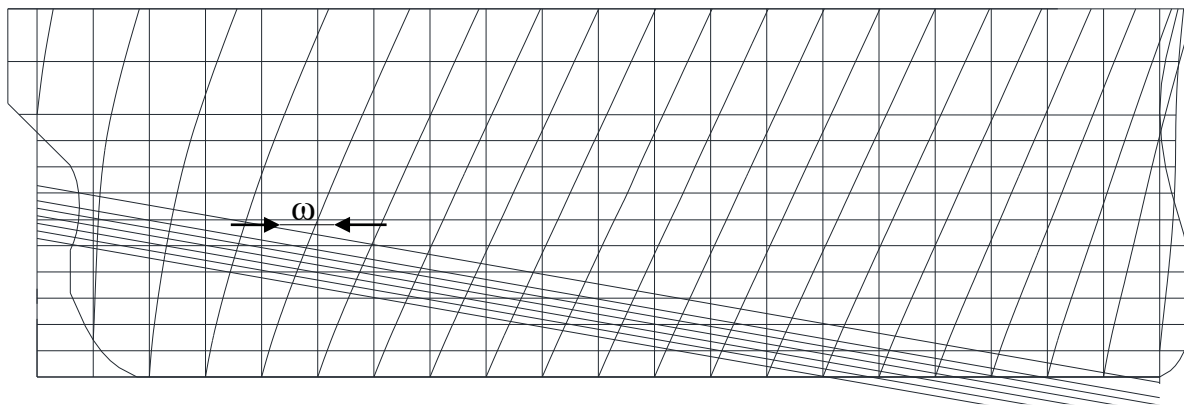


Рисунок 3.4 – Масштаб Бонжана з нанесеними ватерлініями спливання

Подальші розрахунки проводимо у табличній формі. По ватерлініям, нанесеним на масштаб Бонжана знімаємо значення площ шпангоутів ω , розрахувавши для кожної ватерлінії:

силу плавучості

$$\gamma V = \gamma \cdot \Delta L \cdot \Sigma \omega, \text{ т}; \quad (3.12)$$

момент сили плавучості відносно площини yOz

$$M = \gamma \cdot \Delta L^2 \cdot \Sigma (n \cdot (\omega_n - \omega_k)), \text{ т} \cdot \text{м}, \quad (3.13)$$

де ω_n та ω_k – площі шпангоутів віднесені до носового та кормового перпендикулярів відповідно;

момент сили плавучості відносно площини $y'O'z'$

$$M' = M - \gamma V x_g, \text{ т} \cdot \text{м}. \quad (3.14)$$

Результаті розрахунку представлено в таблицях 3.3 – 3.8.

Таблиця 3.3 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.
Ватерлінія 6

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	109,1		109,1	0
9,11	1	94,55	123,3	-28,75	-28,75

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6
			Площа шп.		
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
8,12	2	79,45	136,55	-57,1	-114,2
7,13	3	64,15	148,75	-84,6	-253,8
6,14	4	49	158,9	-109,9	-439,6
5,15	5	34,6	161,05	-126,45	-632,25
4,16	6	20,95	148,8	-127,85	-767,1
3,17	7	8,8	116,55	-107,75	-754,25
2,18	8	0	68,55	-68,55	-548,4
1,19	9	0	17,6	-17,6	-158,4
0,2	5	0	0	0	0
		460,6	1080,05		$\Sigma 2 = -3696.75$
		$\Sigma 1 = 1540,65$			

$$\gamma V = 13786,12 \text{ т} ; M = - 288783,54 \text{ т·м} ; M' = - 80337,38 \text{ т·м}.$$

Таблиця 3.4 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.
Ватерлінія 5

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	98,2		98,2	0
9,11	1	83,65	112,45	-28,8	-28,8
8,12	2	68,7	125,7	-57	-114
7,13	3	53,65	137,95	-84,3	-252,9
6,14	4	39	148,15	-109,15	-436,6

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
5,15	5	25,25	150,6	-125,35	-626,75
4,16	6	12,4	139,3	-126,9	-761,4
3,17	7	0	109,1	-109,1	-763,7
2,18	8	0	63,9	-63,9	-511,2
1,19	9	0	16,2	-16,2	-145,8
0,2	5	0	0	0	0
		380,85	1003,35	$\Sigma 2 = -3641,15$	
		$\Sigma 1 = 1384,2$			

$$\gamma V = 12386,17 \text{ Т}; M = -284440,17 \text{ Т} \cdot \text{м}; M' = -97161,31 \text{ Т} \cdot \text{м}.$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.
Ватерлінія 4

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	87,3		87,3	0
9,11	1	72,85	101,55	-28,7	-28,7
8,12	2	58,05	114,8	-56,75	-113,5
7,13	3	43,35	127,15	-83,8	-251,4
6,14	4	29,25	137,5	-108,25	-433
5,15	5	16,1	140,25	-124,15	-620,75
4,16	6	4,05	129,95	-125,9	-755,4
3,17	7	0	101,75	-101,75	-712,25

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
2,18	8	0	59,4	-59,4	-475,2
1,19	9	0	14,95	-14,95	-134,55
0,2	5	0	0	0	0
		310,95	927,3		$\Sigma 2 = -3524,75$
		$\Sigma 1 = 1238,25$			

$$\gamma V = 11080,17 \text{ т}; M = -275347,20 \text{ т·м}; M' = -107815,03 \text{ т·м}.$$

Таблиця 3.6 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.
Ватерлінія 3

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	76,45		76,45	0
9,11	1	62,05	90,65	-28,6	-28,6
8,12	2	47,5	103,95	-56,45	-112,9
7,13	3	33,25	116,35	-83,1	-249,3
6,14	4	19,65	126,85	-107,2	-428,8
5,15	5	7,1	129,95	-122,85	-614,25
4,16	6	0	120,7	-120,7	-724,2
3,17	7	0	94,55	-94,55	-661,85
2,18	8	0	55,05	-55,05	-440,4
1,19	9	0	13,8	-13,8	-124,2
		246	851,85		$\Sigma 2 = -3384,5$
		$\Sigma 1 = 1097,85$			

$$\gamma V = 7020,83\text{т}; M = -264391,12\text{т}\cdot\text{м}; M' = -115854,72\text{т}\cdot\text{м}$$

Таблиця 3.7 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.

Ватерлінія 2

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	65,65		65,65	0
9,11	1	51,35	79,8	-28,45	-28,45
8,12	2	37,15	93,1	-55,95	-111,9
7,13	3	23,3	105,6	-82,3	-246,9
6,14	4	10,25	116,25	-106	-424
5,15	5	0	119,7	-119,7	-598,5
4,16	6	0	111,55	-111,55	-669,3
3,17	7	0	87,55	-87,55	-612,85
2,18	8	0	50,8	-50,8	-406,4
1,19	9	0	12,7	-12,7	-114,3
0,2	5	0	0	0	0
		187,7	777,05		Σ2=-3212,6
		Σ1=964,75			

$$\gamma V = 8632,82\text{т}; M = -250962,60\text{т}\cdot\text{м}; M' = -120434,30\text{т}\cdot\text{м}.$$

Таблиця 3.8 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.

Ватерлінія 1

1	2	3	4	5	6
		Площа шп.			
№ шп.	Множник	Нос	Корма	3-4	2·(3-4)
10	0	54,9		54,9	0
9,11	1	40,85	68,95	-28,1	-28,1
8,12	2	27	82,3	-55,3	-110,6
7,13	3	13,55	94,85	-81,3	-243,9
6,14	4	0,95	105,65	-104,7	-418,8
5,15	5	0	109,5	-109,5	-547,5
4,16	6	0	102,55	-102,55	-615,3
3,17	7	0	80,65	-80,65	-564,55
2,18	8	0	46,7	-46,7	-373,6
1,19	9	0	11,7	-11,7	-105,3
0,2	5	0	0	0	0
		137,25	702,85		Σ2=-3007,65
		Σ1=840,1			

$$\gamma V = 7517,42 \text{ т}; M = -234952,27 \text{ т·м}; M' = -121288,81 \text{ т·м}.$$

Силу плавучості від пневматичних балонів γv знаходимо аналогічно поплавків, які інколи закріплюються на судні для зменшення баксового тиску.

При розрахунку характеристик балонів слід враховувати, що при проходженні судном відстані S , балони пройдуть відстань s . Для знаходження цієї відстані приймаємо балон, як нерозтяжну оболонку, тоді $s = 0.5 \cdot S$. Звідси кількість балонів, залишився під судном та дія яких впливає буде рівною:

$$N^* = \frac{\frac{S}{2} + l}{d + \frac{\pi}{2} (D - d) + l}, \quad (3.15)$$

де S – відстань, пройдена судном;

l – відстань між балонами;

D – діаметр балона;

d – робоча висота від поверхні стапеля до днища судна.

Маючи кількість балонів, можемо розрахувати силу їх плавучості γV та момент m , які вносяться в таблиці 3.10, 3.12.

В таблицях 3.9 та 3.10 розраховані:

шлях, пройдений судном з початку другого періоду

$$S = L_1 + (h + c) / \beta; \quad (3.16)$$

абсциса сили плавучості

$$x'_C = M' / \gamma V \quad (x''_C = M'' / \gamma W); \quad (3.17)$$

В таблицях 3.11 та 3.12 розраховані:

момент сили плавучості відносно заднього кінця полозу

$$M_V = \gamma V \cdot (L_2 - x'_C) \quad (M_W = \gamma W \cdot (L_2 - x'_C)); \quad (3.18)$$

відстань від площини $y'O'z'$ до порогу

$$a = L_1 + \lambda - S; \quad (3.19)$$

момент сили плавучості відносно порогу

$$M'_V = -\gamma V \cdot (a + x'_C) \quad (M'_W = -\gamma W \cdot (a + x''_C)). \quad (3.20)$$

Таблиця 3.9 – Розрахунок путі, пройденого судном та абсциси сили плавучості на традиційних спускових пристроях

Вл.	h	$h+c$	$(h+c)/\beta$	S	γV	M'	x'_C
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,70	3,60	68,70	140,90	7517,42	-121288,81	-16,13
2	3,05	3,95	75,38	147,58	8632,82	-120434,30	-13,95
3	3,40	4,30	82,06	154,26	9823,84	-115854,72	-11,79
4	3,75	4,65	88,74	160,94	11080,17	-107815,03	-9,73
5	4,10	5,00	95,42	167,62	12386,17	-97161,31	-7,84
6	4,45	5,35	102,10	174,30	13786,12	-80337,38	-5,83

Таблиця 3.10 – Розрахунок абсциси сили плавучості на пневматичних балонах

Вл.	s	N^*	v	$\gamma(V+v)=W$	m	$M+m= M''$	x''_C
1	2	3	4	5	6	7	8
1	70,45	34,00	1690,23	9207,65	-65638,20	-186927,01	-20,30
2	73,79	36,00	1789,65	10422,47	-77193,33	-197627,63	-18,96
3	77,13	38,00	1889,08	11712,91	-89603,36	-205458,08	-17,54
4	80,47	40,00	1988,50	13068,67	-102868,29	-210683,31	-16,12
5	83,81	40,00	1988,50	14374,67	-111417,25	-208578,56	-14,51
6	87,15	42,00	2087,93	15874,05	-125964,52	-206301,90	-13,00

Таблиця 3.11 – Розрахунок моментів сили плавучості на традиційних спускових пристроях

Вл.	S	x'_C	γV	$L_2 - x'_C$	M_V	a	$a + x'_C$	M'_V
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	140,90	-16,13	7517,42	118,53	891073,11	0,00	-16,14	121306,02
2	147,58	-13,95	8632,82	116,35	1004435,50	-6,68	-20,63	178116,06
3	154,26	-11,79	9823,84	114,19	1121815,55	-13,36	-25,15	247111,67
4	160,94	-9,73	11080,17	112,13	1242424,49	-20,04	-29,77	329866,72
5	167,62	-7,84	12386,17	110,24	1365504,88	-26,72	-34,56	428117,82
6	174,30	-5,83	13786,12	108,23	1492036,21	-33,40	-39,23	540783,31

Таблиця 3.12 – Розрахунок моментів сили плавучості на пневматичних балонах

Вл.	S	x''_C	γW	$L_2 - x''_C$	M_W	a	$a + x''_C$	M_W
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	140,90	-20,3013	9207,65	122,7013	1129790	0,00	-20,30	186948,09
2	147,58	-18,9617	10422,47	121,3617	1264889	-6,68	-25,64	267267,26
3	154,26	-17,5412	11712,91	119,9412	1404860	-13,36	-30,90	361955,09
4	160,94	-16,1213	13068,67	118,5213	1548915	-20,04	-36,16	472585,46
5	167,62	-14,5101	14374,67	116,9101	1680545	-26,72	-41,23	592667,48
6	174,30	-12,9962	15874,05	115,3962	1831804	-33,40	-46,40	736482,93

За даними таблиць на англійській діаграмі (рис. 3.5) будуються криві γV , M_V , M'_V (γW , M_W , M'_W) в залежності від шляху S , пройденного судном з початку другого періоду. Також, наносимо графіки:

- силу ваги D_C – пряма горизонтальна лінія;
- момент сили ваги відносно носового перпендикуляра ($M_D = D_C \cdot L_2 = 12035.11 \cdot 102.4 = 123,24 \cdot 10^4 \text{ тм}$) – пряма горизонтальна лінія;
- момент сил ваги відносно порога $M'_D = D_C \cdot a$ (де a – відстань ЦМ від порога) – нахилена лінія.

Пряма M_D проводиться через дві точки, наприклад, через точку з абсцисою $S = 140,9$ м й ординатою $M_D = D_C \cdot a = 0$ та (де a – відстань ЦМ від порога); та точку з абсцисою $S = 173,54$ м й ординатою $M_D = D_C \cdot a = -32,16 \cdot 10^4 \text{ тм}$.

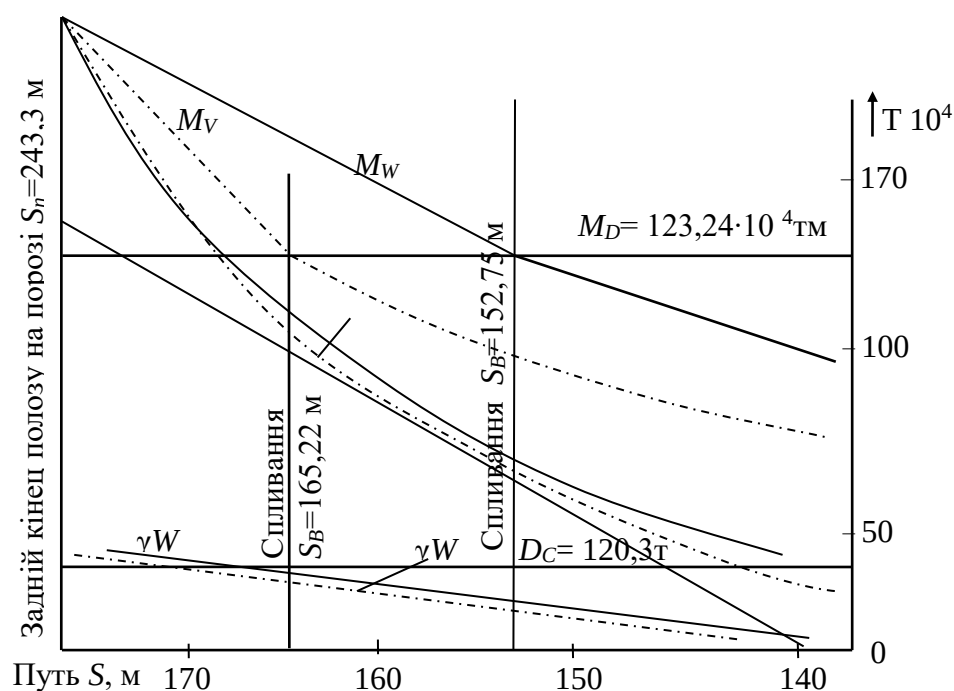


Рисунок 3.5 – Англійська діаграма спуску судна:

- на пневматичних балонах;
- - - - - на традиційних спускових пристроях

Аналізуючи діаграму спуску отримуємо:

1) перекидання відсутнє, оскільки $M'_V > M'_D$ ($M'_W > M'_D$), критичне положення буде при $S_{кр}=152,75$ м на пневматичних балонах; $S_{кр}=159,12$ м на традиційних спускових пристроях;

2) спливання починається на відстані $S=152,75$ м на пневматичних балонах; $S=165,22$ м на традиційних спускових пристроях від початку II періоду ($M_V=M_D$);

3) найбільший баксовий тиск в цей момент дорівнює $N_6=D_C-\gamma W=4,5071\cdot 10^3$ т на пневматичних балонах; $N_6=D_C-\gamma V=2,0281\cdot 10^3$ т на традиційних спускових пристроях;

4) найбільше заглиблення переднього кінця спускового пристрою визначається по формулі $T_1=S\beta=(\lambda+L_1+L_2)\beta=243.3\cdot 0,0524=12,75$ м.

Під час спуску судна на пневматичних балонах баксовий тиск збільшується в 1,5-2 рази за рахунок додаткової плавучості від балонів. Сумарний тиск навантажень на корпус судна не повинен перевищувати розрахункових показників $P=P_{ст}+P_W=150,16$ кПа.

Баксовий тиск, який діє на корпус судна під час спуску судна на пневматичних балонах розподіляється на ділянку зображену на рисунках 3.6 та 3.7 площа якої становить $648,16$ м². Тоді баксовий тиск становить $6,95$ т/м², або $68,16$ кПа. Якщо припустити, що останні пневматичні балони не сприймають навантаження і зменшити площу вдвічі, тоді тиск на судно дорівнюватиме $13,9$ т/м², або $136,3$ кПа, що не перевищує дозволених показників. Також слід враховувати, що обрані балони витримують навантаження на одиницю довжини до $28,21$ т/м², що також відповідає вимогам безпеки, але можливо замінити обрані шестишарові балони на восьмишарові з навантаженням $35,9$ т/м².

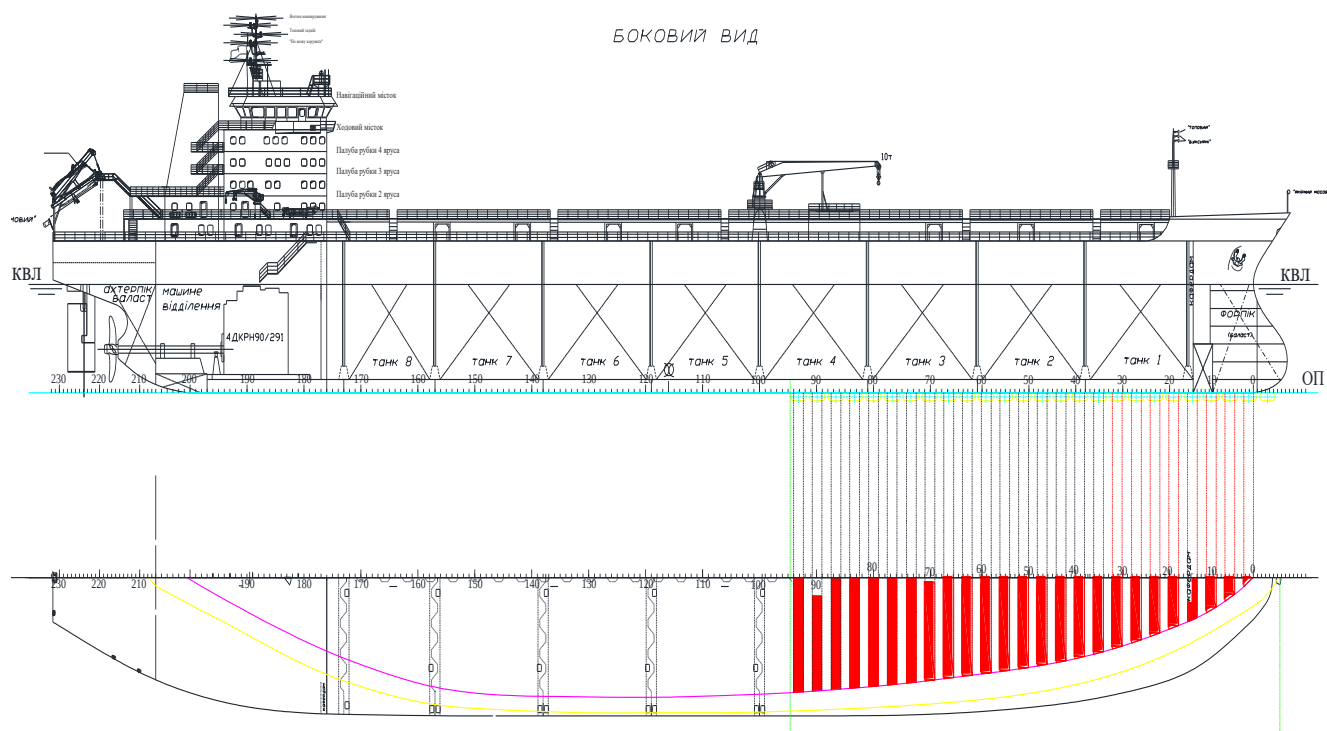


Рисунок 3.6 – Дія баксового тиску на днище судна під час спуску на пневматичних балонах

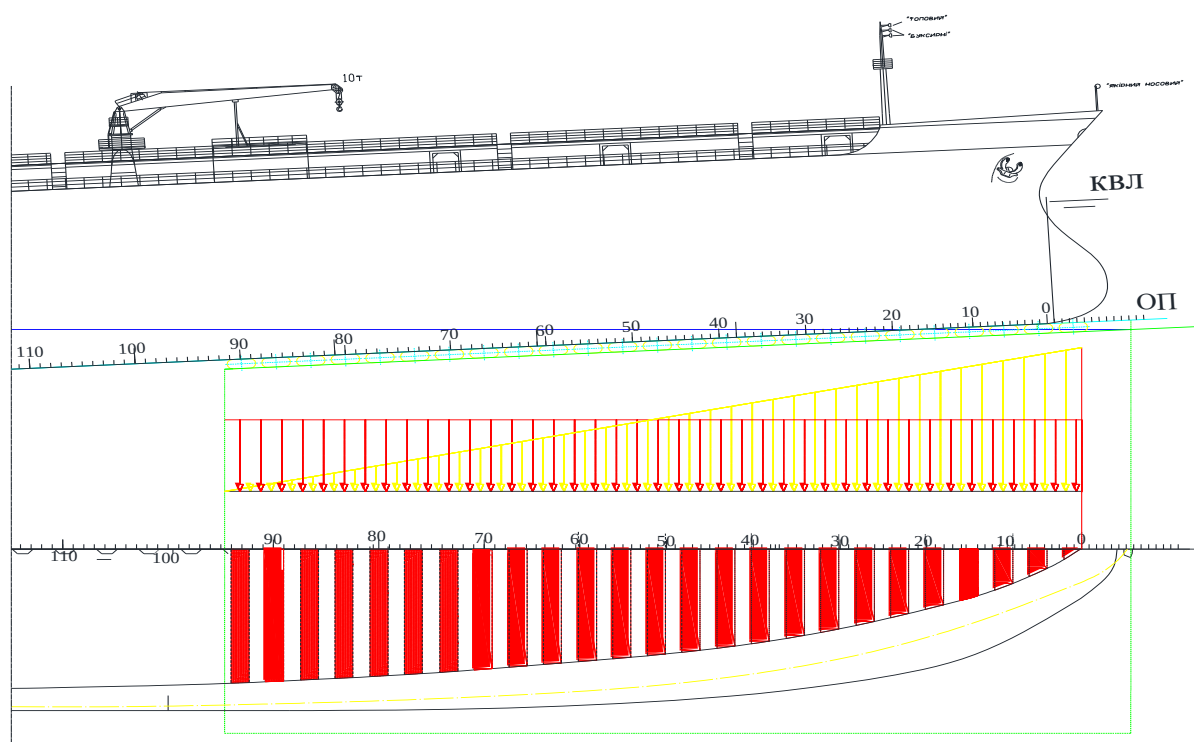


Рисунок 3.7 – Розподілення баксового тиску під час спуску на пневматичних балонах

3.2.2 Спуск рефрижератора зі стапеля «ІІІ» Державного підприємства «Суднобудівний завод імені 61 комунара»

Вибір судна та його основні характеристики

Друге дослідження проводимо на прикладі приймально-транспортний рефрижератора типу «БУХТА РУССКАЯ» (проект 13476) [95], які виготовлялись на заводі раніше та на будівництво якого завод отримав замовлення. Спуск проводимо зі стапеля «ІІІ».

Креслення та дані судна, необхідні для розрахунку, підприємство надати не може, тому в програмному комплексі FreeShip побудоване судно з головними розмірами, аналогічними проекту «Бухта русская» (табл. 3.13) [95].

Таблиця 3.13 – Основні характеристики судна

Характеристики	Значення
Довжина найбільша L , м	133,95
Довжина між перпендикулярами $L_{\perp}$, м	119,90
Ширина судна B , м	18
Висота борту судна H , м	10,70
Осадка судна T_n , м / T_k , м	1,20 / 5,46
Осадка судна в вантажу T_n , м / T_k	6,16 / 6,80
Коефіцієнт загальної повноти корпусу судна C_b	0,657
Спускова вага судна, т	4850
Дедвейт, т	5250

За допомогою програмного комплексу FreeShip для побудованого судна розраховуємо криві елементи теоретичного креслення (рис. 3.8). Результати розрахунку кривих елементів представлені у таблиці Б.2 Додаток Б.

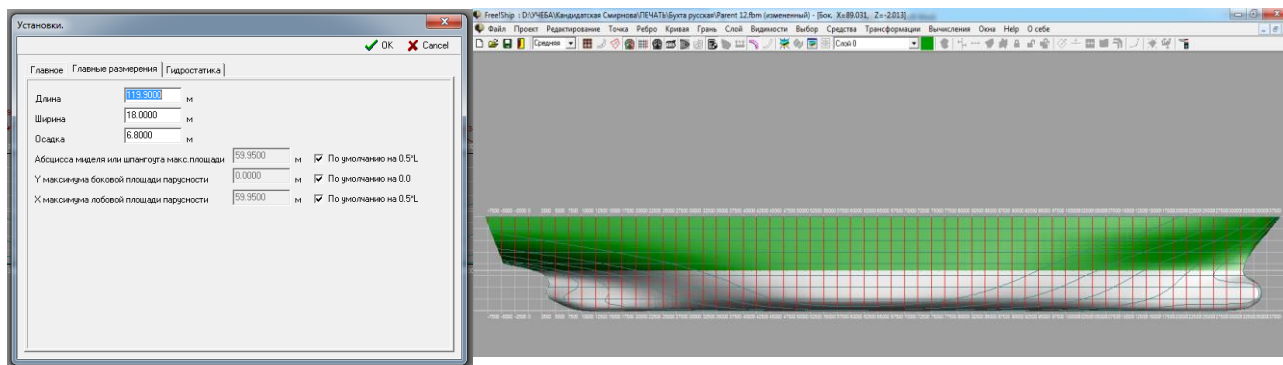


Рисунок 3.8 – Установки проекту та корпус судна

Розрахунок кількості пневматичних балонів та відстані між ними

Розраховуємо кількість балонів, необхідних для спуску судна за формулою 3.1:

$$N = 1,2 \frac{4850 \cdot 9,81}{0,657 \cdot 155,51 \cdot 18 \cdot 2} + 1 = 32 \text{ шт.}$$

Далі знаходимо відстань між центрами балонів за формулами 3.2 та 3.3:

$$\frac{119,9}{32-1} = 3,862 \leq 6; \quad \frac{3,14 \cdot 1,8}{2} + 0,5 = 3,3 \leq 3,862.$$

Так як, довжина обраних балонів дорівнює максимальній ширині судна, балони розташовуємо в один ряд (рис. 3.9).

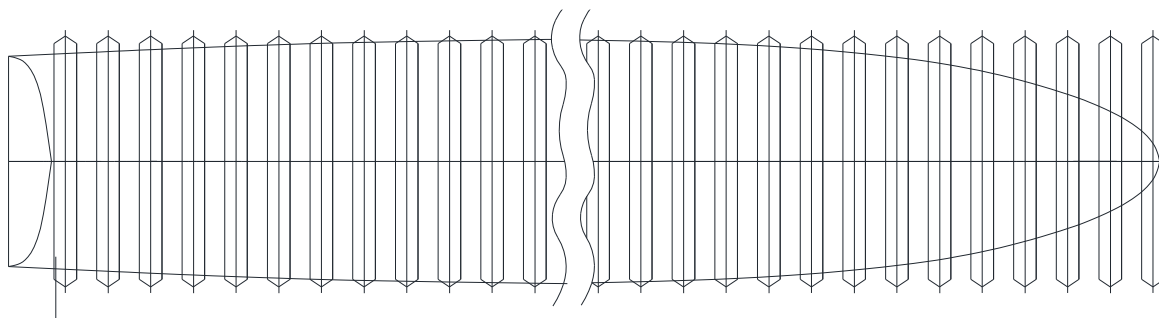


Рисунок 3.9 – Умовне позначення розташування балонів під судном

Приймаємо загальну кількість балонів $N_{\Sigma} = 32$ шт, відстань між спусковими балонами 3,3м. Основні характеристики обраних пневматичних балонів представлені у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Основні характеристики обраних балонів

Діаметр D , м	1,8
Робоча висота, м	0,7
Допустиме навантаження на одиницю довжини, кН/м	155,51
Довжина, м	18
Вага, кг	814
Об'єм, м ³	48,5

Розрахунок англійської діаграми спуска рефрижератора

Спуск судна відбувається з використанням пневматичних балонів. Вихідні данні для розрахунку:

спускова вага..... $D_C=4850$ т;
 координати його ЦМ від кормового перпендикуляра..... $x_g=55,708$ м;
 $z_g=6,178$ м;
 узвище ОП над площиною стапеля..... $c=0,7$ м;
 уклін стапеля..... $\beta=0,05$;
 розрахункова глибина води на порозі..... $T_0=3,7$ м;
 довжина підводної частини стапеля..... $\lambda=11$ м;
 питома вага води..... $\gamma=1,025$ т/м³.

Встановлюємо наближене значення ватерлінії спливання та значення баксового тиску. Для цього за гідростатичними кривими (водотоннажність $D_C=4904,4$ т) визначаємо для спущеного на воду судна:

- середню осадку..... $T=3,9$ м;
- координати ЦВ..... $x_C=66,121$ м; $z_C=2,186$ м;
- абсцису ЦМ площі ВЛ..... $x_f=66,909$ м;
- поздовжній метацентричний радіус..... $R=243,89$ м.

Розраховуємо поздовжню метацентричну висоту (3.3)

$$H=243,3+2,186-6,264=239,22 \text{ м};$$

диферент (3.4)

$$\psi = \frac{0,06 - 6,171}{239,22} = -0,0255;$$

наближене значення баксового тиску (3.5)

$$N_{\sigma} = \frac{4904,4 \cdot 239,22}{59,95 - 9,899} \cdot (0,0524 + (-0,0255)) = 630,55 \text{ т},$$

$$\text{де } x_f' = 9,959 - 0,06 = 9,899.$$

Далі проводимо розрахунок кривих елементів теоретичного креслення з заданням кута нахилу $-3^{\circ}(0,05)$ – кут нахилу стапеля. Результати отримуємо в табличній формі (в табл. Б.2 Додаток Б). З отриманих даних беремо осадку h та відповідні їй водотоннажність V та центр величини x_C . Заносимо дані у таблицю 3.5 та розраховуємо сили плавучості γV , моменти M (відносно площини yOz) та $M' = M - \gamma V x_g$ (відносно площини $y'O'z'$) (табл.3.15). Кількість та розташування пневматичних балонів знаходимо за кресленням.

Таблиця 3.15 – Розрахунок водотоннажності та статичних моментів.
Ватерлінія 6

Вл.	h	γV	x_C	M	M'
1	2.25	2060.10	48.90	-8942.89	-14025.16
2	2.5	2363.50	49.82	-8097.35	-13928.11
3	2.75	2677.80	50.56	-7176.50	-13782.64
4	3	3003.00	51.16	-6252.25	-13660.65
5	3.25	3339.40	51.63	-5396.47	-13634.77
6	3.5	3687.50	51.97	-4697.87	-13794.94
7	3.75	4048.10	52.19	-4242.41	-14229.07
8	4	4421.40	52.31	-4103.06	-15010.65
9	4.25	4806.60	52.35	-4273.07	-16130.95
10	4.5	5202.70	52.33	-4750.07	-17585.13
11	4.75	5608.50	52.26	-5513.16	-19349.33
12	5	6023.10	52.15	-6553.13	-21412.12

В таблицях 3.16 та 3.17 розраховані: путь, пройдений судном з початку другого періоду $S = L_1 + (h + c) / \beta$ та абсциса сили плавучості $x'_C = M' / \gamma V$ ($x''_C =$

$M'/\gamma W$). Для врахування кількості балонів вважаємо, що вони проходять путь вдвічі коротший ніж судно. Їх об'єм та абсцис беремо за кресленням.

Таблиця 3.16 – Розрахунок путі, пройденого судном та абсциси сили плавучості на традиційних спускових пристроях

Вл.	h	$h+c$	$(h+c)/\beta$	S	γV	M'	x'_C
1	2.25	2.95	59	112.24	2060.1	-14025.2	-6.808
1	2.5	3.2	64	117.24	2363.5	-13928.1	-5.893
2	2.75	3.45	69	122.24	2677.8	-13782.6	-5.147
3	3	3.7	74	127.24	3003	-13660.6	-4.549
4	3.25	3.95	79	132.24	3339.4	-13634.8	-4.083
5	3.5	4.2	84	137.24	3687.5	-13794.9	-3.741
6	3.75	4.45	89	142.24	4048.1	-14229.1	-3.515
7	4	4.7	94	147.24	4421.4	-15010.7	-3.395
8	4.25	4.95	99	152.24	4806.6	-16130.9	-3.356
9	4.5	5.2	104	157.24	5202.7	-17585.1	-3.38
10	4.75	5.45	109	162.24	5608.5	-19349.3	-3.45
11	5	5.7	114	167.24	6023.1	-21412.1	-3.555
12	2.25	2.95	59	112.24	2060.1	-14025.2	-6.808

Таблиця 3.17 – Розрахунок путі, пройденого судном та абсциси сили плавучості на традиційних спускових пристроях

Вл.	s	N^*	v	$\gamma(V+v)=W$	m	$M+m$	x''_C
1	26.121	14	679	2756.08	-8868.08	-22893.2	-8.30646
2	28.621	14	679	3059.48	-8868.08	-22796.2	-7.45101
3	31.121	15	727.5	3423.49	-8868.08	-22650.7	-6.61627
4	33.621	15	727.5	3748.69	-8868.08	-22528.7	-6.00976
5	36.121	16	776	4134.80	-8868.08	-22502.8	-5.44231
7	38.621	16	776	4482.90	-8868.08	-22663	-5.05544
8	41.121	17	824.5	4893.21	-8868.08	-23097.2	-4.72024
9	43.621	18	873	5316.23	-8868.08	-23878.7	-4.49167
10	46.121	19	921.5	5751.14	-8868.08	-24999	-4.3468
11	48.621	20	970	6196.95	-8868.08	-26453.2	-4.26875
12	51.121	21	1018.5	6652.46	-8868.08	-28217.4	-4.24165

В таблиці 3.18–3.19 розраховані:

- момент сили плавучості відносно заднього кінця полозу $M_V = \gamma V \cdot (L_2 - x'_C)$ ($M_W = \gamma W \cdot (L_2 - x'_C)$);
- віддалення площини $y'O'z'$ від порогу $a = L_1 + \lambda - S$;
- момент сили плавучості відносно порогу $M'_V = -\gamma V \cdot (a + x'_C)$ ($M'_W = -\gamma W \cdot (a + x'_C)$).

Таблиця 3.18 – Розрахунок моментів сили плавучості на традиційних спускових пристроях

Вл.	S	x'_C	γV	$L_2 - x'_C$	M_V	a	$a + x'_C$	M'_V
1	112.24	-6.81	2060.1	60.05	123709.01	0.00	-6.81	14025.16
1	117.24	-5.89	2363.5	59.14	139765.57	-5.00	-10.89	25745.61
2	122.24	-5.15	2677.8	58.39	156354.06	-10.00	-15.15	40560.64
3	127.24	-4.55	3003	57.79	173546.37	-15.00	-19.55	58705.65
4	132.24	-4.08	3339.4	57.33	191431.11	-20.00	-24.08	80422.77
5	137.24	-3.74	3687.5	56.98	210124.81	-25.00	-28.74	105982.44
6	142.24	-3.52	4048.1	56.76	229758.01	-30.00	-33.52	135672.07
7	147.24	-3.40	4421.4	56.64	250414.83	-35.00	-38.40	169759.65
8	152.24	-3.36	4806.6	56.60	272043.95	-40.00	-43.36	208394.95
9	157.24	-3.38	5202.7	56.62	294587.28	-45.00	-48.38	251706.63
10	162.24	-3.45	5608.5	56.69	317957.08	-50.00	-53.45	299774.33
11	167.24	-3.56	6023.1	56.80	342094.01	-55.00	-58.56	352682.62
12	112.24	-6.81	2060.1	60.05	123709.01	0.00	-6.81	14025.16

Таблиця 3.19 – Розрахунок моментів сили плавучості на пневматичних балонах

Вл.	S	x'_C	γV	$L_2 - x'_C$	M_V	a	$a + x'_C$	M'_V
1	112.24	-8.31	2756.08	61.55	169632.19	0.00	-8.31	22893.24
1	117.24	-7.45	3059.48	60.69	185688.75	-5.00	-12.45	38093.56
2	122.24	-6.62	3423.49	59.86	204924.04	-10.00	-16.62	56885.59
3	127.24	-6.01	3748.69	59.25	222116.35	-15.00	-21.01	78759.04
4	132.24	-5.44	4134.80	58.68	242647.87	-20.00	-25.44	105198.85
5	137.24	-5.06	4482.90	58.30	261341.58	-25.00	-30.06	134735.52

Продовження таблиці 3.19

6	142.24	-4.72	4893.21	57.96	283621.57	-30.00	-34.72	169893.53
7	147.24	-4.49	5316.23	57.73	306925.18	-35.00	-39.49	209946.61
8	152.24	-4.35	5751.14	57.59	331201.09	-40.00	-44.35	255044.53
9	157.24	-4.27	6196.95	57.51	356391.22	-45.00	-49.27	305315.96
10	162.24	-4.24	6652.46	57.48	382407.81	-50.00	-54.24	360840.53
11	167.24	-4.25	7116.78	57.50	409191.53	-55.00	-59.25	421702.83
12	112.24	-8.31	2756.08	61.55	169632.19	0.00	-8.31	22893.24

За даними таблиць на англійській діаграмі будуються криві γV , M_V , M'_V (γW , M_W , M'_W) в залежності від шляху S , пройденого судном з початку другого періоду рис. 3.10. Також, наносимо графіки:

- силу ваги D_C – пряма горизонтальна лінія;
- момент сили ваги відносно заднього кінця спускового пристрою ($M_D = D_C \cdot L_2 = 4850 \cdot 53,24 = 258,22 \cdot 10^4$ тм) – пряма горизонтальна лінія;
- момент сил ваги відносно порога $M'_D = D_C \cdot a$ (де a – відстань ЦМ від порога)
- нахилена лінія.

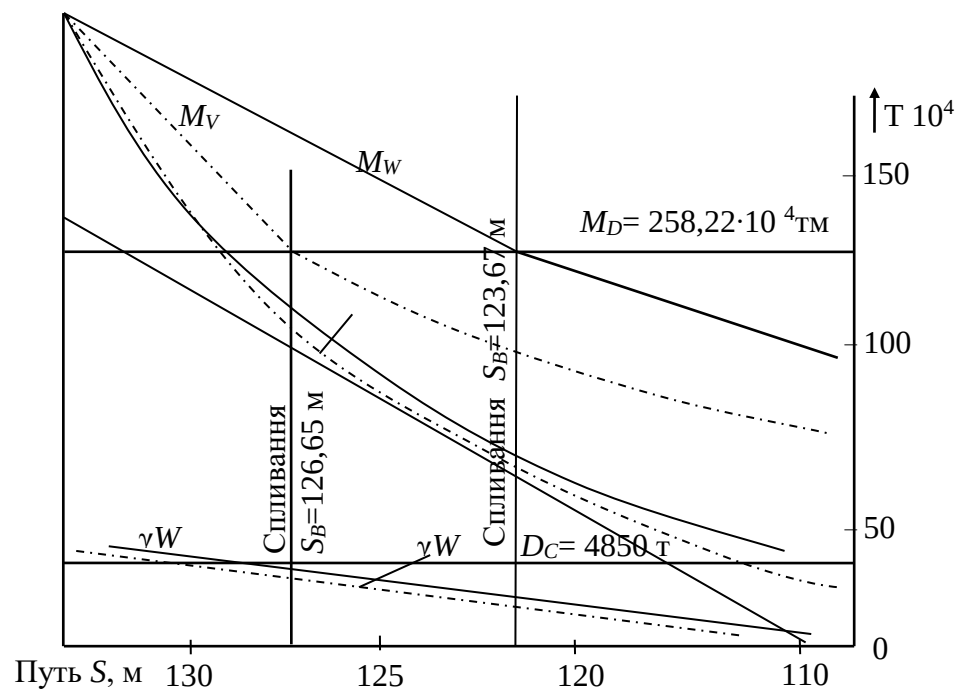


Рисунок 3.10 – Англійська діаграма спуску судна:

- на пневматичних балонах;
- - - - - на традиційних спускових пристроях

Аналізуючи діаграму спуску отримуємо:

- 1) перекидання відсутнє, оскільки $M_V' > M_D'$ ($M_W' > M_D'$), критичне положення буде при $S_{кр}=123,67$ м на пневматичних балонах; $S_{кр}=126,65$ м на традиційних спускових пристроях;
- 2) спливання починається на відстані $S=136,42$ м на пневматичних балонах; $S=149,07$ м на традиційних спускових пристроях від початку II періоду ($M_V=M_D$);
- 3) найбільший баксовий тиск в цей момент дорівнює $N_6=D_C-\gamma W=425,4$ т на пневматичних балонах; $N_6=D_C-\gamma V=288,4$ т на традиційних спускових пристроях.

Дослідження спуску суден з похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах за допомогою англійської діаграми дозволяє отримати розрахунки у першому наближенні, так як не враховує зміну робочої висоти балонів та втрачені сили плавучості.

3.3 Математична модель спуску судна на пневматичних балонах

3.3.1 Математична модель спуску судна у першому наближенні

Спуск відбувається на пневматичних балонах.

Кількість спускових балонів та відстань між ними розраховується згідно з Суднобудівним стандартом TechnoLogical Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags[24,29].

Встановлюємо наближене значення ватерлінії спливання та значення баксового тиску. За гідростатичними кривими визначаємо для спущеного на воду судна:

- середню осадку..... T , м;
- координати ЦВ..... X_C , м; Z_C , м;
- абсцису ЦМ площі ВЛ..... X_f , м;
- поздовжній метацентричний радіус..... R , м.

Розраховуємо поздовжню метацентричну висоту

$$H=R+z_C-z_g, \text{ м};$$

диферент

$$\psi=\frac{x_g-x_C}{H};$$

наближене значення баксового тиску

$$N_6=\frac{D_C H}{L_2-x'_f}(\alpha+\psi), \text{ т},$$

де $x'_f=x_f-x_g$ – відстань між центром ваги площі ватерлінії та площини $y'O'z'$.

З гідростатичних кривих для водотоннажності

$$V_2=\frac{1}{\gamma}(D_C-N_6), \text{ м}^3$$

знімаємо значення середньої осадки T'_{cp} , м та x_{f2} , м.

Ватерлінія спливання (з 20%-вим запасом) проходить на відстані h' над ОП та являється верхньою розрахунковою ватерлінією

$$h'=1,2(T'_{cp}+x'_f \cdot \alpha), \text{ м},$$

де $x'_f=x_{f2}-x_g$, м.

Параметри нижньої розрахункової ватерлінії визначаємо з умов знаходження судна на порозі

$$h''=T_0-c, \text{ м}.$$

Нижня розрахункова ватерлінія визначається осадками на носовому та кормовому перпендикулярах:

$$T_H=h''-\left(\frac{L}{2}-x_g\right)\alpha, \text{ м};$$

$$T_K=h''+\left(\frac{L}{2}+x_g\right)\alpha, \text{ м}.$$

Положення нижніх розрахункових ватерліній визначається величиною

$$\Delta h=(h'-h'')/n, \text{ м},$$

де n – кількість розрахункових ватерліній.

Від верхньої розрахункової ватерлінії вниз з кроком Δh та паралельно ній наносимо на масштабі Бонжана ватерлінії. Знімаємо значення площ шпангоутів ω , розрахувавши для кожної ватерлінії:

силу плавучості

$$\gamma V = \gamma \cdot \Delta L \cdot \Sigma \omega, \text{ т};$$

моменти сили плавучості відносно площини yOz

$$M = \gamma \cdot \Delta L^2 \cdot \Sigma (n \cdot (\omega_n - \omega_k)), \text{ т} \cdot \text{м},$$

де ω_n та ω_k – площі шпангоутів віднесені до носового та кормового перпендикулярів відповідно;

моменти сили плавучості відносно площини $y'O'z'$

$$M' = M - \gamma V x_g, \text{ т} \cdot \text{м}.$$

Силу плавучості від пневматичних балонів γv знаходимо аналогічно поплавків, які інколи закріплюються на судні для зменшення баксового тиску.

Далі для кожної ватерлінії знаходимо шлях, пройдений судном з початку другого періоду $S = L_1 + (h + c)/\beta$ та абсциса сили плавучості $x'_c = M'/\gamma V$.

При проходженні судном відстані S , балони пройдуть відстань s . Приймаємо балон, як нерозтягну оболонку, тоді $s = 0.5 \cdot S$. Звідси кількість балонів, залишився під судном та дія яких впливає буде рівною

$$N^* = \frac{\frac{S}{2} + l}{d + \frac{\pi}{2} (D - d) + l'},$$

де S – відстань, пройдена судном;

l – відстань між балонами;

D – діаметр балона;

d – робочая висота від поверхні стапеля до днища судна.

В залежності від кількості балонів, розраховуємо момент сили плавучості від пневматичних балонів $\gamma v = \gamma \cdot v_1 \cdot N^*$ (де v_1 – об'єм одного балона) та їх момент m . Плече дії сили плавучості балонів беремо за кресленням. Враховуючи силу плавучості від балонів отримаємо: $\gamma W = \gamma V + \gamma v$, $M'' = M + m$.

Розраховуємо для кожної ватерлінії наступні показники:

шлях, пройдений судном з початку другого періоду

$$S = L_1 + (h + c)/\beta;$$

абсциса сили плавучості

$$x''_C = M''/\gamma W;$$

момент сили плавучості відносно заднього кінця полозу

$$M_W = \gamma W \cdot (L_2 - x'_C);$$

відстань від площини $y'O'z'$ до порогу

$$a = L_1 + \lambda - S;$$

момент сили плавучості відносно порогу

$$M'_W = -\gamma W \cdot (a + x''_C).$$

За даними таблиць на англійській діаграмі будуються криві γW , M_W , M'_W в залежності від шляху S , пройденого судном з початку другого періоду. Також, наносяться графіки:

- силу ваги D_C – пряма горизонтальна лінія;
- момент сили ваги відносно заднього кінця спускового пристрою $M_D = D_C \cdot L_2$ – пряма горизонтальна лінія;
- момент сил ваги відносно порога $M'_D = D_C \cdot a$ (де a – відстань ЦМ від порога) – нахилена лінія.

Аналіз діаграми спуску.

Перетинання кривої M_W з горизонтальною прямою M_D визначає початок спливання. Абсциса цієї точки S_6 є путь пройдений судном до моменту спливання.

Точка на діаграмі з ординатою $M'_D = 0$ відповідає проходженню центру ваги судна над порогом. Після цього можливо перекидання, про що свідчить взаємне розташування M'_W та M'_D . Перекидання відсутнє, якщо $M'_W > M'_D$, критичне положення знаходимо від найменшої відстані між M'_W та M'_D ;

Різниця ординат горизонтальної прямої D_C і кривої γW при абсцесі S_6 в масштабі сил дорівнює баксовому тиску N_6 .

При $S = S_6$ судно починає поворот але графіки, що зображують зміни сили плавучості і її моментів, побудовані в припущенні про відсутність обертання. Тому діаграма лівіше цієї точки умовна. Ця частина діаграми побудовані до точки шляху, що відповідає проходженню носового перпендикуляра над порогом

служить для перевірки правильності розрахунку. Контролем є перетинання прямих M_D й M'_D та кривих M_W й M'_W . Ці точки лежать на одній вертикалі.

3.3.2 Математична модель спуску судна на пневматичних балонах у другому наближенні

Спуск судна на пневматичних балонах можна представити, як поступальний рух на пружних опорах (рис. 3.11). Для статичного розрахунку спуску розділяємо весь шлях, пройдений судном, на момент часу і знаходимо для кожного моменту положення судна та сили, що діють на нього[11].

Призначаємо три системи координат:

$x_0y_0z_0$ – нерухома система координат, зв'язана з поверхнею стапеля (площина $x_0O_0y_0$ – площина стапеля); $xуz$ – рухома система координат, площина xOy зв'язана з поверхнею стапеля, а xOz проходить через носовий перпендикуляр судна; та $x'y'z'$ – рухома система координат, площина $x'O'y'$ якої проходить через основну площину судна, а $x'O'z'$ зв'язана з носовим перпендикуляром судна. На початку спуску, коли судно знаходиться на спускових пристроях та тримається носовими утримувачами, усі системи координат співпадають по осі Oz (рис. 3.11).

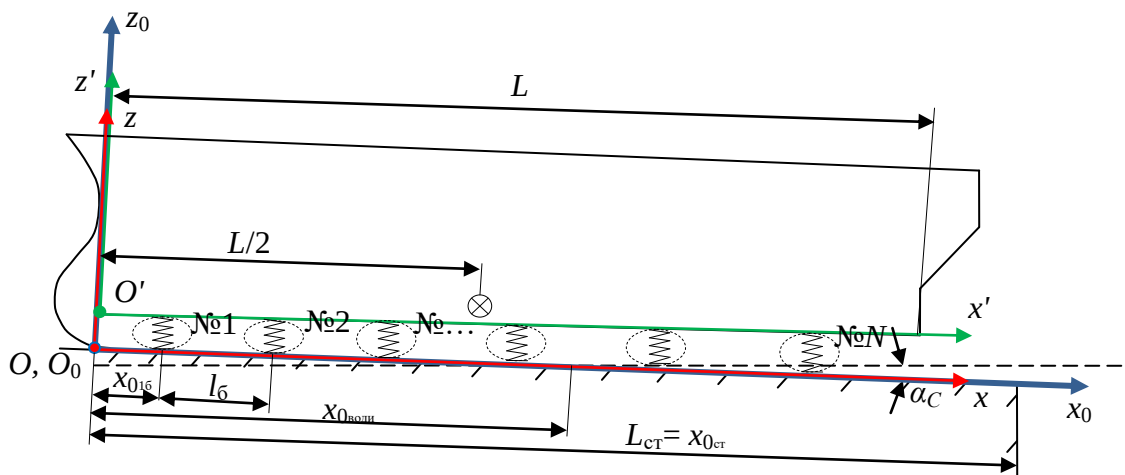


Рисунок 3.11 – Судно на пружних опорах - умовних балонах

Під час спуску вважаємо, що судно рухається з нескінченно малою швидкістю, тобто гідродинамічні сили нескінченно малі і їх дію не враховуємо. Під час проходження судном відстані S пневматичні балони пройдуть деяку відстань s та

змінять своє розташування під судном. Також своє положення змінить і судно: система координат $x'y'z'$ відносно системи xuz просяде на деяку величину ζ_0 та змінить кут нахилу на кут ψ_0 . Вважаємо кут ψ_0 є додатнім, якщо корма судна обертається проти годинникової стрілки, тобто спливає, та кут від'ємний, якщо корма обертається за годинниковою стрілкою, тобто занурюється у воду. Сили, що діють на судно під час спуску (рис. 3.12): D_C – сила тяжіння – спускова вага судна, кН; R_i – реакція від балонів, кН·м; γV_C – сила плавучості частини судна, зануреної у воду, кН; γv_C – сила плавучості пневматичних балонів, розташованих у воді, кН; $\gamma \Delta V_i$ – втрачена сила плавучості частини судна, зануреної у воду, кН; $\gamma \Delta v_i$ – втрачена сила плавучості пневматичних балонів, розташованих у воді, кН.

Сили, які діють від кожного зануреного пневматичного балона, та напрям їх дії зображені на рисунку 3.13.

Реакція від i -го пневматичного балона визначається в залежності від характеру контакту між днищем судна та пневматичним балоном і для частини судна з плоским днищем (рис. 14, а) розраховується за формулою:

$$R_i = B_i \cdot r_i,$$

де B_i – поперечна довжина дотику між днищем судна та балоном, м;
 r_i – погонна реакції i -го пневматичного балона (Рис. 14, б), кН/м.

Величини B_i та r_i визначаються залежностями $R_i = 2b_i(w_i)$, $r_i = k_i \cdot w_i$, де $b_i(w_i)$ – півширина корпусу судна при осадці w_i у перерізі розташування i -го пневматичного балона; k_i – погонний коефіцієнт жорсткості пневматичного балону, кН/м²; w_i – зміна робочої висоти пневматичного балону, м.

Зміну робочої висоти пневматичного балону знаходиться по формулі $w_i = \zeta_0 - x_i \cdot \psi_0$, де ζ_0 та ψ_0 – поперечне зміщення та кут нахилу судна; x_i – абсциса i -го балона, визначена у розрахунковий момент часу, м (рис. 3.15). Відповідно, ширину дотику пневматичного балону та днища судна розраховується з умов збереження периметру балону $b_i = \frac{\pi}{2} \cdot (D_6 - d_i) = \frac{\pi}{2} \cdot w_i = \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x_i'$, м.

Втрачені сили плавучості обумовлені контактом i -го пневматичного балону та судна знаходять залежно від їх заглиблення. В сумі вони дорівнюють:

$$\gamma(\Delta v_i - \Delta V_i) = \gamma \cdot B_i \cdot b_i \cdot T_{i_B} = \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x'_i, \text{ кН},$$

де T_{i_B} – глибина води для i -го балону, м:

$$T_{i_B} = (x_{0_{i\delta}} - x_{0_{\text{води}}}) \cdot \alpha_C = (S + x'_i - x_{0_{\text{води}}}) \cdot \alpha_C, \quad (3.21)$$

де $x_{0_{\text{води}}}$ – абсциса урізу води.

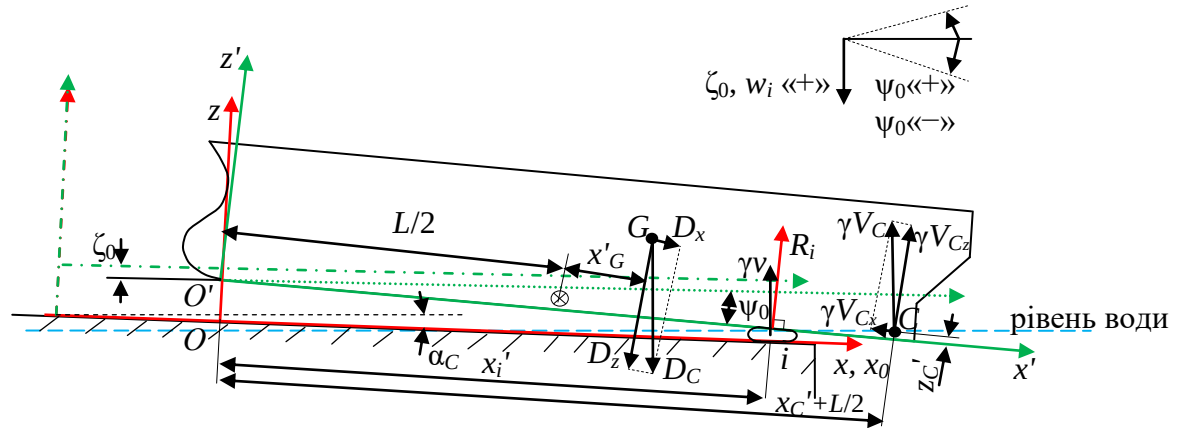


Рисунок 3.12 – Сили що діють на судно та правило знаків переміщень

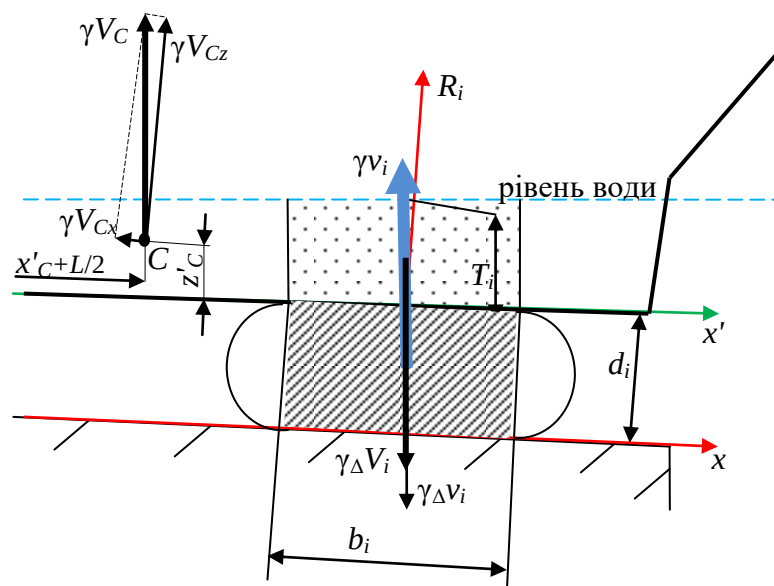


Рисунок 3.13 – Сили, що діють при контакті зануреного балону та днища судна

Для кінцівок судна, де днище не є плоским (рис. 3.15), розрахункова формула має вигляд:

$$B_i = 2 \cdot \sqrt{\Delta w_{i_1}^2 + \frac{\Delta B_{i_1}^2}{4}} + 2 \cdot \sqrt{\Delta w_{i_2}^2 + \frac{(\Delta B_{i_2} - \Delta B_{i_1})^2}{4}} + \dots + 2 \cdot \sqrt{\Delta w_{i_n}^2 + \frac{(\Delta B_{i_n} - \Delta B_{i_{n-1}})^2}{4}} \quad (3.22)$$

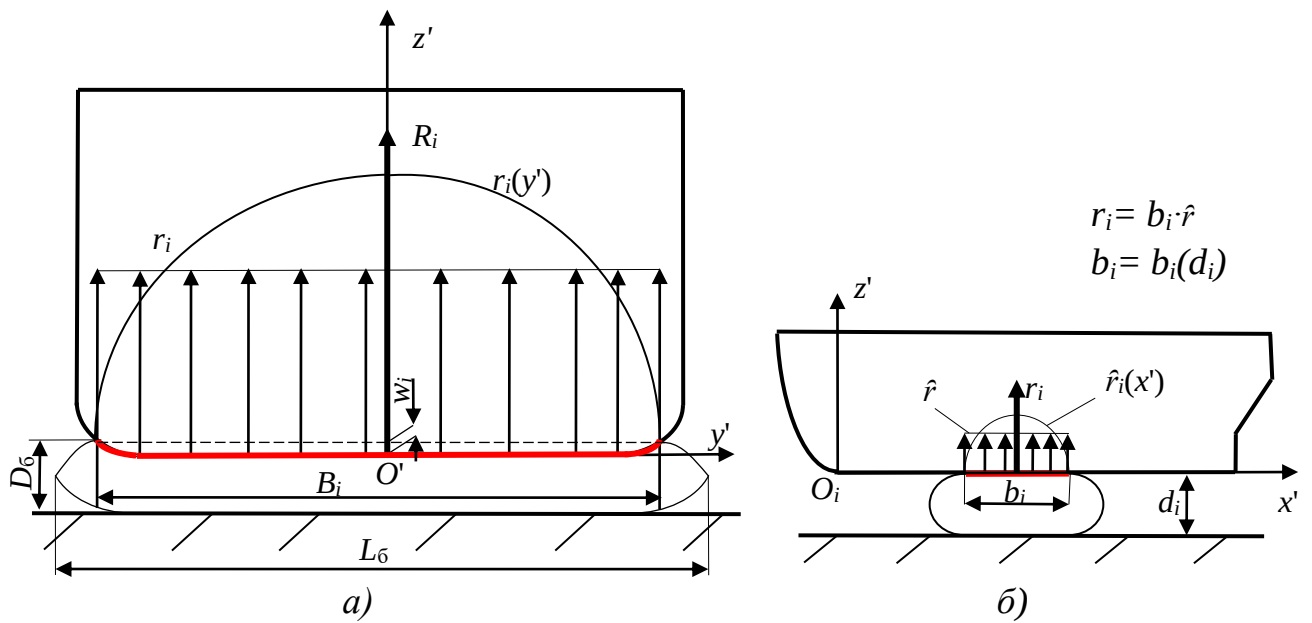


Рисунок 3.14 – Реакція балонів, лінія контакту між плоским днищем та балоном:
 а) переріз судна у площині мідель-шпангоуту; б) переріз судна в діаметральній площині.

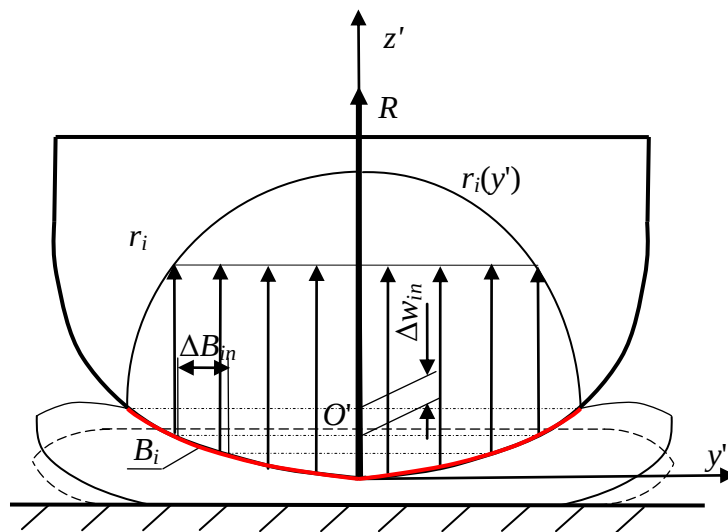


Рисунок 3.15 – Реакція балонів, лінія контакту між судном та балоном, де днище не є плоским (переріз судна у площині мідель-шпангоуту).

Таким чином, реакція від i -го пневматичного балона буде дорівнювати

$$R_i = B_i \cdot r_i = B_i \cdot k_i \cdot w_i = B_i \cdot k_i \cdot (\zeta_0 - x_i \cdot \psi_0) = B_i \cdot k_i \cdot \zeta_0 - B_i \cdot k_i \cdot x_i \cdot \psi_0. \quad (3.23)$$

Нахил спускової поверхні похилого поздовжнього стапеля зазвичай становить від 1/24 до 1/16, в залежності від довжини. Кут нахилу α_C поздовжнього стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу та стапеля «III» заводу Імені 61 комунара, для яких проводився розрахунок спуску в першому наближенні, становить 3° ; тобто $\alpha_C = 3^\circ \approx 0,05$ рад. Відповідно, нахил судна наближено становитиме $\psi_0 \approx \frac{1_m}{50 \dots 100_m} \approx 0,02 \dots 0,01$ рад і для суми кутів запишемо $\alpha_0 = \alpha_C + \psi_0 = 0,05 + (0,01 \dots 0,02) \approx 0,06 \dots 0,07$ та $\alpha_0^2 = 0,0036 \dots 0,0049$.

Тоді, запишемо для тригонометричних функцій

$$\cos \alpha_0 \approx 1 - \frac{1}{2!} \alpha_0^2 + \dots \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot (0,0036 \dots 0,0049) \approx 0,9982 \dots 0,9975;$$

$$\sin \alpha_0 \approx \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{3!} \alpha_0^2 \right) + \dots \approx (0,06 \dots 0,07) \cdot \left(1 - \frac{1}{6} \cdot (0,0036 \dots 0,0049) \right) \approx 0,05997 \dots 0,06994;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0 \approx \alpha_0 \left(1 + \frac{1}{3} \alpha_0^2 \right) + \dots \approx (0,06 \dots 0,07) \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot (0,0036 \dots 0,0049) \right) \approx 0,0599 \dots 0,06989.$$

Далі у розрахунок будемо приймати $\cos \alpha_0 = 1$; $\sin \alpha_0 = \alpha_0$; $\operatorname{tg} \alpha_0 = \alpha_0$, що відповідає точності самої моделі спуску судна.

Рівняння рівноваги судна в системі координат $x'y'z'$

- сума проекцій усіх сил на вісь $O'z'$:

$$\sum_i F_i(z') = 0: -D_z + \sum_{i=1}^{N_k} R_i + \sum_{i=1}^{N_k} [(\gamma v_i - \gamma \Delta v_i) - \gamma \Delta V_i] + \gamma V_{C_x} = 0; \quad (3.24)$$

- сума моментів усіх сил відносно точки O' :

$$\begin{aligned} \sum_i M_i(O') = 0: & -D_z \cdot \left(x'_G + \frac{L}{2}\right) - D_x \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} R_i \cdot x'_i + \gamma V_{C_z} \cdot \left(x'_C + \frac{L}{2}\right) + \\ & + \gamma V_{C_x} \cdot z'_C + \sum_{i=1}^{N_k} ((\gamma v_i - \gamma \Delta v_i) - \gamma \Delta V_i) \cdot x'_i = 0. \end{aligned} \quad (3.25)$$

Враховуючи величину кута нахилу стапеля та зміни положення судна, приймаємо наступні припущення: $D_z = D_C \cdot \cos \alpha_0 \cong D_C$; $D_x = D_C \cdot \sin \alpha_0 \cong D_C \cdot (\alpha_C - \psi_0)$; $\gamma V_{C_z} = \gamma V_C \cdot \cos \alpha_0 \cong \gamma V_C$; $\gamma V_{C_x} = \gamma V_C \cdot \sin \alpha_0 \cong \gamma V_C \cdot (\alpha_C - \psi_0)$.

Силу плавучості судна γV_C знаходимо по формулі:

$$\gamma V_C = \gamma \cdot \Delta L \cdot \sum \omega_{i \text{ шп}}, \quad (3.26)$$

де ΔL – довжина судна поділена на кількість шпангоутів, м;

$\omega_{j \text{ шп}}$ – площа i -го шпангоуту, м^2 .

Для розрахунку $\omega_{j \text{ шп}}$ для кожної кривої площі на масштабі Бонжана розраховуємо рівняння в залежності від осадки судна на j -му шпангоуті T_i , тобто

$$\omega_{j \text{ шп}}(T_i) = a_{1j} \cdot T_j + b_{1j} \cdot T_j^2 + c_{1j} \cdot T_j^3 = a_{1j} \cdot T_j + \Delta\omega_{j \text{ шп}}, \quad (3.27)$$

де $\Delta\omega_{j \text{ шп}}$ – виправний коефіцієнт, м^2 ;

T_j – осадка судна на j -му шпангоуті, м.

Приймаємо, $\Delta\omega_{j \text{ шп}} = b_{1j} \cdot T_j^2 + c_{1j} \cdot T_j^3$, а T_j знаходимо за формулою

$$T_j = T_{j_B} - d_j = T_{j_B} - (D_6 - w_j) = T_{j_B} - D_6 + \zeta_0 - x'_j \cdot \psi_0.$$

Таким чином,

$$\begin{aligned} \gamma V_C &= \gamma \cdot \Delta L \cdot \sum a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6 + \zeta_0 - x'_j \cdot \psi_0) + \Delta\omega_{j \text{ шп}} = \\ &= \gamma \Delta L \cdot \sum a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6) + \gamma \Delta L \cdot \sum a_{1j} \cdot \zeta_0 - \gamma \Delta L \cdot \sum a_{1j} \cdot x'_j \cdot \psi_0 + \Delta\omega_{j \text{ шп}} = \\ &= \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] + \zeta_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \gamma \Delta L \sum \Delta\omega_{j \text{ шп}}. \end{aligned}$$

Підставляємо проміжні величини в рівняння рівноваги й отримуємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned}
& -D_C + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot \zeta_0 - B_i \cdot k_i \cdot x_i \cdot \psi_0] + \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma v_i - \left(\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x'_i \right) \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] + \\
& \quad \zeta_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_i] + \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j \text{ мп}} = 0; \\
& -D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) - D_C \cdot (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [(B_i \cdot k_i \cdot \zeta_0 - B_i \cdot k_i \cdot x_i \cdot \zeta_0) \cdot x'_i] + \\
& \quad + \gamma V_C \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + \gamma V_C \cdot (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C + \\
& \quad + \sum_{i=1}^{N_k} \left[\left(\gamma v_i - \left(\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x'_i \right) \right) \cdot x'_i \right] = 0.
\end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

або

$$\left. \begin{aligned}
& -D_C + \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot] - \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i] + \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \\
& \quad + \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum_{i=0}^{N_k} [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] + \\
& \quad + \zeta_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j \text{ мп}} = 0; \\
& -D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) - D_C \cdot (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_G + \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + \\
& \quad + (\gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] + \zeta_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \\
& \quad + \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j \text{ мп}}) \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + \alpha_C \cdot z'_C \cdot (\gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] + \\
& \quad + \zeta_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j \text{ мп}}) - \\
& -\psi_0 \cdot z'_C (\gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] + \zeta_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \\
& \quad + \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j \text{ мп}}) + \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \\
& \quad + \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x_i'^2 \right] = 0.
\end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

Оскільки $x_i \cong x'_i$, тоді далі

$$\left. \begin{aligned}
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + 2\gamma\Delta L \sum [a_{1i}] \right) - \\
& - \psi_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma\Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] \right) = \\
& = D_C - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma\Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} \cdot (T_{j_\epsilon} - D_{\bar{o}})] - \gamma\Delta L \sum \Delta\omega_{j_{\text{шп}}}; \\
& - D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) - D_C \cdot \alpha_C \cdot z'_G + D_C \cdot \psi_0 \cdot z'_G + \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'^2_i] + \\
& + \gamma\Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_\epsilon} - D_{\bar{o}})] \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + \zeta_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j}] \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) - \\
& - \psi_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_i] \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + (x'_C + \frac{L}{2}) \gamma\Delta L \sum \Delta\omega_{j_{\text{шп}}} + \\
& + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma\Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_\epsilon} - D_{\bar{o}})] + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \zeta_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j}] - \\
& - \alpha_C \cdot z'_C \cdot \psi_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma\Delta L \sum \Delta\omega_{j_{\text{шп}}} - \\
& - \psi_0 \cdot z'_C \cdot \gamma\Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_\epsilon} - D_{\bar{o}})] - \psi_0 \cdot z'_C \cdot \zeta_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j}] + \\
& + \psi_0 \cdot z'_C \cdot \psi_0 \gamma\Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] - \psi_0 \cdot z'_C \cdot \gamma\Delta L \sum \Delta\omega_{j_{\text{шп}}} + \\
& + \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \zeta_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \psi_0 \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'^2_i \right] = 0.
\end{aligned} \right\} (3.30)$$

Після скорочення другого рівняння отримуємо

$$\left. \begin{aligned}
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] \right) - \\
& - \psi_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] \right) = \\
& = D_C - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma \Delta L \sum_{i=0} [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] - \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}; \\
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] + (x'_C + \frac{L}{2}) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \psi_0 \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \right. \\
& \quad \left. - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] \right) - \\
& - \psi_0 \cdot \left(-D_C \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + \right. \\
& \quad \left. + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] - \right. \\
& \quad \left. - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x_i'^2 \right] - z'_C \cdot \psi_0 \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_i] + z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} \right) = \\
& = D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) \cdot \alpha_C \cdot z'_G - \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) - \\
& - (x'_C + \frac{L}{2}) \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} - \\
& \quad - \alpha_C \cdot z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)].
\end{aligned} \right\} (3.31)$$

Та далі, отримуємо наступну систему:

$$\left. \begin{aligned}
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] \right) - \\
& - \psi_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] \right) = \\
& = D_C - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] - \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}; \\
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x'_i] \right) - \\
& - \psi_0 \cdot \left(-D_C \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \right. \\
& \left. + z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x_i'^2] - z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} \right) = \\
& = D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) \cdot \alpha_C \cdot z'_G - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \\
& - (x'_C + \frac{L}{2} + \alpha_C \cdot z'_C) \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_B} - D_6) + \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}] .
\end{aligned} \right\} (3.32)$$

Для розв'язання системи рівнянь відносно невідомих ζ_0 і ψ_0 вводимо допоміжні коефіцієнти:

$$A_1 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\theta} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j}]; \quad (3.33)$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_\theta} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j]; \quad (3.34)$$

$$D_1 = D_C - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} \cdot (T_{j_\theta} - D_6)] - \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}; \quad (3.35)$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) z'_C) \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_\theta} \cdot x'_i]; \quad (3.36)$$

$$B_2 = -D_C \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] + \\ + z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x_i'^2] - z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}; \quad (3.37)$$

$$D_2 = D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) \cdot \alpha_C \cdot z'_G - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \\ - (x'_C + \frac{L}{2} + \alpha_C \cdot z'_C) \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_\epsilon} - D_6) + \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}] . \quad (3.38)$$

Робимо підстановку проміжних величин в рівняння рівноваги й отримуємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} A_1 \cdot \zeta_0 - B_1 \cdot \psi_0 &= D_1 \\ A_2 \cdot \zeta_0 - B_2 \cdot \psi_0 &= D_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

Розв'язання системи:

$$\zeta_0 = \frac{D_2 \cdot B_1 - D_1 \cdot B_2}{A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2}; \quad (3.40)$$

$$\psi_0 = \frac{A_1 \cdot D_2 - A_2 \cdot D_1}{A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2}. \quad (3.41)$$

Для розв'язання системи рівнянь необхідно враховувати наступні умови:

1. Сухий i -й балон розвантажується, то $w_i \leq 0$ і слід прийняти умову $B_i = 0$.
2. Якщо повністю занурений i -й балон розвантажується, то повинні зникнути і втрачені сили плавучості, тобто $b_i = 0$. Крім того один балон буде зносити потоком води в ніс судна до найближчого завантаженого балону.
3. Якщо i -й балон занурен у воду повністю, то в розрахункових залежностях застосовується лінійна інтерполяція між сухим та повністю зануреним станом.
4. Якщо осадка на i -му шпангоуті судна менше нуля, то коефіцієнти a_1 , b_1 , c_1 дорівнюють нулю.

Дані умови та залежні від величин ζ_0 і ψ_0 члени в коефіцієнтах $A_1, B_1, D_1, A_2, B_2, D_2$ роблять систему рівнянь нелінійною, тому до розв'язків слід долучити ітераційні- процедури на кожному кроці розв'язання системи для корегування величин $A_1, B_1, D_1, A_2, B_2, D_2$.

Розрахунки виконуються для положень судна $S_k = k \cdot 2 \cdot l_6$,

де $k=0,1,2,\dots$ – ітераційний коефіцієнт;

l_6 – відстань між балонами.

Даний крок було обрано так, щоб балони обмінювались місцями положення, без зміни відповідних координат x'_i .

Розрахунок спуску танкера зі стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу у другому наближенні

Основні характеристики судна та стапеля взяті з розрахунку в першому наближенні. Тому, за алгоритмом наведеним у пункті 3.3 виконуємо наступні дії:

Призначаємо системи координат:

$x_0y_0z_0$ – нерухома система координат, зв'язана з поверхнею стапеля (площина $x_0O_0y_0$ – площина стапеля);

$xуz$ – рухома система координат, площина xOy зв'язана з поверхнею стапеля, а xOz проходить через носовий перпендикуляр судна;

$x'y'z'$ – рухома система координат, площина $x'O'y'$ якої проходить через основну площину судна, а $x'O'z'$ зв'язана з носовим перпендикуляром судна.

На початку спуску, коли судно знаходиться на спускових пристроях та тримається носовими утримувачами, усі системи координат співпадають по осі Oz (рис. 3.12). Абсциси та ординати відраховані від площин yOz та $y'O'z'$ будемо позначати відповідно x', x .

Номера пневматичних балонів та їх координати в призначених системах координат визначаються від площини $x'O'z'$. На початку спуску, координата першого пневматичного балону $x_{01} = x'_1 = 1,252\text{м}$; шаг розрахунку, тобто відстань

пройдена судном $\Delta S = 2 \cdot l_6$. Далі розрахунки проводимо у табличному вигляді таблиця Е.1 Додаток Е.

На основі отриманої у другому наближенні математичної моделі було проведено розрахунки спуску танкера довжиною 174,6 м (вага судна 12035 т). Результати представлені графічно на рисунку 3.16: на першому графіку зображено рівень води, поріг стапеля, критичне значення робочої висоти балонів та положення основної лінії судна під час спуску у послідовні моменти часу (рис. 3.16, а); на другому графіку зображені епюри реакції пневматичних балонів у фіксовані моменти часу при спуску (рис. 3.17, б). Представлені результати розрахунку спуску на балонах діаметром 2 м та відстанню між балонами 3,6 м; лінії 1-6 відповідають шляху пройденому судном $S = 0; 36; 72; 100,8; 115,2; 136,8$ м відповідно.

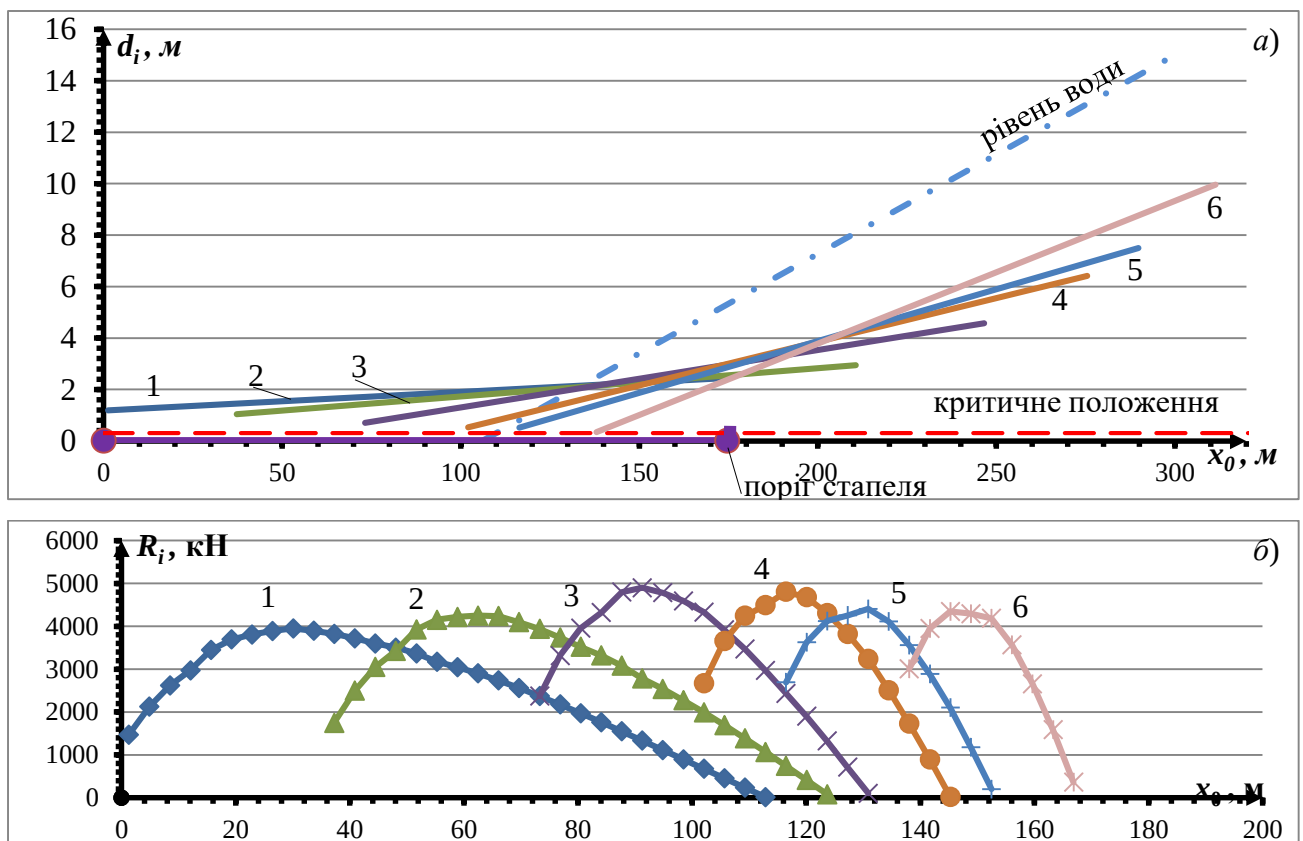


Рисунок 3.16 – Результати розрахунку спуску судна: а) положення основної лінії судна; б) реакції від i -х пневматичних балонів

Варіанти розрахунків спусків було проведено для значень діаметрів балонів $D_6 = 1,5; 1,8; 2,0$ м, відстані між балонами мінімальна, максимальна та проміжна для кожного обраного типу $l_6 = 2,9 \dots 4,2$ м. На рисунку 3.17 показана траєкторія руху носового перпендикуляру судна під час спуску: лінії 1, 2, 3 відповідають $D_6 = 2,0$ м та $l_6 = 3,6; 4,2; 4,7$ м відповідно; лінії 4, 5, 6 відповідають $D_6 = 1,8$ м та $l_6 = 3,3; 3,6; 4,2$ м відповідно; лінія 7 – $D_6 = 1,5$ м та $l_6 = 2,9$ м.

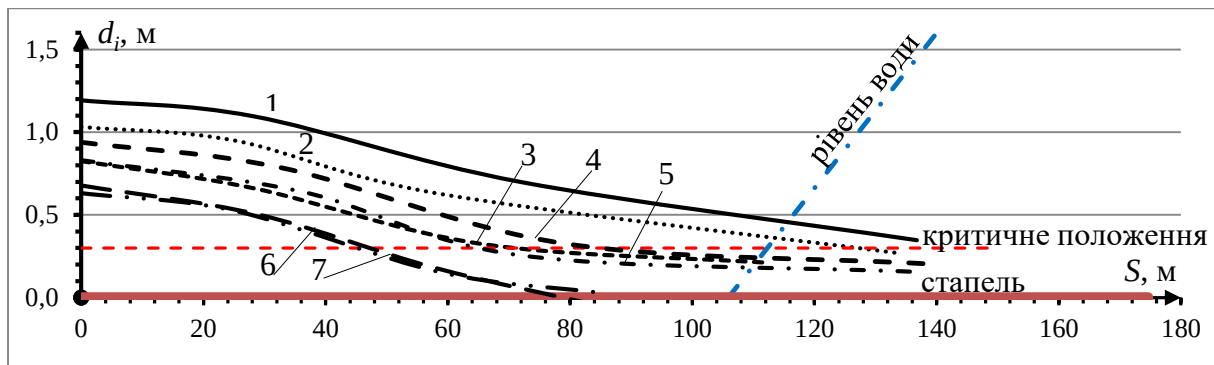


Рисунок 3.17 – Траєкторія руху носового перпендикуляру судна під час спуску на пневматичних балонах

Також на основі отриманої у другому наближенні математичної моделі проведено дослідження з оптимізації обору пневматичних балонів (рис. 3.17, 3.18). Параметр цільової функції - безпечне положення судна на всіх етапах спуску; обмеження - діаметр балона та відстань між балонами.

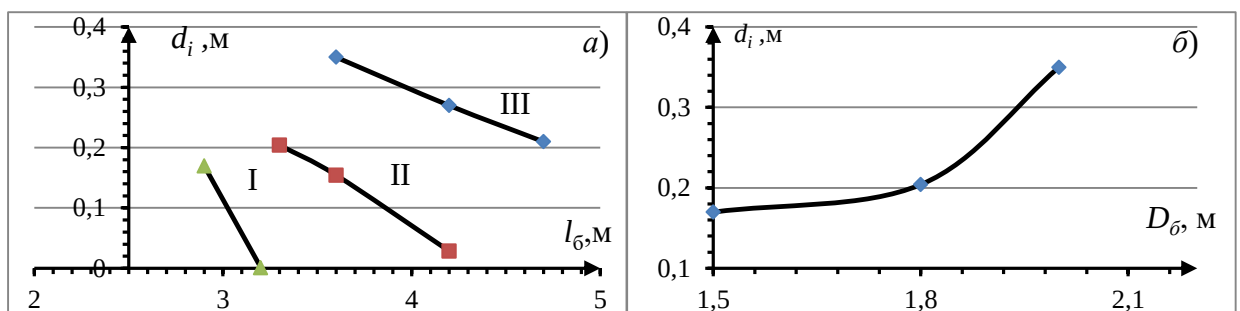


Рисунок 3.18 – Залежність робочої висоти пневматичного балону: а) від відстані між балонами; б) від діаметру балона

Результати оптимізаційної задачі представлені графічно, на прикладі спуску судна довжиною 174,6 м, зі стапеля нахил якого складає 3° . На рисунку 3.18, *a* лінія I відповідає балонам діаметром 1,5 м, лінія II – балонам діаметром 1,8 м та лінія III – балонам діаметром 2,0 м. Аналіз графіків показав, що максимальний діаметр балонів та мінімальна відстань між ними забезпечують максимально безпечніше положення судна.

Також, для перевірки розрахунків, проведене дослідження спуску судна без урахування води, тобто судно спускається з нескінченно довгої похилої поверхні. Розрахунок проводиться до моменту, коли судно торкається стапеля. Результати розрахунків показали, що відстань пройдена судном практично не залежить від діаметрів балонів та відстані між ними. Для прикладу на графіку (рис. 3.19) зображено спуск судна на балонах діаметром $D_6=1,5; 1,8; 2,0$ м та $l_6 = 2,9; 3,6; 3,6$ м відповідно.

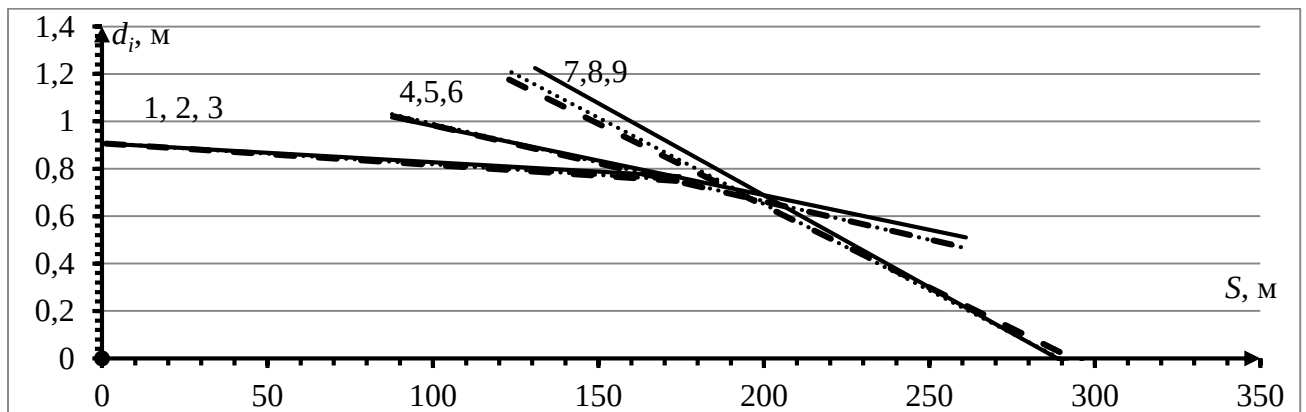


Рисунок 3.19 – Траєкторія руху основної лінії судна під час спуску на балонах по сухому стапелю

Для практичного застосування результатів проведеного дослідження розроблено стандарт підприємства для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах Додаток Г [23,24,96,97]. Та рекомендації для підбору пневматичних балонів представлені у додатку Д.

3.4 Висновки:

1. У результаті проведеного статистичного дослідження отримані англійські діаграми спуску суден на традиційних спускових пристроях і на пневматичних балонах. Виявлено, що під час спуску судна на пневматичних балонах баксовий тиск збільшується в 1,5-2 рази за рахунок додаткової плавучості від балонів, але сумарний тиск навантажень на корпус судна не перевищує експлуатаційних показників. За проведеним розрахунком спуску, розглянутих суден, перекидання та стрибок відсутні.

2. **Вперше** розроблена математична модель спуску судна на воду з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах та на основі розрахунків даного процесу виявлені наступні закономірності: положення максимального значення реакцій стабільно впродовж спуску; зменшення ширина дотику між балоном і днищем судна (загострення судна) суттєво зменшує реакції; максимальні реакції, впродовж спуску, змінюються на 15...20%.

3. В результаті проведеного дослідження з оптимізації обору пневматичних балонів виявлено, що максимальний діаметр балонів та мінімальна відстань між ними забезпечують максимально безпечне положення судна.

4. Розроблено стандарт підприємства для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів на пневматичних балонах

Отримані результати представлені в наступних виданнях:

1. Воленюк Л. С. Статическое исследование спуска судна на пневматических баллонах. Вестник СевНТУ, серия «Механика, энергетика, экология». Выпуск 147. – Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 109–114.

2. Воленюк Л. С. Исследование спуска судов на воду с помощью пневматических баллонов. International journal MOTROL «Commission of Motorization and Energetic in Agriculture» Vol. 16, № 2. – Lubline–Rzeszow, 2014. С. 189– 193. (НМБ Copernicus).

3. Воленюк Л. С., Рашковский А. С. Инновации в строительстве судов и средств океанотехники. Научное обозрение. Технические науки № 5. – Пенза: Академия естествознания, 2016. С. 92-102.

4. Voleniuk L.S., Rashkovskyi, A.S. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. Journal: International Shipbuilding Progress, vol. 64, no. 1-2.– Amsterdam The Netherlands, 2017. pp. 41-50 (**Scopus**).

РОЗДІЛ 4

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РЕНОВАЦІЇ СТАПЕЛЯ ТА СПУСКУ СУДЕН ТРАДИЦІЙНИМ МЕТОДОМ ТА НА ПНЕВМАТИЧНИХ БАЛОНАХ

4.1 Порівняльний аналіз вартості реновації стапеля для спуску суден традиційним методом та на пневматичних балонах

Для визначення економічної доцільності заміни традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони, для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів, проведено порівняльний аналіз вартості реновації стапеля [98,99].

Як було зазначено у РОЗДІЛІ 2 та 3, для спуску судна з існуючого похилого поздовжнього стапеля необхідно утворити плоску поверхню – заповнити простір між доріжками стапеля залізобетонними або металевими конструкціями – проставками [100].

В якості приклада розглянуто реновацію стапеля «0» ЧСЗ. Загальна довжина стапеля становить 330 м, але для побудови судна з максимально допустимою для спуску на балонах вагою, достатньо заповнити простір між доріжками на 250м [14].

Собівартість виготовлення металевих проставок

Для розрахунку вартості металевих проставок, вартість металу взята з каталогу ТОВ «Метал Буд Сервіс» та компанії «ЮТМК Киев», вона складає для листового прокату 660дол.США/т [101,102].

Стапель «0» має чотири спускові доріжки (внутрішні і зовнішні). Для отримання плоскої поверхні стапеля необхідно 20 металевих проставок шириною 6,76м та 40 – шириною 3,4 м. Довжина металевої проставки становить 12 м, що відповідає типовому розміру секцій суден, які виготовляє ЧСЗ [43]. Креслення та основні характеристики металевої проставки зображено на рисунку 4.1.

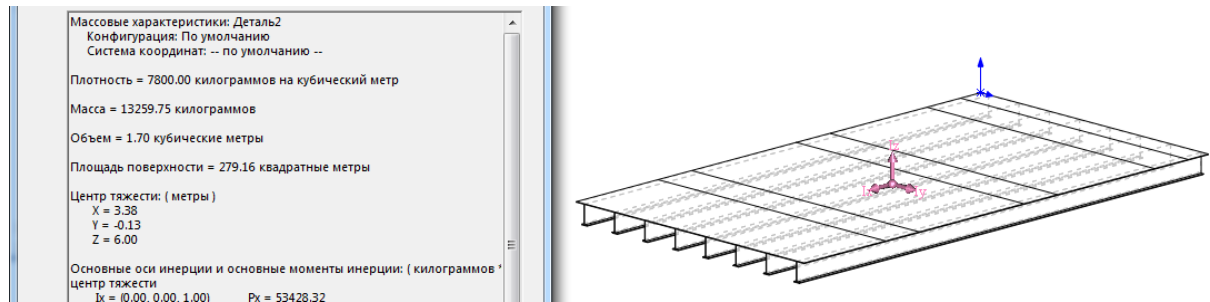


Рисунок 4.1 – Креслення та основні характеристики металевої проставки

Металеві конструкції виготовлені з листової вуглеводистої сталі, вага металу визначаємо за основними характеристиками $P_{\text{мет}} = 13259,75 \text{ кг} = 13,25975 \text{ т}$. $P_{\text{мет}}$ – вага металу однієї металевої проставки для заповнення простору між двома внутрішніми доріжками, але для спуску судна необхідно також заповнити простір між внутрішніми та зовнішніми доріжками. Так як, проставки мають однотипну конструкцію, загальна кількість металу може бути розрахована за формулою:

$$\sum P_{\text{мет}} = P_{\text{мет}} \cdot n_{\Sigma \text{пр}}, \text{ т.}$$

$$\sum P_{\text{мет}} = 530,39 \text{ т.}$$

Тобто загальна вартість металу становить:

$$C_{\text{в}} = \sum P_{\text{мет.}} \cdot c_{\text{мет}},$$

де $c_{\text{мет}}$ – вартість металу за 1т.

$$C_{\text{в}} = 350057,4 \text{ дол.США.}$$

Загальна вартість виготовлення та встановлення металевих проставок:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{в}} \cdot z,$$

де z – виправний коефіцієнт, взятий з даних ЧСЗ. $z = 1,2$ [96,103].

$$C_{\Sigma} = 420068,88 \text{ дол.США.}$$

Вартість виготовлення та встановлення металевих проставок складає 3,36 млн грн.

Собівартість виготовлення залізобетонних проставок

Розрахунки проводяться для однієї залізобетонної проставки, яка встановлюється між внутрішніми спусковими доріжками стапеля «0» ЧСЗ. Форма

і розміри представлені на схемі (рис. 4.2). Вартість виготовлення проставок взята за даними Миколаївського заводу залізобетонних виробів [80].

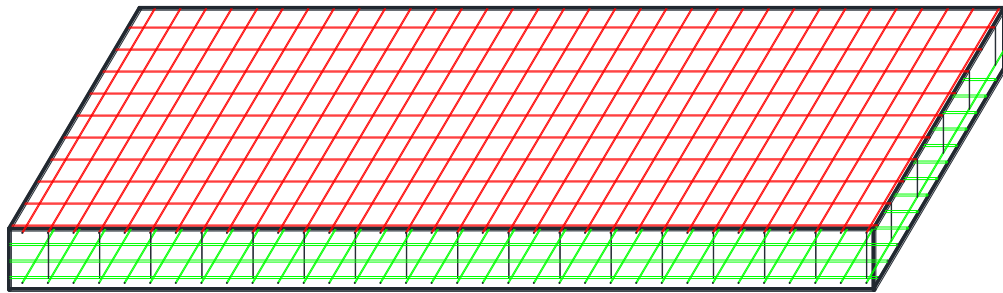


Рисунок 4.2 – Залізобетонна проставка, армована каркасом і сіткою

Розрахункова виробнича собівартість конструкцій $C_{с.к}$ визначається в гривнях як сума окремих складових : собівартості бетонної суміші, витрат на арматурну та листову сталь, на підготовку арматури і виготовлення заставних деталей витрат на формування плит і т. д., величини яких встановлюються відповідно до проектних характеристик даних конструкцій і виробів.

Аналогічним чином встановлюються розрахункові технологічні витрати (трудомісткість) на виготовлення одного виробу в людино-годинах (люд.-год.).

Розрахункова собівартість $C_{с.к}$ визначається по формулі

$$C_{с.к} = C_{б} + C_{ст} + C_a + C_d + C_y + C_{ф} + C_o + C_{п} ,$$

а трудомісткість T_k по формулі

$$T_k = T_{б} + T_a + T_d + T_y + T_{ф},$$

де $C_{б}$ и $T_{б}$ – сумарна собівартість бетонної суміші і трудові витрати на її приготування відповідно;

$C_{ст}$ – сумарна ціна всіх видів стали, що витрачається на виготовлення не напруженої і напруженої арматури і закладних деталей;

C_a і T_a – відповідно сумарні витрати на виготовлення не напружує арматури (сіток, каркасів, окремих стрижнів, монтажних петель) і трудомісткість її виготовлення;

C_d і T_d – собівартість і трудомісткість виготовлення закладних деталей відповідно;

C_y і T_y – собівартість і трудомісткість укладання елементів арматури і закладних деталей у форми (опалубку, касети і т. д.) відповідно;

C_ϕ і T_ϕ – собівартість і трудомісткість формування виробів відповідно;

C_o – витрати на утримання і експлуатацію форм для даного виробу;

C_n – собівартість пара для теплової обробки виробу.

Розрахункова виробнича собівартість $C_{с.к}$ і трудові витрати T_k на виготовлення однієї конструкції визначаються в такій послідовності:

1. Встановлюються технологія і параметри виготовлення бетонної суміші, як для еталонної конструкції, так і для наступних:

а) Вид конструкції – плити фундаментні прямокутного перерізу.

б) Технологія виготовлення – агрегатно-поточна.

с) Максимальна кількість заповнювача – 40мм.

д) Консистенція бетонної суміші (жорсткість) – 5...10с.

2. Визначаються окремі складові названих показників які потім підсумовуються:

Собівартість бетонної суміші

$$C_6 = \sum B_k K_6 \Pi_6$$

та трудові витрати на її приготування

$$T_6 = \sum B_k K_6 T'_6,$$

де $B_k, \text{м}^3$ – об'єм бетону в конструкції однієї плити, $B_k = 6,35, \text{м}^3$;

K_6 – коефіцієнт витрати бетонної суміші, враховуючи витіснені частини бетону арматурою, втрати і відходи бетонної суміші в процесі укладання, $K_6 = 1,012$;

Π_6 , грн. – собівартість 1 м^3 бетонної суміші, $\Pi_6 = 500$, грн.;

T'_6 , люд.-год. – трудові витрати на приготування 1 м^3 бетонної суміші.

$T'_6 = 0,75$, люд.-год;

$C_6 = 6,35 \cdot 1,012 \cdot 500 = 3213,1$ грн;

$T_6 = 6,35 \cdot 1,012 \cdot 0,75 = 4,82$ люд.-год.

Собівартість 1 м³ бетонної суміші включає ціну матеріалів з урахуванням їх доставки на підприємство залізобетону, витрати на розвантаження, в'язкі і заповнювачі, складування, сушку і молоття їх в необхідних випадках, подачу в'язких і заповнювачів у бетонозмішувальні установки, приготуванні бетонної суміші і її доставку до місця укладання у форми. У собівартості бетонної суміші враховані також втрати в'язких, що мають місце в процесі їх транспортування, зберігання і перевантажень до бетонозмішувальної установки включно, у розмірі 3%.

Загальні витрати на сталь $C_{ст}$ розраховуються як сумарна вартість всіх видів стали, що витрачається на виготовлення арматури (ненапружуваною і напружуваною) і закладних деталей

$$C_{ст} = \sum B_a K_{ст} \frac{Ц_{ст}}{1000},$$

де B_a – маса кожного виду виробу з арматури;

$K_{ст} = 1,01$ – коефіцієнт витрати сталі;

$Ц_{ст}$ – закупівельна вартість 1 т сталі по класах, діаметрах і призначенні;

$B_{a8} = 78,842$ кг, $B_{a16} = 138,85$ кг, $B_{a6} = 14,62$ кг – маса сталі, що витрачається на виготовлення арматури, діаметром 8мм, 16мм та 6мм відповідно.

$Ц_{ст8} = 6820$ грн/т, $Ц_{ст16} = 6549$ грн/т, $Ц_{ст6} = 6934$ грн/т.

$C_{ст} = 1563,89$ грн.

Вартість виготовлення елементів (виробів) не напружуваної арматури визначається за формулою

$$C_a = \sum B_a \frac{Ц_a}{1000},$$

а трудомісткість їх виготовлення

$$T_a = \sum B_a \frac{T_a}{1000},$$

де $Ц_a$ – вартість 1 т сталі по класах, діаметрах і призначенню;

T_a – трудомісткість виготовлення 1т не напруженої арматури.

$Ц_{a8} = 539$ грн/т, $Ц_{a16} = 489$ грн/т, $Ц_{a6} = 634$ грн/т; $T_{a8} = 16,8$ люд.-год.,

$$T_{a16} = 7,8 \text{ люд.-год.}, \quad T_{a6} = 52,8 \text{ люд.-год.}$$

$$C_a = 151,06 \text{ грн.}$$

$$T_a = 3,18 \text{ люд.-год.}$$

Собівартість виготовлення закладних деталей C_d визначається по формулі

$$C_d = \sum B_d \frac{Ц_d}{1000},$$

а трудові витрати на їх виготовлення

$$T_d = \sum B_d \frac{T'_d}{1000},$$

де B_d , кг – маса кожного типу закладних деталей, $B_d = 9660$ кг;

$Ц_d$ і T'_a – собівартість і трудомісткість виготовлення 1 т закладних деталей по їх видах або по технологічно однорідних групах деталей відповідно.

$$Ц_d = 1550 \text{ грн} \quad \text{і} \quad T'_d = 9,5 \text{ люд.-год.}$$

Собівартість $Ц_d$ і трудомісткість T'_d виготовлення 1 т закладних деталей включають витрати на доставку сталі із складу до робочого місця в цеху, виготовнику деталей, сортування, розкрій, різання, свердління, зварювання, приварювання анкерних стержнів, їх згинання (у необхідних випадках) і подачу готових деталей до місця укладання у форми.

$$C_d = 96,6 \frac{1550}{1000} = 149,7 \text{ грн};$$

$$T_d = 96,6 \frac{9,5}{1000} = 0,92 \text{ люд.-год.}$$

До складу робіт і витрат, здійснюваних у формувальному цеху, включені наступні:

- укладання арматури і закладних деталей у форми;
- формування виробів;
- підвищення заводської готовності виробів;
- зміст і експлуатація форм;
- на пар для теплової обробки виробів.

Собівартість укладання не напруженої арматури і закладних деталей у форму визначається по формулі

$$C_y = (B_a + B_d) \frac{Ц_y}{1000},$$

а трудові витрати на укладання T_y за формулою

$$T_y = (B_a + B_d) \frac{T'_y}{1000},$$

де B_a , кг – загальна маса арматури в конструкції, $B_a = 222,312$ кг;

B_d , кг – загальна маса закладних деталей в конструкції, $B_d = 9,66$ кг;

$Ц_y$ і T'_y – собівартість і трудомісткість укладання 1т арматури і закладних деталей у форму відповідно: $Ц_y = 4050$ грн/т і $T'_y = 34$ люд.-год.

Собівартість $Ц_y$ і трудомісткість T'_y укладання 1 т арматури і заставних деталей включають витрати на комплекс операцій по укладанню у форму арматурних елементів і виробів (сіток, каркасів, окремих стержнів і монтажних петель) і установку закладних деталей за допомогою крану або вручну із закріпленням елементів, що укладаються, в проектне положення і скріплюються електрозварюванням (прихватка або в'язкою з установкою в необхідних випадках, фіксувальних пристроїв (включаючи їх вартість).

$$C_y = 939,5 \text{ грн.}$$

$$T_y = 4,04 \text{ люд.-год.}$$

Собівартість формування виробів визначається по формулі

$$C_\phi = B_\Pi Ц_\phi,$$

а трудові витрати на формування

$$T_\phi = B_\Pi T'_\phi,$$

де B_Π , м³ – об'єм бетону у виробі в щільному тілі, $B_\Pi = 6,03$ м³;

$Ц_\phi$ і T'_ϕ – собівартість, і трудомісткість, формування 1 м³ бетону в щільному тілі відповідно, $Ц_\phi = 485$ грн і $T'_\phi = 3,6$ люд.-год.

Собівартість $Ц_\phi$ і трудомісткість T'_ϕ формування 1 м³ бетону включають витрати на підготовку і установку форм, їх змащування, укладання бетонної

суміші, її ущільнення, обробку поверхонь, транспортування відформованого виробу в установки теплової обробки, обслуговування цих установок, розпалубку форм після теплової обробки, операції затерання і доставку готових виробів на склад.

$$C_{\phi} = 2924,55 \text{ грн.}$$

$$T_{\phi} = 21,708 \text{ люд.-год.}$$

Витрати на утримання форм (опалубки) C_o визначаються по формулі:

$$C_o = B_{\text{и}} \Pi_o,$$

де $B_{\text{и}}$, м^3 – сумарний об'єм бетону конструкції, $B_{\text{и}} = 6,03 \text{ м}^3$;

Π_o , грн – витрати на утримування сталевих форм на 1 м^3 бетону в щільному тілі,

$$\Pi_o = 425 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання сталевих форм Π_o включають витрати на амортизацію і ремонт форм з урахуванням планової їх оборотності впродовж року.

$$C_o = 2562,75 \text{ грн.}$$

Вартість пара на теплову обробку виробів $C_{\text{п}}$ визначається по формулі:

$$C_{\text{п}} = B_{\text{и}} \cdot \Pi_{\text{п}},$$

де $\Pi_{\text{п}}$, грн. – собівартість пара, що доводиться на теплову обробку 1 м^3 бетону виробу в щільному тілі, $\Pi_{\text{п}} = 145$, грн.

Собівартість пара включає витрати на отримання теплової енергії (пара), що витрачається на термовологу обробку в агрегатах прискореного тверднення і підігрівання заповнювачів в зимовий час, а також витрати на зміст комунікацій по паропостачанню.

$$C_{\text{п}} = 874,35 \text{ грн.}$$

Визначення повної розрахункової вартості і трудомісткості виготовлення залізобетонної конструкції $C_{\text{с.к}} = 11398,7$ грн. Трудомісткості виготовлення залізобетонної конструкції $T_{\text{к}} = 30,06$ люд.-год. Усі розрахунки зводимо в підсумкову таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Собівартість та трудомісткість виготовлення однієї залізобетонної конструкції шириною 6,76 м та довжиною 2 м

№/П	Найменування показника	Собівартість, грн	Трудомісткість, люд.-год.
1	Арматурна сталь	1563,9	-
2	Бетонна суміш	3213,1	4,8
3	Виготовлення не напруженої арматури	151,1	3,2
4	Виготовлення закладних деталей	150	1,0
5	Укладка арматури та закладних деталей у форму	939,5	4,0
6	Формування	2924,5	21,7
7	Затрати на утримання форм	2562,8	-
8	Собівартість пару	874,4	-
	Всього	12379,3	34,7

Собівартість та трудомісткість виготовлення проставок між зовнішніми доріжками розраховуємо, використовуючи коефіцієнт відносності

$$K = \frac{V_1}{V_2},$$

де V_1 – об'єм проставок між зовнішніми доріжками, $V_1 = 2,58 \text{ м}^3$;

V_2 – об'єм проставок між внутрішніми доріжками, $V_2 = 2,58 \text{ м}^3$.

$K = 0.41$.

Собівартість виготовлення проставок між зовнішніми доріжками

$$C_{\text{ск}2} = C_{\text{ск}1} \cdot K,$$

де $C_{\text{ск}2}$ – собівартість виготовлення проставок між зовнішніми спусковими доріжками;

$C_{\text{ск}1}$ – собівартість виготовлення проставок між внутрішніми спусковими доріжками.

$C_{\text{ск}2} = 5075,5 \text{ грн}$.

Трудомісткість виготовлення проставок між зовнішніми доріжками

$$T_{\text{ск2}} = T_{\text{ск1}} \cdot K,$$

де $T_{\text{ск2}}$ – трудомісткість виготовлення проставок між зовнішніми спусковими доріжками;

$T_{\text{ск1}}$ – трудомісткість виготовлення проставок між внутрішніми спусковими доріжками.

$$T_{\text{ск2}} = 14,23 \text{ люд.-год.}$$

Загальна кількість проставок визначається за формулою

$$N_{\Sigma\text{пр}} = L_{\text{СТ}} / l_{\text{пр1}} + L_{\text{СТ}} / l_{\text{пр2}},$$

де $L_{\text{СТ}}$ – довжина плоскої поверхні стапеля, $L_{\text{СТ}} = 250\text{м}$;

$l_{\text{пр1}}$ – довжина проставок між внутрішніми спусковими доріжками, $l_{\text{пр1}} = 2\text{м}$;

$l_{\text{пр2}}$ – довжина проставок між зовнішніми спусковими доріжками, $l_{\text{пр2}} = 4\text{м}$.

$$N_{\Sigma\text{пр}} = 188 \text{ шт.}$$

Вартість виготовлення транспортування та встановлення проставок визначається за формулою

$$C = (N_{\text{пр1}} \cdot C_{\text{ск1}} + N_{\text{пр2}} \cdot C_{\text{ск2}}) \cdot k,$$

де $N_{\text{пр2}}$ – кількість проставок між внутрішніми спусковими доріжками,

$$N_{\text{пр2}} = 125 \text{ шт};$$

$N_{\text{пр1}}$ – кількість проставок між зовнішніми спусковими доріжками,

$$N_{\text{пр1}} = 63 \text{ шт};$$

k – коефіцієнт, який враховує вартість транспортування та встановлення проставок, $k = 1,5$.

$$C = 2800753,5 \text{ грн.}$$

Порівняльний аналіз вартості реновації стапеля

Як було зазначено вище, для визначення доцільності застосування пневматичних балонів для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів, проведено порівняльний аналіз вартості реновації стапеля.

За отриманими результатами дослідження:

вартість виготовлення та встановлення металевих проставок дорівнює 6,34 млн грн;

вартість виготовлення транспортування та встановлення залізобетонних проставок становить 2,8 млн грн.

За даними представленими управління ЧСЗ розрахункова вартість ремонту стапеля, спускових пристроїв, приготування та нанесення насалки [104,105] для спуску суден традиційним методом становить близько 10 млн грн.

Порівняльна вартість реновації стапеля представлена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння вартості реновації стапеля

Метод реновації	Вартість млн грн
Ремонт стапеля	10
Використання металевих проставок	3,36
Використання залізобетонних проставок	2,8

Використання проставок дозволяє знизити вартість реновації в 3 - 3,5 рази.

4.2 Порівняльний аналіз вартості спуску судна на традиційних спускових пристроях та на пневматичних балонах

Для проведення порівняльного аналізу вартості спуску судна розраховані вартість спуску судна на традиційному спусковому пристрої за даними ЧСЗ по спуску останнього судна на заводі та орієнтовна вартість спуску на пневматичних балонах. Згідно номенклатурної відомості технологічних комплектів на монтаж та встановлення спускового пристрою [103] трудомісткість нанесення насалки та монтажу спускового пристрою для спуску танкера $L=224,9$ м складає 4670,6 н.-год. Та годинна тарифна ставка середнього робітника стапельного цеху складає 12,5 грн/год, звідси маємо вартість нанесення насалки та монтажу спускового пристрою:

$4670,6 \cdot 12,5 = 58,4$ тис.грн. З урахуванням накладних витрат ця сума збільшиться на 60%, звідси маємо: $48,4 \cdot 1,6 = 77,4$ тис.грн.

Згідно даних ЧСЗ [104,105] склад насалки, ціна та маса кожного з її складових, яка необхідна для спуску даного судна представлена в таблиці 4.3. Слід також зазначити, що насалка використовується одноразово.

Таблиця 4.3 – Розрахунок вартості насалки

№	Найменування компонентів.	Маса, кг.	Ціна, грн/кг.	Вартість, тис.грн.
1	Атактичний поліпропілен	2235	210	469
2	Мастило індустриальне И-12А	7828	84	657
3	Петролатум окислений	2236	57	127
4	Петролатум з залишкової сировини	7335	18	132
5	Парафін «Т-1»	18656	146	2724
6	Церезин 65	4473	267	1194
	Всього	42763	-	5303

Вартість спуску судна з застосуванням пневматичних балонів.

Згідно даним компанії-постачальника [25] ціна спускового балону обраного для спуску типу складає приблизно 6000дол.США, тобто 48240грн. Кількість спускових балонів, яка необхідна для спуску судна довжиною $L=224,9$ м складає 68 шт, звідси маємо вартість спускових балонів: 3280,32 тис. грн.

Для розрахунку вартості спуску першого судна візьмемо 30% від загальної вартості балонів, звідси маємо: $3280,32 \cdot 0,3 = 984,1$ тис. грн.

Обґрунтування

Так як відсутні дані по монтажу пневматичних балонів значення вартості спускових робіт дорівнюємо вартості встановлення традиційних спускових

пристроїв , але в апріорі трудомісткість і тривалість установки під судном пневматичних балонів буде значно менше.

Порівняння вартості спуску судна традиційним методом та з використанням пневматичних балонів представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння вартості спуску судна

Спуск на традиційних спускових пристроях		Спуск на пневматичних балонах	
Найменування операції та матеріалів	Вартість, тис. грн	Найменування матеріалів	Вартість, тис. грн
Насалка	5303	Спускові балони	3280,32
Нанесення насалки та монтаж спускового пристрою	77,4	Встановлення балонів та їх надування	77,4
Всього	5380,4		3357,72

Застосування пневматичних балонів для спуску суден з поздовжніх стапелів дає економію коштів в 1,64 рази при одноразовому використанні балонів, та 4,2 рази за рахунок багатократного їх використання без додаткових витрат.

4.3 Висновки

Проведено порівняння вартості ремонту похилого поздовжнього стапеля «0» ЧСЗ та реновації його для спуску на пневматичних балонах. За отриманими даними вартість виготовлення та встановлення металевих проставок дорівнює 3,36 млн грн, залізобетонних проставок – 2,8 млн грн, та вартість ремонту стапеля 10млн.грн. Тобто створення плоскої поверхні стапеля для спуску судна на пневматичних балонах в 2,5 та в 3,6 рази дешевше ніж ремонт.

Застосування пневматичних балонів для спуску суден з поздовжніх стапелів дає економію коштів в 4,2 рази за рахунок багатократного їх використання без додаткових витрат, та дозволяє зменшити тривалість та трудомісткість робіт, пов'язаних зі спусковими роботами.

Отримані результати представлені в наступних виданнях:

1. Смирнова Л. С., Рашковський О. С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування №1. – Миколаїв: НУК, 2012.– URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.
2. Смирнова Л. С., Рашковский А. С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах .Зб. наук. праць НУК № 1. – Миколаїв: НУК, 2013. С. 11–15.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі представлено дослідження з реновації похилих поздовжніх стапелів та спуску суден з них на пневматичних балонах. На підставі отриманих результатів основні висновки полягають у наступному:

1. В результаті обстеження й аналізу існуючих похилих поздовжніх стапелів двох великих суднобудівних заводів України – Чорноморського суднобудівного заводу (ЧСЗ) й Заводу імені 61 комунара та їх основних гідрогеологічних і конструктивних характеристик визначено можливі способи їх реновації з метою пристосування стапелів до спуску суден на пневматичних балонах.

2. **Вперше** розроблено метод реновації стапеля «0» ЧСЗ без його руйнування шляхом заповнення простору між спусковими доріжками спеціальними міцними проставками, що дає можливість у подальшому спускати на них судна на балонах. На основі проведеного техніко-економічного аналізу металоємності, міцності та технологічності виготовлення обрано раціональні конструкції металевих і залізобетонних проставок.

3. У першому наближенні, використовуючи аналогію з традиційними методами розрахунку спуску, отримано англійські діаграми спуску суден як на традиційних спускових пристроях, так і на пневматичних балонах. Виявлено, що під час спуску судна на пневматичних балонах баксовий тиск на судно у носовій частині збільшується в 1,5...2 рази у порівнянні з традиційним спуском за рахунок додаткової плавучості від балонів, занурених у воду. Однак сумарний тиск від реакцій балонів на корпус судна загалом не перевищує сертифікованих експлуатаційних показників для балонів. За проведеними розрахунками спуску типових для ЧСЗ суден діаграми також не виявили перекидання та стрибка при сходженні суден з порога стапеля у воду.

4. У роботі **вперше** розроблено квазістатичну математичну модель процесу спуску судна на воду з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах та на основі систематичних розрахунків з різними параметрами суден і балонів виявлено наступні закономірності: а) положення максимального значення

реакцій від балонів практично стабільне протягом усього процесу спуску; б) зменшення площі контакту між балонами і днищем судна у носовій частині через звуження корпусу суттєво зменшує діючі реакції; в) максимальні значення реакцій протягом спуску судна зростають не більше, ніж на 15...20%, поступово зміщуючись до носової частини судна; г) при спливанні зануреної у воду кормової частини судна не виявлено значного тиску на корпус і на балони у носовій частині судна.

5. В результаті числового дослідження з оптимізації вибору пневматичних балонів та їх розташування з'ясовано, що максимальний діаметр балонів та мінімальна відстань між ними (у два діаметри балонів) забезпечують загалом мінімально безпечні рівні навантаження на балони та положення судна без досягнення небезпечних критичних значень.

6. Застосування розробленої математичної моделі також дозволило уточнити положення судна на всіх етапах спуску та встановити, що тиск на одиницю площі контакту балонів та днища судна в процесі спуску залишається незмінним і залежить тільки від показника жорсткості балонів на стискання. Крім того, у порівнянні з розрахунками, проведеними у першому наближенні за діаграмами, виявлено, що спливання настає дещо раніше, ніж при традиційному спуску.

7. У роботі **отримав подальший розвиток** техніко-економічний аналіз спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів та на прикладі стапеля «0» ЧСЗ проведено порівняння вартості ремонту стапеля для традиційних спусків і реновації його для спуску на пневматичних балонах. За отриманими даними створення плоскої поверхні стапеля із застосуванням спеціальних проставок для спуску судна на пневматичних балонах у 2,7...3,6 рази дешевше, ніж його капітальний ремонт та повне відновлення функціональних якостей.

8. Оцінка застосування пневматичних балонів для спуску суден з поздовжніх стапелів показала економію коштів приблизно в 1,6 рази при одноразовому використанні балонів, та у 4,2 рази за рахунок багатократного їх використання без додаткових витрат.

9. Результати проведених у роботі досліджень **впроваджено** у навчальний процес у навчально-науковому інституті кораблебудування НУК.

10. Для практичного застосування результатів проведеного дослідження **розроблено** стандарт підприємства для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів на пнев-матичних балонах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нарусбаев А.А. Судостроение XXI век. – Л: Судостроение, 1988. – 144с.
2. Тенденции мирового судостроения. Сайт для моряков и круизных компаний MaritimeZone 2008—2016. –URL: maritime-zone.com (дата звернення 30.03.2015).
3. Мильто А.А. Совершенствование продольного спуска судов. – Л: Судостроение, 1978. – 183с.
4. Власов В.Г. Теория корабля. Спуск на воду. – Л.-М: ОНТИ, 1936. – 236с.
5. Суслов В.П., Васильев Б.И. Судостроение и морские сооружения, Вып. 2. – Х.: Судостроение, 1966.
6. Дубров Н.Б. Судостроение и судоремонт [Научно-производственное издание] /Н.Б. Дубров – Одесса: ПО «Издательский центр», 2012. – 52 с.
7. Ловягин М.А. Металлические плавучие доки. - Судостроение, 1964.- 168 с.
8. Волков Г.Н. Спуск судов на воду спусковые работы: практическое руководство для мастеров. – Л.-М: ОНТИ, 1935. – 244с.
9. Волкова Н. Н., Ловягина М. А. Иностранное военное кораблестроение. Спуск на воду кораблей большого тоннажа.—Л.: ОНТБ, 1939. –199 с.
10. Волков Г.Н. Стапеля и работа на них: учебное пособие. – Л.-М: Госстойиздат, 1933. – 40с.
11. Спуск судов: монография/Курдюмов А. А. и др. – Л.: Судостроение, 1966. – 416 с.
12. Infomarine shipbuilders and repairers. Електронний каталог: INFOMARINE24.COM 2015. – URL: www.infomarine24.com/compe/build5.shtml (дата звернення 30.03.2015).
13. Korabley.net. Інтернет-портал: корабел & Co, designed by RBJ., 2008-2016. –URL: www.korabley.net (дата звернення 30.03.2015).
14. Чорноморський суднобудівний завод. Офіційний сайт. – Електронні дані. – Миколаїв, 2005-2015. – URL: www.blackseayard.com.ua (дата звернення 28.05.2014).

15. Державне підприємство суднобудівний завод імені 61 комунара. Офіційний сайт. Миколаїв, 2000-2016. – URL: www.shipyard61.com.ua (дата звернення 28.08.2016).
16. Загайкевич Д.Н. Продольный спуск судов: учебное пособие. – Л.:Судпромгиз, 1950. – 239с.
17. Степанов А. М. Спуск судов на воду. Учебное пособие издательство НКИ Николаев. 1960.-66с.
18. Боковой спуск судов и его расчет: монография / Н. А. Николаев. – М.: Оборонгиз, 1946. – 68с.
19. ОСТ5.9006-70 Спуск судов с применением антифрикционного пластмассового материала.-Чинний від 1970.10.13. -Київ:Національний стандарт України, 1994.- 96с.
20. Разработка и внедрение устройства на водяной подушке для транспортировки судовых конструкций. Отчет по НИР №25.2.Р.60. – Чинний від 1980. – НКИ, Николаев, 1980. – 53 с.
21. GB/T 21482-2008, Marine and ship technology - Pneumatic rubber fenders.- China national standard.- Effective of 2008.
22. CB/T 3837-2011, Technological Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-bags (revised version) .- China national standard.- Effective of 2011.
23. CB/T 3795-1996 Air bag for ship up to or down to launching way. Shipbuilding industry standard, RPC. – Effective of 1998. 06. 01. – China State Shipbuilding Corporation, 1996. – 31 с.
24. CB/T 3837-1998 Technological Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags. Shipbuilding industry standard, RPC. –Effective of 1998.12.29 . – China State Shipbuilding Corporation, 1998. – 11p.
25. Ship launching airbags. – Shandong Nanhai Airbag Engineering Co, 2006-2016. – URL: <http://www.nanhaiairbag.com/> (дата звернення 28.08.2015).

26. Мобильные судоподъемные комплексы. – Аквалайт. Мобильные судоподъемные комплексы. Copyright (C) 2010 - 2016 Aqualight LTD. – URL: <http://marineairbag.ru/> (дата звернення 28.08.2016).

27. Marine Air Bags? A Most Unusual Way To Launch A ShipURL. Стаття з сайту gCaptain, 2011, URL: <http://gcaptain.com/air-bags-a-cost-effective-ship-launching-technique-interview/> (дата звернення 15.10.2016).

28. ISO17682:2013, Ships and marine technology - Mythodology for ship launching utilizing air bags.- international standard.- Effective of 2013.05.

29. ISO14409:2011, Ships and marine technology - Ship launching air bags.- International standard .- Effective of 2011.09.

30. Revolutionary fouling control. Magazine: DryDock — june 2013 - 88p.

31. Harrison B Andrews, Archer M Nickerson Society of Naval Architects and Marine Engineers (U.S.). New England Section. - Quincy, MA : Society of Naval Architects and Marine Engineers, New England Section, 1945.

32. CB/T 3948-2001, Marine Pneumatic Rubber Fenders.- China national standard.- Effective of 2001.

33. Ship launching airbag. Shandong Nanhai Airbag Engineering Co.,Ltd.- 2012,
URL:<http://www.airbag.cc/productsinfo.asp?c=products&ID=2185&gclid=CPHEhfiCrNMCFULJGQodPy0P7w> (дата звернення 15.10.2016).

34. Rubber Airbags For Cassion Moving. No.: CL-QN-001.-URL: http://en.clqnkq.cn/products_detail/productId=163.html?gclid=COqPuMSDrNMCFQ-UsgodPe4GZA(дата звернення 15.10.2016).

35. Загайкевич Д.Н. Теория корабля: учебное пособие. – Л.: Судпромгиз, 1953. – 300с.

36. Vladimir Semyonov-Tyan-Shansky V. 1. STATICS AND DYNAMICS OF THE SHIP: THEORY OF BUOYANCY, STABILITY AND LAUNCHING.- University Press of the Pacific, 2004.- 596.

37. Голюков В. А., Козьмич М. А., Онищенко О. А. Методологія наукових досліджень: навчальний посібник . -Одесса: ОНМА, 2014. - 163 с.

38. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю. Методология научных исследований: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 164с.

39. Антонец И. В., Циркин Н. А. История и методология научного исследования: учебное пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 90с.

40. Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология научного исследования. – М. : Либроком. – 280с.

41. Рузавин Г. И. Методология научного исследования. – М. : ЮНИТ-ДАНА, 1999. – 317 с.

42. Судоспускные и судоподъемные сооружения: монография/ Григорьев В.И. и др. – Л.:Стройиздат, 1976. – 175с.

43. Смирнова Л.С. Исследование и технико-экономическое обоснование модернизации продольного наклонного стапеля на «Черноморском судостроительном заводе» г. Николаева для спуска судов на пневматических баллонах. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв: НУК, 2012. С.78–79.

44. Мельник А. Н. Судоремонт и судостроение: состояние и перспективы. Флот - 21 век. – “Килен-бухта” Сайт “Флот - XXI век”, 2009 - 2014. – URL: http://blackseafleet-21.com/news/14-02-2013_sudoremont-i-sudostroenie-sostojanie-i-perspektivy (дата звернення 28.08.2016).

45. Смирнова Л. С., Рашковський О. С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування №1. – Миколаїв: НУК, 2012.– URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.

46. Смирнова Л. С. Совершенствование спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева. Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 50–51.

47. Смирнова Л. С., Коломиец И. Н. Инновационные технологии в отечественном судостроении. Материалы международной научно - практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2010». – Одесса: УкрНИИМФ, 2010. – С. 41–42.

48. Воленюк Л.С. Исследование спуска судов на воду с помощью пневматических баллонов. International journal MOTROL «Commission of Motorization and Energetic in Agriculture» Vol. 16, № 2. – Lubline–Rzeszow, 2014. С. 189– 193.

49. Пневматические ролик-мешки для спуска и подъема судов . – Омск: ООО «НПП«СИБРЕЗИНОТЕХНИКА», 2015-2016. – URL: <http://sibrt.com/suda/> (дата звернення 30.03.2015).

50. A most unusual way to launch a ship: Marine air bags. By gCaptain, august 3, 2011. –URL: <http://gcaptain.com/maritime/blog/air-bags-a-cost-effective-ship-launching-technique-interview> (viewed on June 13, 2013).

51. Смирнова Л. С. Совершенствование спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева. Матеріали II міжнародної науково– технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. – С. 50-51.

52. Смирнова Л. С., Рашковский А. С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах .Зб. наук. праць НУК № 1. – Миколаїв: НУК, 2013. С. 11–15.

53. Смирнова, Л. С. Особенности спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева. Материалы VI студен-ческой научно– технической конференции «Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений». – Севастополь: СевНТУ, 2011. С. 68– 69.

54. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков: монография/ Рашковский А.С. та ін.- Миколаїв: РАЛ-поліграфія, 2008. – 614 с.
55. Правдин А.А. Конструкция корпуса судна.-Ленинград: Судпромгиз, 1959.-473 с.
56. Емельянов Е.Ф. Устройство конструкция и элементы теории судна. Учебное пособие.- Владивосток, 2002.- 143с.
57. Козляков В.В., Финкель Г.Н., Хархурим И.Я. Проектирование доковых опорных устройств.- Л.:Судостроение, 1973.
58. Работы, выполняемые при ремонте судна в доке. Stroitelstvo-New.ru 2006-2017. URL:<http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/rk/pri-remonte-sudna-v-doke.shtml>.-Дата звернення 07.05.2017.
59. Стапельная сборка корпуса судна. Stroitelstvo-New.ru 2006-2017. URL:<http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/rk/stapelnaya-sborka-korpusa-sudna.shtml>.
60. Технология изготовления конструкций корпуса судна: монография/ Рашковский А. С и др. – Николаев: НКИ, 2016.- 237с.
61. Eyres D. J. Ship Construction. Sixth edition. – Great Britain: MPG Books Ltd .Bodmin. Cjhywall, 2007. – 365.
62. Саатгі.Т., Вачнадзе Р. Г. Принятие решений. Метод анализа иерархий . – М.: Радио связь, 1993.–С.278.
63. Основы технологии судостроения: монография/Александров В.Л. и др. Судостроение, 1995. 400 с.
64. Перов В. Н., Цикало Н. В. Технологичность корпусных конструкций: учебное пособие. – Николаев : НУК, 2012. – 72 с.
65. Архангородский А.Г., Беленький Л.М. Аналитический метод проектирования корпуса судна.- Ленинград:СУДПРОМ ГИЗ, 1959.-207с.
66. Зенкевич О. А., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. – М. : Недра, 1974. – 240 с.

67. Постнов В. А., Ростовцев Д. М. Строительная механика корабля и теория упругости. Т. 2. Изгиб и устойчивость стержней, стержневых систем, пластин и оболочек. – Л.: Судостроение, 1987. – 416 с.
68. Постнов В. А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. – Л. : Судостроение, 1974. – 334 с.
69. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Введ. 01.01.87. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 58 с.
70. Метод конечных элементов. Под ред. П. М. Варвака. – К.: Вища школа, 1981. – 176 с.
71. Руководство для учащихся по изучению программного обеспечения SolidWorks. Серия Engineering Designand Technology.-URL:<https://http://www.solidworks.com/education>.-Дата звернення 05.05.2013.
72. Duhovnik J., Demsar I., Dresar P. Space Modeling with SolidWorks and NX. - London: Springer, 2015. - 490 p.: il.. - ISBN 978-3-319-03861-2. — ISBN 978-3-319-03862-9.
73. Akin J. E. Finite Element Analysis Concepts. Via SolidWorks in. - New Jersey: World Scientific, 2010. - 335 p.: ил.. - ISBN 978-981-4313-01-8.
74. Рашковский А. С., Жигулина С. И., Фарионов А. М. Технология изготовления секций корпуса судна: методические указания. – Николаев : НКИ, 1990.-36с.
75. Рашковский А. С., Жигулина С. И., Фарионов А. М. Проверочные и контуровочные работы при изготовлении секций корпуса судна: методические указания. – Николаев: НКИ, 1990. – 164с.
76. Келоглу Ю.П., Захариевич К.М., Карташевская М.И. Металлы и сплавы. Справочник.-Кишинев: “Карта Молдовеняскэ”, 1977.- 264 с.
77. Снабинвест экспортные поставки в страны СНГ и дальнего зарубежья. Челябинск: ООО «Снабинвест», 2004– 2015. – URL: <http://www.snabinvest.org/> (дата звернення 30.03.2013).
78. Конструкция и прочность железобетонных судов: монографія Синцов Г.М. и др. – Л. : Судостроение, 1969. – 215 с.

79. Слуцкий Н. Г. Оптимизация железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока. Зб. наук. праць НУК № 4.. – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 78–83.

80. Смирнова Л.С. Реконструкция подольного наклонного стапеля с применением железобетонных проставок. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальные проблемы строительства и архитектуры». – Миколаїв: НУК.

81. Кардаенко А.П. Учебное пособие SCAD Office. Шаг за шагом. «КАПпроект» Санкт-Петербург 2011.-URL: www.kaproject.ru.

82. Правила постройки корпусов судов и плавучих сооружений с применением железобетона . – К. : Регістр судноплавства України, 2007. – 120 с.

83. Коростылев Л. И., Клименков С.Ю., Слуцкий Н.Г. Расчет прочности железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока методом конечных элементов. Зб. наук. праць НУК, № 5. – Миколаїв : НУК, 2009. С. 19–25

84. Семенов-Тян-Шанский В.В. Статика и динамика корабля .Теория плавучести, остойчивости и спуска. – Ленинград: Судостроение, 1973. – 586с.

85. Воленюк Л.С. Исследование опрокидывания судна при спуске судна с продольного наклонного стапеля на пневматических баллонах. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв: НУК, 2016р. С. 124–127.

86. Воленюк Л.С. Статическое исследование спуска судна на пневматических баллонах. Вестник СевНТУ, серия «Механика, энергетика, экология».Выпуск 147. – Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 109–114.

87. Рашковский С. А., Рашковский А. С. Определение параметров спуска судна на пневматических баллонах с наклонного стапеля. Зб. наук. праць НУК № 2. – Миколаїв, 2011.– С. 23–33.

88. Rashkovskiy S. A., Rashkovskiy A. S Rolling resistance of marine airbags at the longitudinal inclined slipway during ship launching. International Shipbuilding Progress, № 61. – Amsterdam The Netherlands, 2014. С. 41–59.

89. Воленюк Л.С. Статическое исследование спуска судна на пневматических баллонах. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв: НУК, 2014. С. 124- 125.

90. Воленюк Л.С. Анализ спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2013. – С.62–64.

91. Воленюк Л.С. Методы статического исследования спуска судна с продольных наклонных стапелей. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2014р. С. 46–48.

92. Volenyuk L.S., Rashkovskyi A.S. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. International Shipbuilding Progress, vol. 64, no. 1-2.– Amsterdam The Netherlands, 2017. pp. 41-50.

93. Правила класифікації та побудови суден. Регістр судноплавства України. – Чинний від 2014. 10. 01. – Київ, 2014. – 209с.

94. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. Т. 1. – Санкт-Петербург, 2007.

95. Красавцев В.Е. Флот рыбной промышленности. Справочник типовых судов, Доп.№ 1 к третьему изданию. – Санкт.-Петербург: Гипрорыбфлот, 1997. – С. 61– 63.

96. Четрѣж 35013СБ. Пр. 17012. Стапель «0». Установка судна на стапеле. ПАТ Черноморский судостроительный завод г. Николаев, 1992.-1с.

97. Інструкція 17012-720-33-213 спуску заказу 202 зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Миколаїв, 1992.

98. Воленюк Л.С. Рашковский А.С. Инновации в строительстве судов и средств океанотехники. Научное обозрение. Технические науки № 5. – Пенза: Академия естествознания, 2016. С. 92-102.

99. Смирнова Л. С., Фам Н. Б. Т., Дао Н. З Перспективы совершенствования спуска судов с наклонных продольных стапелей. VIII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології–2013». – Харків:НТУ «ХПИ», 2013. С.184–187.

100. Смирнова Л.С. Совершенствование технологи спуска судов с продольных наклонных стапелей. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв: НУК, 2013. С. 274–275.

101. Металлопрокат ТОВ Метал буд сервіс. Прайс МБС. URL:<http://mbs-ua.com/> (дата звернення 14.11.16).

102. Продукція компанії «ЮТМК Киев». Прайс УУМК.- URL:<https://utmk.com.ua/price> (дата звернення 14.11.16).

103. Номенклатурна відомість технологічних комплектів на монтаж і демонтаж спускового пристрою замовлення 206 за заявкою ІНО №137 ПАТ Чорноморський суднобудівний завод. -Миколаїв, 1996.

104. Компоненти насалки заказів 201, 202. ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Миколаїв, 1996.

105. Стоимость компонентов насалки ПЭО №710-31.17.V-96. ПАТ «ЧСЗ», г. Николаев, 1996г.

ДОДАТОК А

Схема розташування опорних пристроїв. Результати розрахунку на міцність
проставок

Додаток А

Схема розташування опорних пристроїв

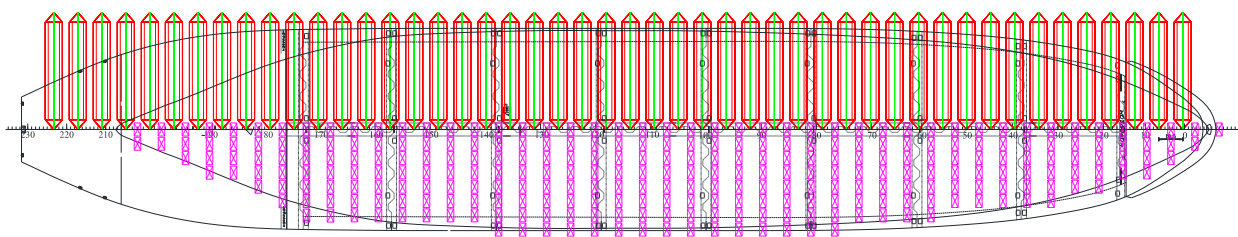


Рисунок А.1 – Схема розташування опорних пристроїв

Результати розрахунку на міцність металевої проставки типу А.

Розрахунок проводився в програмному комплексі Solid Works для двох типів навантажень: 1. Рівномірно розподілене навантаження (Рис.А.2- А.5); 2. Локальних сил від дії киль – блоків (Рис.А.6- А.9).

Имя модели: Деталь1
Имя исследования: Статический анализ 2(-По умолчанию-)
Тип элементов: 3 запас прочности Запас прочности1
Критерий : Авто
Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 1e+003

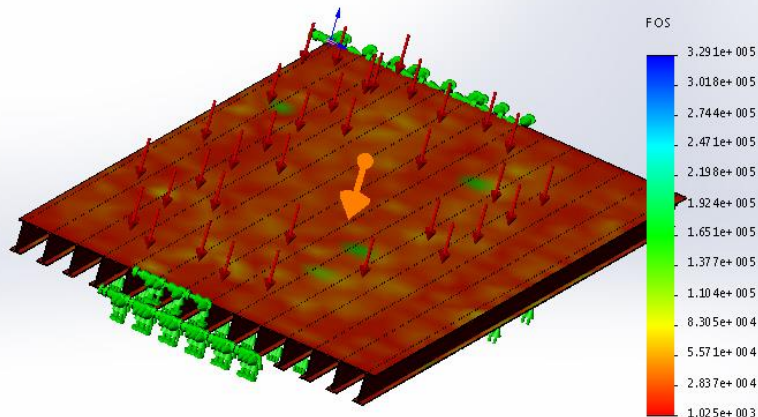


Рисунок А.2 – Статичний аналіз. Запас міцності

Имя модели: Деталь1
Имя исследования: Статический анализ 2(-По умолчанию-)
Тип элементов: Статический анализ условное напряжение Напряжение1

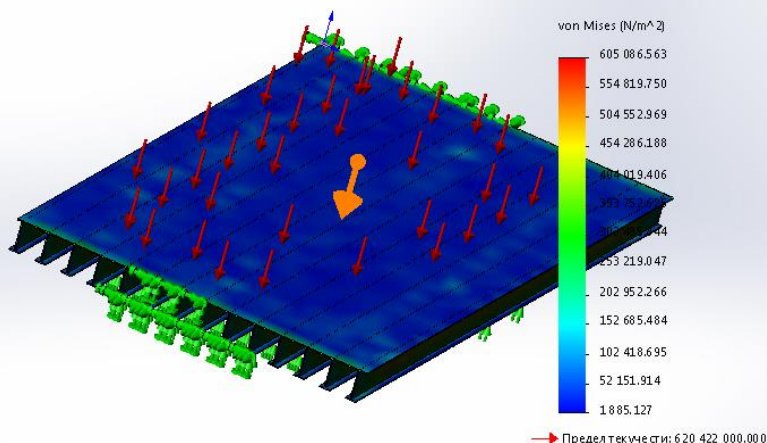


Рисунок А.3 – Статичний аналіз. Напруження

Имя модели: Деталь1
 Имя исследования: Статический анализ 2(По умолчанию)
 Тип элполю: Статическое перемещение Перемещение1
 Шкала деформации: 7.69869

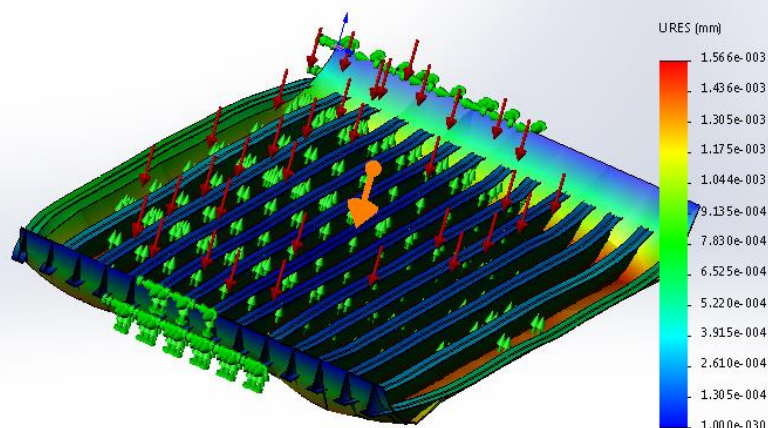


Рисунок А.4 – Статичний аналіз. Переміщення

Имя модели: Деталь1
 Имя исследования: Статический анализ 2(По умолчанию)
 Тип элполю: Статическая деформация Деформация1
 Шкала деформации: 7.69869

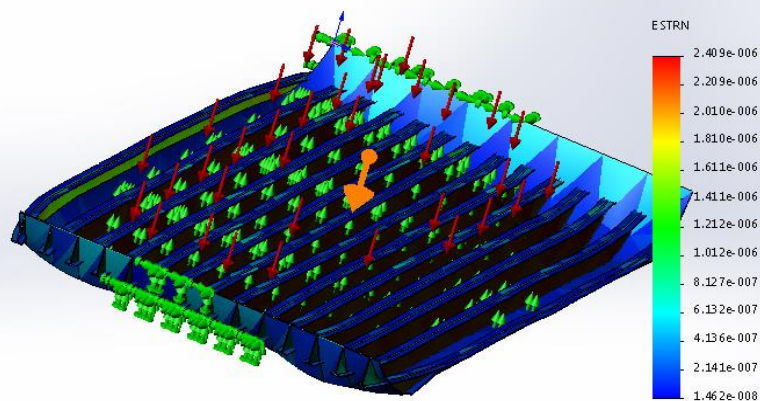


Рисунок А.5 – Статичний аналіз. Деформація

Имя модели: Деталь2
 Имя исследования: Статический анализ 2(По умолчанию)
 Тип элполю: Статический анализ условное напряжение Напряжение1
 Шкала деформации: 37.016.0

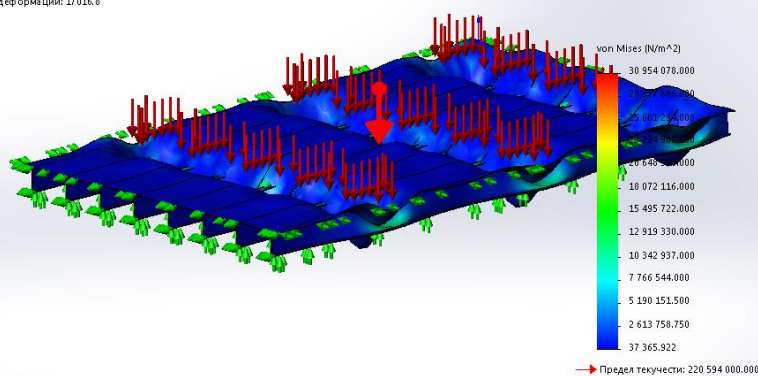


Рисунок А.6 – Статичний аналіз. Переміщення

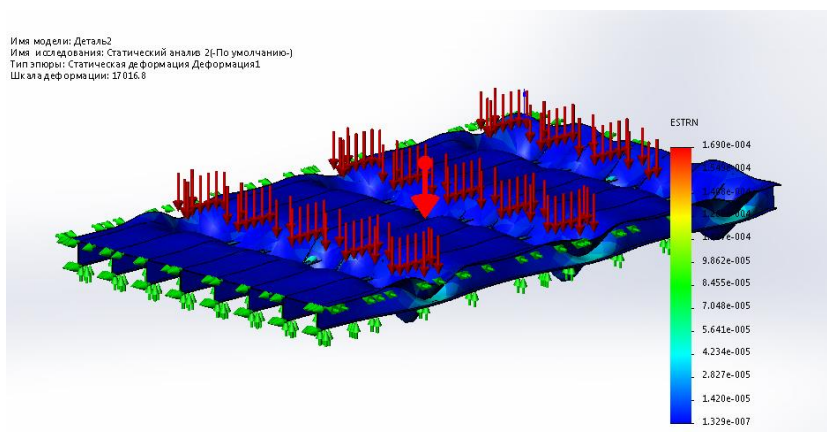


Рисунок А.7 – Статичний аналіз. Вузлові напруження

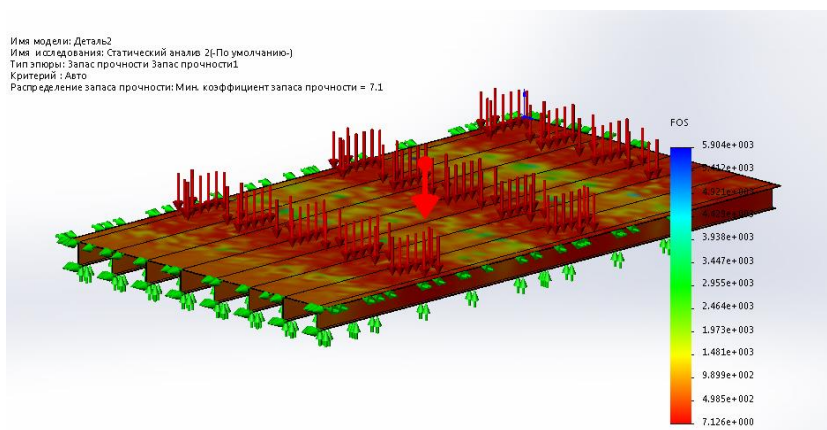


Рисунок А.8 – Статичний аналіз. Запас міцності

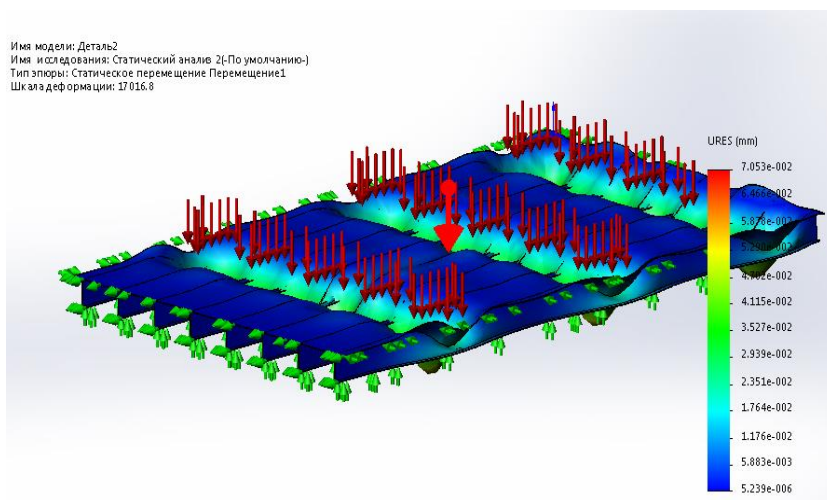


Рисунок А.9 – Статичний аналіз. Деформації

Таблиця А.1– Розрахунок трудомісткості металевої проставки

Полотнище, підкріплене зварним тавровим повздовжним набором (Тип А)		
Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	Час н/год
1. Виготовлення деталей		
Розробка програми для теплового вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	Контур обмежений прямими $T=0,004N+0,12$ (на одну деталь) $N=4$ - кількість елементів на деталі. Загальна кількість деталей 31шт.	4,22
Відлагодження програми для теплового вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	$T=T_p K$ $T_p=4,22$ - норма часу розробки програми $K=0,3$ - поправочний коефіцієнт	1,27
Типове вирізування деталей на машинах типу «Кристал».	Плазмове $T=0,001S+0,015$ на 1м різь $S=24$ - товщина деталі,мм	14,04
2. Виготовлення проставок		
Складання плоских полотниць із листів на лінії ЕСАБ	При товщині листа 24мм та довжині стику 12м складає 2,32 год. Стикових швів 2 шт.	4,62
Формування та зварювання таврових балок на МІБ-700	Час на одну таврову балку довжиною 12м складає 2 н/год. Кількість балок 14	28
Установлення полотнища на плиту-стенд	$T = (0,087P + 0,02)(0,0112S + 0,44)$ $P = 18,76$ м – напівпериметр полотнища $S = 24$ мм – товщина полотнища	1,17
Приварка таврового набору до полотнища	Електродугове зварювання під флюсом швів таврового з'єднання на 1м шва складає 4,16хв. Катет шва 4мм, кількість проходів 1, група конструкцій II. Загально довжина швів 336м.	23,3
Розмічення місць встановлення набору	Норма часу на 1м лінії складає 0,038. Довжина ліній складає 168м	6,38

Продовження таблиці А.1

Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	Час н/год
Установлення набору таврового профілю на полотнище	$T = (0,215N + 0,02)(0,015S + 0,92)$ На 1 м. Довжина ліній 168 м $N = 0,446\text{м}$ – висота набору $S = 20\text{мм}$ – товщина стінки набору	19,65
Перевірка об'ємних секцій після зварювання	$T=0,1416P+3,5$ $P=19,23$ - сума основних розмірів секції, м Поправковий коефіцієнт для площинних секцій 0,7	6,22
Загальна трудомісткість		108,9
Полотнище, підкріплене повздовжнім та поперечним листовим набором (Тип Б)		
Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	н/год
1. Виготовлення деталей		
Розробка програми для теплового вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	Контур обмежений прямими $T=0,004N+0,12$ (на одну деталь) $N=4$ - кількість елементів на деталі. Загальна кількість деталей 82шт.	11,12
Відлагодження програми для теплового вирізування на машинах типу «Кристал»	$T=T_p K$ $T_p=11,12$ - норма часу розробки програми $K=0,3$ - поправочний коефіцієнт	3,34
Типове вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	Плазмове $T=0,001S+0,015$ на 1м різі $S=24$ - товщина деталі,мм	9,99
2. Виготовлення проставок		
Складання плоских полотнищ із листів на лінії ЕСАБ	Товщина листа 24мм та довжині стику 12м складає 2,32 год. Стикових швів 2шт.	4,62
Установлення полотнища на плиту-стенд	$T = (0,087P + 0,02)(0,0112S + 0,44)$ $P = 18,76\text{м}$ – напівпериметр полотнища $S = 24\text{мм}$ – товщина полотнища	1,17
Розмічення місць встановлення набору	Норма часу на 1м лінії складає 0,038. Довжина ліній складає 171,88м	6,53

Продовження таблиці А.1

Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	Час н/год
Установлення деталей на полотнище	$T = (0,191N + 0,346) \frac{100}{100 - S}$ На 1 м. Довжина ліній 171,88 м $N = 0,446m$ – висота набору $S = 20mm$ – товщина стінки набору Поправковий коефіцієнт з перехрещенням набору 1,1	92,64
Напівавтоматичне електродугове зварювання у вуглекислому газі	На 1м складає 6,7 хв Катет шва 4мм, положення вертикальне, довжина швів 264м	29,48
Приварювання набору ячейковим методом напівавтоматично під флсом	На 1м складає 3,69хв при катеті шва 4мм ,конструкція групи II. Загальна довжина швів 341м	20,97
Перевірка об'ємних секцій після зварювання	$T=0,1416P+3,5$ $P=19,23$ - сума основних розмірів секції, м. Поправковий коефіцієнт для площинних секцій 0,7	6,22
Загальна трудомісткість		186,1
Полотнище, підкріплене поперечними ребрами жорсткості та повздовжнім листовим набором (Тип В)		
Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	Трудомісткість, н/год
1. Виготовлення деталей		
Розробка програми для теплового вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	Контур обмежений прямими $T=0,004N+0,12$ (на одну деталь) $N=4$ - кількість елементів на деталі. Загальна кількість деталей 15шт.	2,04
Відлагодження програми для теплового вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	$T=T_p K$ $T_p=2,04$ - норма часу розробки програми $K=0,5$ - поправочний коефіцієнт	1,02

Продовження таблиці А.1

Найменування технологічної операції	Розрахункова формула, умовні позначення та одиниці вимірювання	Час н/год
Типове вирізування деталей на машинах типу «Кристал»	Плазмове $T=0,001S+0,015$ на 1м різь $S=24$ - товщина деталі,мм	10,4
2. Виготовлення проставок		
Складання плоских полотнищ із листів на лінії ЕСАБ	При товщині листа 20мм та довжині стику 12м складає 2,25 год. Стикових швів 2 шт.	4,5
Розмічення полотнища під становлення набору на лінії ЕСАБ	Час розмічення місця встановлення однієї балки набору , при довжині лінії 7 м складає 0,19 н/год. Кількість ліній 17 шт	3,23
Встановлення та приварка набору на лінії ЕСАБ	При товщині стінки 8мм, ті висоті стінки набору 0,12м час на 1м з'єднання складає 0,28 год. Довжина зварного шва 94,64м	26,5
Установлення полотнища на плиту-стенд	$T = (0,087P + 0,02)(0,0112S + 0,44)$ $P = 18,76$ м – напівпериметр полотнища $S = 20$ мм – товщина полотнища	1,2
Розмічення місць встановлення набору	Норма часу на 1м лінії складає 0,038. Довжина ліній складає 144м	5,47
Установлення деталей на полотнище	$T = (0,191H + 0,346) \frac{100}{100 - S}$ На 1 м. Довжина ліній 144 м $H = 0,45$ м – висота набору $S = 20$ мм – товщина стінки набору Поправковий коефіцієнт без перехреснення набору 0,85	65,94
Напівавтоматичне електродугове зварювання під флюсом таврових з'єднань	На 1 м шва складає 3,69хв при катеті шва 4мм ,конструкція групи II. Загальна довжина швів 144м	8,86
Перевірка об'ємних секцій після зварювання	$T=0,1416P+3,5$ $P=19,23$ - сума основних розмірів секції, м Поправковий коефіцієнт для площинних секцій 0,7	6,22
Загальна трудомісткість		135,38

Таблиця А.2 – Площа перерізу конструкції

Тип конструкції	Насти л, м ³	Опорні конструкції, м ³	Допоміжні конструкції, м ³	Сумарн ий об'єм, м ³	Маса металу , т	Вартість, д ол. США
На таврових балках	1,9	1,4	0,006	3,364	26,24	17318,4
Перехр. Набір	1,9	1,3	0,749	3,98	31,05	20493
На опорах з підкріпленн ям настилу	1,6	1,5	0,146	3,324	25,93	17113,8

Таблиця А.3 – Початкові параметри розрахунку залізобетонної проставки

Управління		
Тип	Найменування	Данні
1	Шифр задачі	плита П1
2	Ознака системи	3
33	Параметри розрахунку	тип оптимізації системи рівнянь: 10 метод рішення системи рівнянь: 1 точність розкладання матриці: 12 точність рішення проблеми: 4 точність контролю рішення системи рівнянь: 10 облік рівномірно-розподіл. навантажень на вставках: 1
33	Одиниці вимірювання	Лінійні одиниці вимірювання: м Одиниці вимірювання розмірів перерізу: мм Одиниці вимірювання сил: Т Одиниці вимірювання температури: С

Таблиця А.4 – Переміщення (комбінації)

Одиниці вимірювання: мм.				
Номер вузла	Номер загруження	Значення		
		Z	U _x	U _y
1	1	-0,042	-5,453e-016	1,406e-016
2	1	-0,042	-6,339e-016	7,006e-017
3	1	-0,042	-4,704e-016	1,116e-016
4	1	-0,042	-4,34e-016	1,118e-016
5	1	-0,042	-4,953e-016	-5,971e-018
6	1	-0,042	-1,694e-016	-9,148e-017

Продовження таблиці А.4

Номер вузла	Номер загруження	Значення		
7	1	-0,042	-3,178e-016	4,291e-017
8	1	-0,042	-2,616e-016	1,799e-016
9	1	-0,042	-1,626e-016	7,454e-017
10	1	-0,042	-4,472e-016	2,033e-017
11	1	-0,042	-3,354e-016	1,22e-016
12	1	-0,042	-2,95e-016	2,057e-016
13	1	-0,042	-3,693e-016	2,606e-017
14	1	-0,042	-3,109e-016	5,666e-017
15	1	-0,042	-2,556e-016	1,239e-016
16	1	-0,042	-2,608e-016	-9,356e-018
17	1	-0,042	-2,893e-016	-1,83e-016
18	1	-0,042	-1,181e-016	6,966e-018
19	1	-0,042	-6,306e-017	1,294e-016
20	1	-0,042	2,033e-017	6,353e-017
21	1	-0,042	-6,776e-018	7,454e-017
22	1	-0,042	-1,254e-016	1,22e-016
25	1	-0,042	-6,17e-017	1,331e-017
26	1	-0,042	1,658e-017	1,3e-016
27	1	-0,042	-4,233e-017	-1,917e-017
28	1	-0,042	-1,389e-016	-1,69e-016
29	1	-0,042	-5,691e-017	-1,344e-016
30	1	-0,042	1,545e-016	3,763e-017
31	1	-0,042	1,674e-016	1,157e-016
32	1	-0,042	1,457e-016	1,169e-016
33	1	-0,042	1,626e-016	1,762e-016
34	1	-0,042	1,127e-016	2,439e-016
35	1	-0,042	1,109e-016	4,39e-017
36	1	-0,042	8,429e-017	-5,997e-017
37	1	-0,042	2,165e-016	8,225e-017
38	1	-0,042	2,443e-016	3,816e-017
39	1	-0,042	2,348e-016	-1,309e-016
40	1	-0,042	2,908e-016	-2,123e-016
41	1	-0,042	3,36e-016	-4,539e-017
42	1	-0,042	3,434e-016	3,699e-017
43	1	-0,042	4,747e-016	5,527e-017
44	1	-0,042	5,145e-016	9,979e-017
45	1	-0,042	3,961e-016	2,9e-016
46	1	-0,042	1,938e-016	6,766e-017
47	1	-0,042	2,489e-016	-6,512e-017
48	1	-0,042	2,639e-016	-2,588e-017

Продовження таблиці А.4

Номер вузла	Номер загрузення	Значення		
49	1	-0,042	6,17e-016	2,606e-017
50	1	-0,042	5,157e-016	-1,277e-016
51	1	-0,042	6,78e-016	-2,158e-016
52	1	-0,042	5,521e-016	-6,17e-017
53	1	-0,042	6,318e-016	-3,742e-017
54	1	-0,042	9,456e-016	8,364e-018
55	1	-0,042	8,038e-016	1,647e-016

Таблиця А.5 – Вибірка переміщень (комбінації)

Одиниці вимірювання: мм.						
Найменування	Максимальні значення			Мінімальні значення		
	Значення	Номер вузла	Номер завантаження	Значення	Номер вузла	Номер завантаження
Z	-0,042	54	1	-0,042	22	1
Ux	9,456e-016	54	1	-6,339e-016	2	1
Uy	2,9e-016	45	1	-2,158e-016	51	1

Таблиця А.6 – Зусилля та напруження

Одиниці вимірювання: Т, м.								
Номер ел-та	Номер перер.	Номер завнт.	Значення					
			MX	MY	MXY	QX	QY	RZ
1	1	1	8,559e-15	1,646e-14	-7,356e-16	-8,933e-15	6,734e-15	-16,5
2	1	1	1,074e-14	1,247e-14	-2,337e-15	-1,041e-14	2,025e-14	-16,5
3	1	1	1,219e-14	1,755e-14	7,321e-16	5,675e-15	-3,898e-14	-16,5
4	1	1	1,145e-14	1,278e-14	-3,704e-15	-1,011e-14	-6,276e-15	-16,5
5	1	1	9,475e-16	1,233e-14	5,549e-15	-4,759e-15	-8,446e-14	-16,5
6	1	1	2,385e-15	1,234e-14	3,463e-15	-1,576e-14	2,175e-14	-16,5
7	1	1	5,616e-15	1,433e-14	2,062e-15	-5,982e-14	-6,655e-14	-16,5
8	1	1	6,668e-15	8,422e-15	1,802e-16	-4,195e-14	-2,48e-14	-16,5
9	1	1	5,381e-16	9,783e-15	-4,405e-15	3,402e-15	-3,27e-14	-16,5
10	1	1	-9,234e-16	1,475e-14	1,758e-15	7,71e-015	5,334e-14	-16,5
11	1	1	-3,616e-15	9,183e-15	1,462e-16	4,242e-15	-6,705e-14	-16,5
12	1	1	-2,716e-15	5,528e-15	1,895e-15	-5,278e-15	3,881e-14	-16,5
13	1	1	7,968e-15	1,342e-14	-2,454e-15	2,731e-14	1,149e-14	-16,5
14	1	1	9,122e-15	1,588e-14	1,472e-15	1,443e-14	3,8e-14	-16,5
15	1	1	7,143e-15	1,536e-14	1,771e-15	3,108e-14	-6,408e-14	-16,5
16	1	1	2,334e-15	1,25e-14	9,147e-15	2,35e-14	1,838e-14	-16,5
17	1	1	6,367e-15	4,556e-15	6,912e-15	-5,225e-14	7,679e-15	-16,5

Продовження таблиці А.6

Номер ел-та	Номер перер.	Номер завнт.	Значення					
18	1	1	9,295e-15	1,242e-14	-9,97e-16	-2,985e-14	1,287e-14	-16,5
19	1	1	1,093e-14	2,11e-14	-5,822e-15	2,121e-15	-4,806e-15	-16,5
20	1	1	1,098e-14	2,091e-14	-2,386e-15	1,226e-15	-1,079e-14	-16,5
21	1	1	-6,637e-15	9,609e-16	2,693e-15	1,641e-14	-2,127e-14	-16,5
22	1	1	-3,662e-15	5,325e-15	2,5e-15	-7,525e-15	1,913e-14	-16,5
23	1	1	5,332e-15	2,173e-14	1,126e-16	-7,482e-15	2,372e-14	-16,5
24	1	1	7,704e-15	2,067e-14	4,871e-15	-1,063e-14	-2,529e-15	-16,5
25	1	1	-3,314e-15	1,074e-14	1,328e-15	-1,487e-14	-3,423e-14	-16,5
26	1	1	-4,797e-15	7,022e-15	6,63e-15	6,435e-15	-8,095e-16	-16,5
27	1	1	-4,277e-15	1,43e-14	7,282e-15	-2,637e-14	4,31e-14	-16,5
28	1	1	-3,442e-15	1,659e-14	-4,388e-15	-2,363e-14	5,646e-14	-16,5
29	1	1	6,033e-15	1,213e-14	-5,691e-16	1,72e-014	-9,125e-15	-16,5
30	1	1	1,908e-15	1,082e-14	2,477e-15	7,431e-15	-3,033e-14	-16,5
31	1	1	-1,386e-15	9,962e-15	-6,27e-016	2,836e-14	6,114e-15	-16,5
32	1	1	6,71e-16	1,458e-14	6,743e-15	4,444e-14	-1,592e-15	-16,5
33	1	1	4,667e-15	1,879e-14	-2,695e-15	-2,12e-015	-8,148e-15	-16,5
34	1	1	1,519e-15	8,882e-15	-3,735e-15	-6,72e-15	2,714e-14	-16,5
35	1	1	2,585e-15	1,498e-14	7,935e-16	1,301e-14	1,317e-14	-16,5
36	1	1	3,125e-15	2,237e-14	9,16e-15	-6,177e-15	1,266e-14	-16,5
37	1	1	6,112e-16	1,875e-14	-1,981e-15	-1,811e-14	-1,425e-14	-16,5
38	1	1	2,869e-16	1,267e-14	-4,495e-16	8,651e-15	5,428e-15	-16,5
39	1	1	1,785e-15	1,985e-14	1,021e-15	8,408e-15	-8,596e-15	-16,5
40	1	1	1,298e-16	2,18e-14	-3,771e-15	1,39e-14	-6,681e-15	-16,5

Таблиця А.7 – Вибірка зусиль та напружень

Одиниці вимірювання: Т, м.								
Найменування	Максимальні значення				Мінімальні значення			
	Значення	Номер ел-та	Номер перер.	Номер завнт.	Значення	Номер ел-та	Номер перер.	Номер завнт.
MX	1,219e-014	3	1	1	-6,637e-015	21	1	1
MY	2,237e-014	36	1	1	9,609e-016	21	1	1
MXY	9,16e-015	36	1	1	-5,822e-015	19	1	1
QX	4,444e-014	32	1	1	-5,982e-014	7	1	1
QY	5,646e-014	28	1	1	-8,446e-014	5	1	1
RZ	-16,5	32	1	1	-16,5	15	1	1

ДОДАТОК Б

Характеристики пневматичних балонів. Розрахунки кривих елементів
теоретичного креслення в програмному комплексі FreeShip

Додаток Б

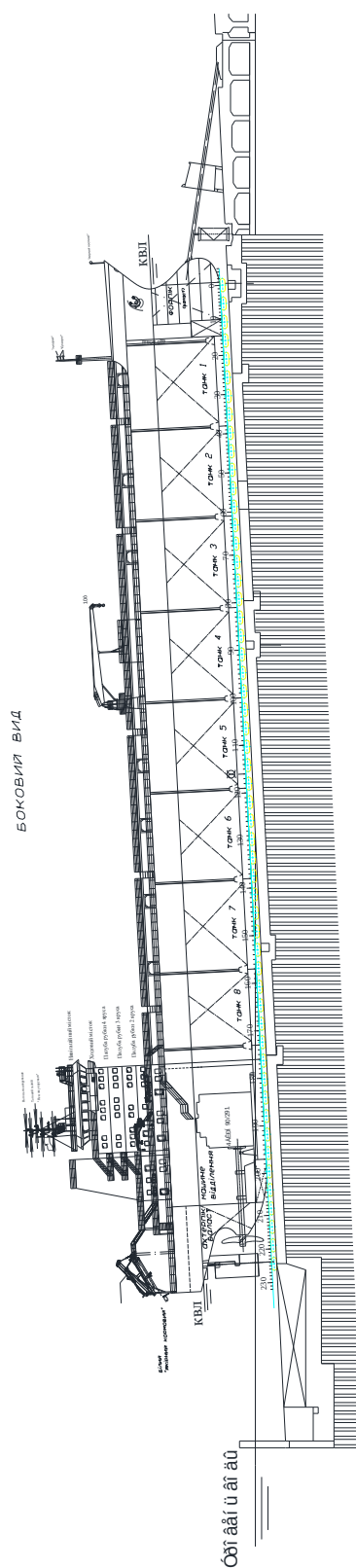


Рисунок Б.1 – Спуск судна на балонах

Таблиця Б.1– Характеристики пневматичних балонів

Діаметр, метр	Робочий тиск, мПа	Робоча висота, метр	Гарантоване навантаження на одиницю довжини	
			Кн/метр	тон/метр
0,80	0,17	0,50	61,31	6,25
		0,40	81,72	8,33
		0,30	102,22	10,42
		0,20	122,63	12,50
1,00	0,13	0,60	62,88	6,41
		0,50	78,58	8,01
		0,40	94,27	9,61
		0,30	110,07	11,22
		0,20	125,76	12,82
1,20	0,11	0,70	70,73	7,21
		0,60	84,86	8,65
		0,50	98,98	10,09
		0,40	113,21	11,54
		0,30	127,33	12,98
		0,20	141,46	14,42
1,50	0,09	0,90	66,02	6,73
		0,80	77,01	7,85
		0,70	88,00	8,97
		0,60	98,98	10,09
		0,50	110,07	11,22
		0,40	121,06	12,34

Продовження таблиці Б.1

Діаметр, метр	Робочий тиск, мПа	Робоча висота, метр	Гарантоване навантаження на одиницю довжини	
			Кн/метр	тонн/метр
1,80	0,08	1,10	61,61	6,28
		1,00	70,34	7,17
		0,90	79,26	8,08
		0,80	88,00	8,97
		0,70	96,82	9,87
		0,60	105,56	10,76
		0,50	114,38	11,66
		0,40	123,21	12,56
		0,30	132,04	13,46
		0,20	140,77	14,35
2,00	0,07	1,20	62,88	6,41
		1,10	70,73	7,21
		1,00	78,58	8,01
		0,90	86,43	8,81
		0,80	94,27	9,61
		0,70	102,12	10,41
		0,60	110,07	11,22
		0,50	117,92	12,02
		0,40	125,76	12,82
		0,30	133,61	13,62
		0,20	141,46	14,42

Якість і гарантія

Контроль якості абсолютно всіх балонів здійснюється в незалежних лабораторіях.

У Китаї існують два промислових стандарту для морських гнучких пневматичних балонів: перший стандарт на продукцію під назвою (Переклад не дословен, а адаптуємо для розуміння) "Пневматичні балони для підйому і спуску суден" (СВ / Т 3795-1996 і СВ / Т 3795- 2009 року); другий стандарт регламентує технологію під назвою (переклад так само не дословен, а адаптуємо для розуміння) "Технологічні вимоги до спуску і підйому судів за допомогою пневматичних балонів" (СВ / Т 3837-1998). В якому описаний алгоритм використання.

Таблиця Б.2 – Зовнішні та внутрішні вимоги до гуми

Показники	Методи тестування	Обовязкові показники	
		зовні	всередині
1. До виробництва	---	---	---
1.1 Предел міцності на розрив	---	18 мПа або більше	10мПа або більше
1.2 Розтягування	ISO 37:1994	400% або більше	400% або більше
1.3 Твердість	ISO 37:1994	60 ±10 (твердомер А типа)	50 ±10 (твердомер А типа)
2. Після виробництва	ISO 7619:1997	температура, 70С±1С за 96 годин	температура, 70С±1С за 96 годин
2.1 Предел міцності на розрив	ISO 188:1998	Не менш 80% від початкового стану	Не менш 80% від початкового стану
2.2 Розтягування	ISO 37:1994	Не менше 80% від початкового стану	Не менш 80% від початкового стану
2.3 Твердість	ISO 37:1994	Не менше 8% від початкового стану	Не менш 8% від початкового стану
3. Розрив	ISO 7619:1997	400 Н / см або більше	не регламентується
4. Залишкова деформація при стисканні	ISO 34-1:1994	30% (70С±1С за 22години) або менше	не регламентується
5. Статичні випробування висихання	ISO 815:1991	Немає тріщин після подовження на 20% і експозиції до 50 prphma при 40С протягом 96 годин	не регламентується

аррhm: Частинки озону на сто мільйонів повітря у всьому об'ємі.

Таблиця Б.3 – Результати розрахунку кривих елементів теоретичного креслення в програмному комплексі FreeShip

Draft	Trim	Lwl	Bwl	Volume	Displ.	LCB	VCB	Cb	Am	Cm	Aw	Cw	LCF	Cp	S	KMt	KMI
м	м	м	м	м ³	тонн	м	м	[-]	м ²	[-]	м ²	[-]	м	[-]	м ²	м	м
0.100	-3.000	58.808	11.558	177.00	181.43	31.052	1.254	2.6041	0.351	0.3035	399.09	0.5871	39.469	8.5788	424.19	15.428	446.01
0.200	-3.000	63.033	12.679	220.09	225.60	32.930	1.331	1.3770	1.105	0.4359	463.67	0.5802	41.755	3.1591	492.99	17.406	462.97
0.300	-3.000	67.247	13.704	269.77	276.51	34.762	1.409	0.9758	2.190	0.5327	530.62	0.5758	43.941	1.8318	564.56	19.037	477.35
0.400	-3.000	71.451	14.528	326.21	334.36	36.536	1.485	0.7856	3.487	0.6000	598.83	0.5769	46.031	1.3093	637.75	20.225	490.22
0.500	-3.000	75.647	15.123	389.46	399.19	38.243	1.561	0.6809	4.917	0.6503	666.53	0.5826	48.008	1.0470	710.84	20.899	501.37
0.600	-3.000	79.831	15.551	459.36	470.84	39.872	1.635	0.6167	6.433	0.6894	731.48	0.5892	49.832	0.8945	781.67	21.068	509.53
0.700	-3.000	83.992	15.918	535.50	548.89	41.407	1.708	0.5722	7.994	0.7174	791.26	0.5918	51.450	0.7975	847.77	20.811	512.64
0.800	-3.000	88.140	16.257	617.32	632.75	42.835	1.780	0.5385	9.599	0.7381	844.95	0.5897	52.851	0.7296	908.33	20.284	510.41
0.900	-3.000	92.246	16.574	704.24	721.85	44.149	1.850	0.5118	11.232	0.7530	893.58	0.5845	54.082	0.6797	964.34	19.650	504.66
1.000	-3.000	96.341	16.860	795.84	815.73	45.358	1.919	0.4899	12.898	0.7650	938.64	0.5779	55.201	0.6404	1017.3	19.000	497.82
1.100	-3.000	100.404	17.129	891.78	914.08	46.474	1.987	0.4714	14.594	0.7746	980.71	0.5702	56.234	0.6086	1067.7	18.363	490.74
1.200	-3.000	104.462	17.381	991.78	1016.6	47.507	2.054	0.4552	16.317	0.7823	1019.8	0.5617	57.179	0.5819	1115.8	17.753	483.22
1.300	-3.000	108.487	17.595	1095.6	1122.9	48.465	2.120	0.4415	18.064	0.7897	1056.2	0.5533	58.045	0.5591	1161.6	17.178	475.28
1.400	-3.000	112.512	17.793	1202.8	1232.9	49.355	2.185	0.4292	19.832	0.7962	1090.0	0.5445	58.832	0.5391	1205.4	16.641	466.68
1.500	-3.000	116.523	17.969	1313.4	1346.2	50.184	2.249	0.4182	21.620	0.8021	1121.2	0.5355	59.541	0.5213	1247.2	16.140	457.29
1.600	-3.000	120.525	18.134	1426.9	1462.6	50.954	2.313	0.4080	23.425	0.8074	1149.9	0.5261	60.169	0.5054	1287.2	15.673	446.90
1.700	-3.000	124.528	18.283	1543.2	1581.7	51.670	2.376	0.3987	25.247	0.8123	1176.2	0.5166	60.720	0.4908	1325.6	15.239	435.94
1.800	-3.000	126.591	18.413	1662.0	1703.5	52.336	2.438	0.3961	27.083	0.8171	1200.8	0.5151	61.230	0.4847	1362.9	14.831	425.16
1.900	-3.000	127.632	18.535	1783.1	1827.7	52.956	2.500	0.3967	28.930	0.8215	1223.4	0.5171	61.672	0.4829	1399.0	14.452	413.75
2.000	-3.000	128.480	18.646	1906.5	1954.2	53.533	2.562	0.3978	30.787	0.8256	1244.7	0.5194	62.071	0.4819	1434.1	14.100	402.44
2.100	-3.000	129.204	18.744	2031.9	2082.7	54.072	2.623	0.3994	32.658	0.8297	1264.8	0.5220	62.439	0.4814	1468.5	13.770	391.65
2.200	-3.000	129.741	18.836	2159.3	2213.3	54.576	2.683	0.4014	34.535	0.8334	1283.7	0.5250	62.767	0.4817	1502.2	13.462	380.97
2.300	-3.000	130.166	18.911	2288.5	2345.7	55.047	2.743	0.4039	36.423	0.8374	1301.5	0.5283	63.062	0.4823	1535.3	13.175	370.54
2.400	-3.000	130.489	18.982	2419.5	2480.0	55.488	2.803	0.4066	38.317	0.8411	1318.3	0.5316	63.324	0.4834	1567.7	12.904	360.31
2.500	-3.000	130.699	19.041	2552.1	2615.9	55.902	2.863	0.4096	40.219	0.8449	1334.2	0.5354	63.557	0.4848	1599.6	12.653	350.44
2.600	-3.000	130.857	19.099	2686.2	2753.4	56.289	2.922	0.4127	42.123	0.8483	1349.4	0.5390	63.766	0.4865	1631.1	12.418	341.04
2.700	-3.000	130.992	19.146	2821.8	2892.4	56.654	2.981	0.4158	44.038	0.8519	1363.9	0.5427	63.956	0.4881	1662.2	12.199	332.13
2.800	-3.000	131.108	19.193	2958.9	3032.8	56.996	3.040	0.4188	45.958	0.8552	1377.9	0.5462	64.125	0.4898	1693.0	11.995	323.69
2.900	-3.000	131.207	19.236	3097.3	3174.7	57.318	3.098	0.4218	47.878	0.8583	1391.4	0.5496	64.275	0.4915	1723.5	11.806	315.69
3.000	-3.000	131.320	19.274	3237.0	3317.9	57.621	3.156	0.4248	49.803	0.8613	1404.5	0.5530	64.409	0.4932	1753.7	11.630	308.09
3.100	-3.000	131.467	19.313	3378.0	3462.5	57.908	3.215	0.4277	51.733	0.8641	1417.2	0.5562	64.525	0.4949	1783.8	11.468	300.89
3.200	-3.000	131.609	19.346	3520.3	3608.3	58.177	3.272	0.4306	53.667	0.8669	1429.5	0.5595	64.626	0.4967	1813.8	11.317	294.06
3.300	-3.000	131.747	19.378	3663.8	3755.4	58.432	3.330	0.4334	55.605	0.8695	1441.6	0.5627	64.714	0.4984	1843.6	11.178	287.57
3.400	-3.000	131.877	19.410	3808.5	3903.7	58.672	3.388	0.4362	57.544	0.8720	1453.4	0.5659	64.788	0.5002	1873.3	11.049	281.42
3.500	-3.000	132.004	19.438	3954.4	4053.2	58.899	3.446	0.4390	59.486	0.8744	1465.0	0.5692	64.851	0.5020	1903.0	10.931	275.61
3.600	-3.000	132.129	19.464	4101.4	4203.9	59.113	3.503	0.4417	61.432	0.8767	1476.5	0.5724	64.902	0.5038	1932.6	10.821	270.10
3.700	-3.000	132.248	19.490	4249.5	4355.8	59.316	3.560	0.4444	63.380	0.8789	1487.8	0.5757	64.941	0.5056	1962.1	10.719	264.89
3.800	-3.000	132.369	19.513	4398.8	4508.8	59.508	3.618	0.4471	65.330	0.8811	1499.0	0.5790	64.968	0.5075	1991.7	10.626	259.97
3.900	-3.000	132.486	19.533	4549.2	4663.0	59.688	3.675	0.4498	67.283	0.8832	1510.0	0.5823	64.983	0.5093	2021.3	10.539	255.28
4.000	-3.000	132.607	19.554	4700.7	4818.2	59.859	3.732	0.4525	69.237	0.8852	1521.0	0.5857	64.983	0.5112	2050.9	10.459	250.85
4.100	-3.000	132.723	19.572	4853.3	4974.7	60.020	3.789	0.4552	71.194	0.8872	1532.0	0.5891	64.970	0.5131	2080.5	10.385	246.66
4.200	-3.000	132.852	19.588	5007.0	5132.2	60.172	3.846	0.4579	73.152	0.8892	1542.9	0.5926	64.944	0.5150	2110.2	10.317	242.68
4.300	-3.000	132.979	19.604	5161.8	5290.8	60.315	3.903	0.4605	75.112	0.8910	1553.8	0.5960	64.904	0.5168	2140.0	10.254	238.97
4.400	-3.000	133.117	19.619	5317.6	5450.6	60.448	3.960	0.4628	77.073	0.8929	1564.7	0.5991	64.851	0.5183	2169.9	10.196	235.46
4.500	-3.000	133.269	19.631	5474.6	5611.5	60.574	4.017	0.4650	79.036	0.8947	1575.7	0.6023	64.786	0.5198	2200.0	10.143	232.25
4.600	-3.000	133.422	19.643	5632.7	5773.5	60.691	4.074	0.4672	80.999	0.8964	1586.8	0.6055	64.708	0.5212	2230.2	10.095	229.23
4.700	-3.000	133.613	19.654	5791.8	5936.6	60.800	4.131	0.4693	82.964	0.8981	1598.1	0.6085	64.615	0.5225	2260.6	10.051	226.47
4.800	-3.000	133.799	19.664	5952.1	6100.9	60.902	4.188	0.4713	84.930	0.8998	1609.5	0.6117	64.509	0.5238	2291.2	10.011	223.91
4.900	-3.000	134.028	19.674	6113.6	6266.5	60.995	4.245	0.4732	86.898	0.9014	1620.9	0.6147	64.392	0.5249	2322.1	9.975	221.51
5.000	-3.000	134.267	19.682	6276.3	6433.2	61.081	4.302	0.4750	88.866	0.9030	1632.6	0.6178	64.259	0.5260	2353.2	9.943	219.36
5.000	-3.000	134.267	19.682	6276.3	6433.2	61.081	4.302	0.4750	88.866	0.9030	1632.6	0.6178	64.259	0.5260	2353.2	9.943	219.36

Проект : Бухта русская
 Проектант : Unknown
 Создан : M. van Engeland
 Имя файла : Parent 12.fbm

Длина между перпенд. : 119.90 м
 Длина максимальная : 147.86 м
 Ширина на миделе : 18.000 м
 Ширина максимальная : 19.764 м
 Проектная осадка : 6.800 м
 Абсцисса миделя : 59.950 м
 Плотность воды : 1.025 т/м³
 Дополн. коэффициент : 1.0000

Примечание 1: Осадка (и все другие верт. высоты) измерены от линии Z=0

Примечание 2: Все рассчитанные коэффициенты основаны на действит. размерах погруженного тела.

Lwl : Длина по ватерлинии
 Bwl : Ширина по ватерлинии
 Volume : Объемное водоизмещение
 Displ. : Водоизмещение
 LCB : Абсцисса Ц.В., измерено от кормового перпендикуляра при X=0.0
 VCB : Аппликата Ц.В., измерено от точки корпуса Z=0
 Cb : Коэффициент общей полноты
 Am : Площадь миделя
 Cm : Коэффициент полноты миделя
 Aw : Площадь ватерлинии
 Cw : Коэффициент полноты ВЛ
 LCF : Абсцисса Ц.Т. площади ватерлинии
 Cp : Призматический коэффициент
 S : Смоченная площадь поверхности
 KMt : Аппликата поперечного метацентра
 KMI : Аппликата продольного метацентра

ДОДАТОК Г

Стандарт підприємства.

Акт упровадження в навчальний процес

СТП 629.5 – 2017

СТАНДАРТ ПІДПРИЄМСТВА

Технологічний процес спуску судна на воду за допомогою
пневматичних балонів.

Передмова

Спуск судна на пневматичних балонах – це інноваційна технологія, яка має великі перспективи в області суднобудування. Він дозволяє вирішити проблеми, які виникають під час спуску суден на традиційних спускових пристроях, який обмежує виробничий потенціал суднобудівних підприємств малих і середніх розмірів.

Ця технологія дозволяє за короткий час видалити з під судна опорні пристрої, економити час і трудові затрати, є гнучкою, надійною й безпечною в експлуатації, має комплексну економічну перевагу та ін.

Для того, щоб стандартизувати цей метод розроблено стандарт суднобудівної промисловості.

Стандарт розроблено для ДП «Миколаївський суднобудівний завод» і може використовуватися на інших суднобудівних заводах для спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів.

1 Сфера застосування

Дані положення застосовуються для спуску суден на воду з похилих поздовжніх стапелів за допомогою пневматичних балонів. Вони встановлюють вимоги до спуску і відповідних пристроїв; вимоги до спускових процедур, розбирання кильблоків, та інших опорних пристроїв, вимоги до безпеки.

2 Зразки

CB/T 3837-1998 Technological Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags; CB/T 3795-1996 Air bag for ship up to or down to launching way.

3 Вимоги до судна, що спускається, та до відповідного обладнання

3.1 Судно

3.1.1 Всі роботи по корпусу повинні бути повністю закінчені, особливо пристрої, клапани та інші, що знаходяться під ватерлінією судна.

СТП 629.5 – 2017

3.1.2 Всі задирки, зварні шви від тимчасових кріплень і дефекти на судні повинні бути зачищені.

3.1.3 Всі зварні шви на обшивці повинні бути перевірені і випробувані на водонепроникність.

3.1.4 Всі роботи по фарбуванню обшивки повинні бути закінчені.

3.2 Стапеля.

3.2.1 Похилий повздовжній стапель, на якому пневматичні балони будуть котитися, повинен бути очищений від гострих предметів, таких як, наприклад, цвяхи, дріт, електроди.

3.2.2 Похилий стапель має бути вирівняний, допустиме відхилення площини від лівого до правого борту має становити не більше 80мм. Опорна поверхня повинна бути вирівняна.

3.2.3 Похилий стапель може бути з землі, піску, бетону, металу або дерева, однак, його несуча здатність повинна бути в два рази більше робочого тиску пневматичних балонів.

3.2.4 Похилий стапель повинен заходити під воду на певну довжину.

3.3 Пневматичні балони

3.3.1 Пневматичні балони повинні пройти перевірку відповідно до правил СВ/Т 3795–1996. Вони повинні пройти перевірку без навантаження. Випробування проводяться заповнюючи повітрям кожен раз, перш ніж балон використовується для спуску судна. Випробувальний тиск повітря повинен бути в 1,25 рази більше робочого тиску відповідного діаметру балона.

3.3.2 Кількість спускових пневматичних балонів розраховується за формулою (1):

$$N = K_1 \frac{Q \cdot g}{C_b \cdot R \cdot L_d} + N_1 \quad (1)$$

Де, K_1 - коефіцієнт запасу;

Q – маса судна, т;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

C_b – коефіцієнт загальної повноти судна;

R – допустима переносна сила на метр довжини пневматичного балона, кН/м;

L_d – довжина дотику днища судна та тіла пневматичного балона на мідель-шпангоуті, м;

N_1 – кількість пневматичних балонів, що знаходяться між кормою судна і порогом стапеля, шт.

3.3.3 Відстань між центрами пневматичних балонів визначається за допомогою рівняння (2):

$$l = \frac{L}{N-1}; l \leq 6 \text{ та } l \geq \frac{\pi D}{2} + 0,5 \quad (2)$$

Де: L – довжина судна, м;

N – кількість спускових балонів, шт;

D – номінальний діаметр спускових балонів, м.

3.4 Лебідка.

3.4.1 Спуск може проводитися як під дією власної сили тяжіння (некерований спуск) так і за допомогою лебідки, яка не дозволяє отримати дуже високу швидкість спуску (контрольований спуск). Для спуску слід застосовувати лебідки зі швидкістю віддачі троса 9~13, м/хв.

3.4.2 Рушійна сила судна, що спускається, і затримуюча сили канату лебідки визначається за формулами (3) та (4):

$$F_c = Q \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot Q \cdot g \cdot \cos \alpha + Q \frac{V}{T}, \text{ кН}; \quad (3)$$

$$F \geq \frac{K \cdot F_c}{N_c \cdot \cos \beta}, \text{ кН}; \quad (4)$$

де α – уклін стапеля, градус;

μ – коефіцієнт тертя поверхні стапеля;

V – швидкість руху судна, м/с;

T – час необхідний для зупинки лебідки, с;

F – затримуюча сила лебідки, кН;

K – коефіцієнт безпеки, $K = 1,2 - 1,5$;

N_c – кількість тягових тросів, шт;

$\beta \leq 6^\circ$ – кут між затримуючим тросом та спусковим шляхом, градус.

3.4.3 Швидкість руху судна під контролем затримуючої сили канату лебідки не повинна перевищувати 6м/хв. Якщо маса судна - менше 200т, швидкість руху може бути збільшена.

3.4.4 Канати повинні регулярно перевірятися і замінюватися при необхідності.

3.5 *Повітряний компресор.*

3.5.1 Тип і потужність повітряного компресора повинні бути обрані в залежності від загального обсягу всіх пневматичних балонів для спуску і та в залежності від необхідного часу для заповнення та необхідного тиску.

3.5.2 Ресивер повітряного компресора встановлюється з регульованим клапаном обмеження тиску.

3.5.3 При спільній роботі декількох пневматичних балонів, розподільний колектор повинен використовуватися так, щоб всі балони заповнювалися одночасно.

3.5.4 Допускається заповнення балонів стисненим повітрям із заводської магістралі стиснутого повітря.

4 **Підготовчі роботи**

4.1 *Стапельні.*

4.1.1 Ретельно очистити стапель, котлован стапеля за порогом та прилежну до стапеля територію.

4.1.2 Перевірити чистоту габариту руху судна стапель.

СТП 629.5 – 2017

- 4.1.3 Перевірити чистоту габариту в підводній частині поверхні стапелю, та по каналу стапеля за порогом.
- 4.1.4 Перевірити поверхню стапеля на нахил та хвилястість.
- 4.1.5 Перевірити справність механізмів, систем та пристроїв батопорту.
- 4.1.6 Встановити світлову та звукову сигналізацію яка зв'язує пости командуючим спуском.
- 4.1.7 Встановити в голові стапеля маятниковий пристрій для заміру швидкості руху судна під час спуску.
- 4.2 *Роботи по заміні будівельних пристроїв на спускові*
- 4.2.1 Спускові пневматичні балони під днищем судна повинні бути розташовані в один ряд (рис.1), якщо це можливо, та осьова центральна лінія всіх балонів повинна бути перпендикулярна до напрямку руху. Небажано, щоб кінці пневматичних балонів продовжувались зі сторін судна. Для таких судів, як буксир, рибальське судно і т.п., чий коефіцієнт загальної повноти малий, обидва кінця пневматичного балона повинна продовжуватись за межі сторін судна для того, щоб отримати стабільність під час спуску; збільшена довжина кожної сторони повинна бути більше, ніж діаметр пневматичного балону.

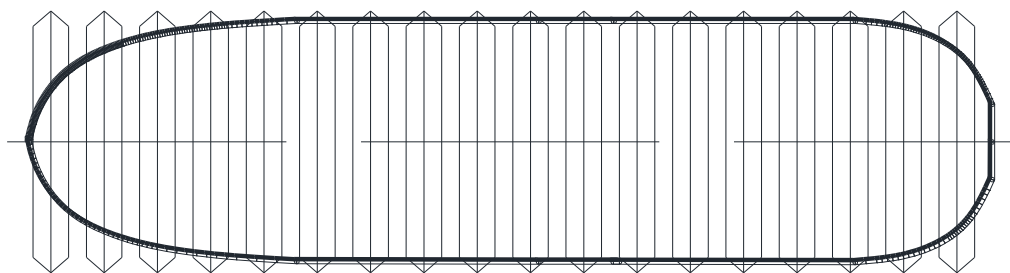


Рис.1. Схема розташування пневматичних балонів в один ряд

- 4.2.2 У випадку спуску судна на пневматичних балонах, розташованих в два ряди (рис.2), простір між двома рядами рухомих пневматичних балонів має бути не менше 0,5 м.

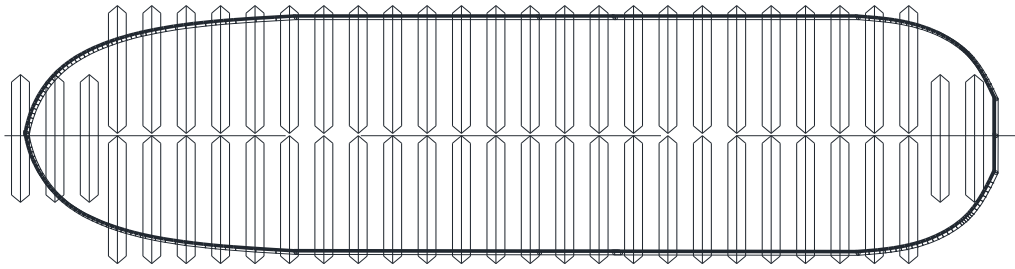


Рис.2. Схема розташування пневматичних балонів в два ряди

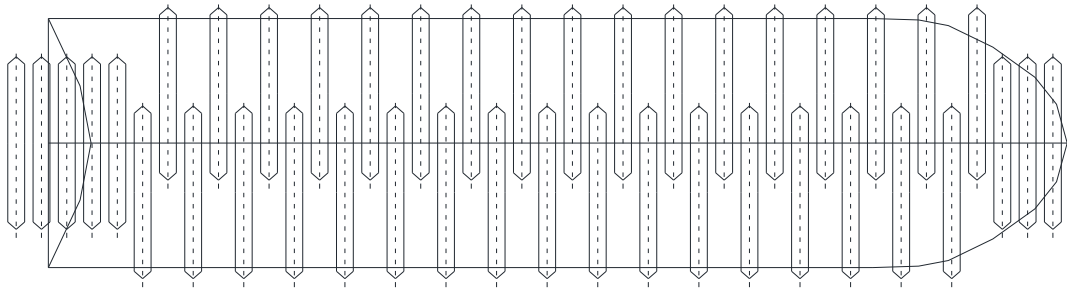


Рис.3. Схема перехресного розташування балонів

4.2.3 Під час спуску судна, робоча висота спускового пневматичного балона повинна бути зменшена в максимально можливій мірі, як правило, не вище, ніж 0,4 м; за умови, що всі виступи, такі як кермо, пропелера і т.д., поза контактом із землею.

4.2.4 У разі спуску судна з рівної поверхні, судно може бути зрушено за допомогою лебідки; якщо судно знаходиться на похилому стапелі, то воно може бути спущено тільки шляхом звільнення носових утримувачів.

4.3 Міри проти падіння корми (або перекидання).

4.3.1 Відповідно до конкретних умов, баласт може бути доданий в носовій частині, з тим, щоб зменшити момент перекидання

4.3.2 У разі виявлення небезпечних моментів, під час попередніх розрахунків, пневматичні балони під днищем судна, які несуть найбільше навантаження повинен бути перевірений на його міцність; при необхідності замінити на пневматичні балони високого тиску.

4.4 *Захист носової частини під час спливання корми*

Коли корма спливає додаткові спускові пневматичні балони повинні бути розташовані у носовій частині. Для цього, на початку спуску, необхідно встановити додаткові балони між кормою та порогом стапеля, зменшити проміжок та зберегти більше пневматичних балонів, які несуть навантаження одночасно; при необхідності використовувати пневматичні балони високого тиску, щоб забезпечити безпеку носової частини.

4.5 *Запобіжні заходи*

- 4.5.1 Трос лебідки повинен мати достатню міцність, проходити перевірки і регулярно замінюватись. Оператор лебідки повинен бути кваліфікованим з сертифікацією. В процесі спуску судна, за допомогою лебідки, необхідно безперервно ставити спускові пневматичні балони під днищем судна; При необхідності, зупинити спуск для розміщення пневматичних балонів. Зупиняти судно потрібно повільно, щоб уникнути великого навантаження на троси, викликаного раптовим гальмом.
- 4.5.2 Під час прибиранні кильблоків та інших опорних пристроїв, перше, що потрібно зробити, це розібрати їх в центральній частині поперечного перерізу, потім від центру до обох сторін послідовно. При розбиранні останніх бокових кильблоків, працівник повинен знаходитися з боку судна, суворо заборонено, щоб працівники заходили під днище судна.
- 4.5.3 Раптове падіння судна на пневматичні балони під час пересадки судна з опорних пристроїв слід уникати.
- 4.5.4 Оператор повинен перевірити сопла пневматичних балонів, та стояти з боку від нього під час надування пневматичного балону.
- 4.5.5 Попередньо необхідно розрахувати остійність судна, вона повинна бути гарантована, як в процесі пересадки судна так і при вході у воду.
- 4.5.6 У випадку тонких обводів судна, повинні використовуватись спеціальні пневматичні балони.

4.6 Підготовка спускового пристрою до спуску.

- 4.6.1 Виконати поопераційний прийом ВТК деталей спускового пристрою та всього спускового пристрою в цілому.
- 4.6.2 Перевірити правильність складання вузлів віддачі спускових швидковіддаючих кільблоків, можливість їх віддачі.
- 4.6.3 Виконати перевірку балонів. Випробувальний тиск повинен бути у 1,25 разів більше ніж робочий тиск балона.
- 4.6.4 Встановити датчики (движки) для спостереження за подовженням носового затримника.
- 4.6.5 Провести інструктаж спускової команди, включаючи інструктаж з техніки безпеки.

4.7 Підготовка судна до спуску.

- 4.7.1 Уточнити навантаження мас судна на момент спуску та виконати баластування відповідно до рекомендацій ВГК з ціллю виключення крену судна після спуску.
- 4.7.2 Перевірити водонепроникність корпусу судна.
- 4.7.3 Очистити судно від зайвих вантажів та забезпечити розкріплення всіх вільно встановлених вантажів, пристроїв, механізмів.
- 4.7.4 Забезпечити закріплення пера руля.
- 4.7.5 Перевірити справність швартовного та буксирного пристроїв судна, наявність на судні штормтрапів, кидальних кінців, швартовних канатів.
- 4.7.6 Перевірити наявність на судні аварійно-рятувального майна згідно відомості ВГК.
- 4.7.7 Перевірити готовність до роботи електромережі.
- 4.7.8 Виконати формування оглядової команди судна, що будується та її тренування.

5 Спускові роботи.

СТП 629.5 – 2017

Всі операції по спусковим роботам виконуються по команді з командного мостика. Перелік команд та послідовність їх подачі розробляються БТП стапельного цеху на основі даного ТП.

У випадку наявності батопорту, кормова частина судна після затоплення котловану стапеля занурюється у воду, спускові роботи повинні проводитися у 3 етапі (І–ІІІ). Якщо, батопорт відсутній – в 2 етапи (І та ІІІ):

І етап – підготовчі роботи;

ІІ – спускові роботи в затоплюваній частині стапеля;

ІІІ – спускові роботи в сухій частині стапеля.

5.1 Перший етап – підготовчі роботи.

5.1.1 Розстановка спускової команди.

5.1.2 Прибирання лісів за службовою запискою ВГК, яка враховує пропозиції ВГТ.

5.1.3 Огляд чистоти поверхні стапеля.

5.1.4 Встановити на стапелі огороження зон небезпечних для знаходження людей.

5.2 Другий етап – роботи в затоплюваній частині стапеля.

До затоплення котловану стапеля в районі занурення кормової частини необхідно виконати наступні роботи:

5.2.1 Розмітити місця встановлення балонів на стапелі згідно креслень

5.2.2 Виконати розстановку спускової команди в затоплюваній частині.

5.2.3 Завести пневматичні балони під судно в затоплюваній частині стапеля згідно креслення.

5.2.4 Накачати балони повітрям до заданого тиску.

5.2.5 Провести видалення стройових опор у затоплюваній частині стапеля в наступній послідовності: бокові клітки кіль блоків, стройові кіль блоки, спускові кільблоки.

СТП 629.5 – 2017

- 5.2.6 Колони та дерев'яні підшивки кильблоків повинні бути видалені з затоплюваної частини за межі стапеля. Металеві кильблоки та масиви можуть бути видалені або розташовані вздовж доріжок при умові забезпечення чистоти габаритів руху судна.
- 5.2.7 Віддати та прибрати стройові стріли в затоплюваній частині стапеля.
- 5.2.8 Членами спускової комісії провести огляд затоплюваної частини стапеля у відповідності з розподіленням голови спускової комісії.
- 5.2.9 Провести затоплення котловану стапеля та відвести батопорт.
- 5.3 *Третій етап – спускові роботи в сухій частині стапеля.*
- 5.3.1 Ввести оглядову команду на судно.
- 5.3.2 Прибрати перехідний трап на судно.
- 5.3.3 Розставити спускову команду в сухій частині стапеля.
- 5.3.4 Завести пневматичні балони під судно в сухій частині стапеля згідно креслення.
- 5.3.5 Накачати балони повітрям до заданого тиску.
- 5.3.6 Провести видалення стройових опор в сухій частині стапеля в наступній послідовності: бокові стройові кильблоки; стройові кильблоки в ДП; кильблоки в ДП.
- 5.3.7 Видалення стройових, а потім спускових пристроїв виконувати з корми у ніс. Кильблоки та масиви або прибрати, або розкласти вздовж доріжок з забезпеченням габаритів для проходу судна.
- 5.3.8 Членами спускової комісії провести огляд стапеля, спускового пристрою судна на предмет можливості спуску та результати огляду доповісти командуючому спуском.
- 5.3.9 Відрізати носовий затримник.
- 5.3.10 Провести спуск судна під дією власної сили ваги.
- 5.3.11 Відбуксирувати судно до добудовчої набережної.

СТП 629.5 – 2017

5.3.12 Доставити балони на берег, видалити з них повітря, скласти та відправити на склад.

5.3.13 Всі операції по спусковим роботам виконувати за командою командуючого спуском. Про виконанні кожної команди доповідати на мостик за допомогою сигналізації та телефонного зв'язку.

6 Розрахунок спуску судна на пневматичних балонах

6.1 Вводимо вихідні данні

6.1.1 Вводимо вихідні данні судна

Довжина судна між перпендикулярами	L	м
Ширина судна	B	м
Осадка судна	T	м
Висота борту судна	H	м
Коефіцієнт загальної повноти судна	C_b	
Спускова вага судна	D_C	т
Центр ваги судна	x_G	м
Центр ваги судна	z_G	м
Коефіцієнт мідель шпангоуту судна	β	

6.1.2 Вводимо вихідні данні пневматичних балонів

Діаметр балонів	D	м
Робоча висота балонів	d	м
Кількість балонів	N	шт
Довжина балону	$L_{\bar{o}}$	м
Довжина між балонами	l	м
Об'єм балону	$V_{\bar{o}} \cdot 2$	м ³
Допустиме навантаження на одиницю довжини	R_{ad}	кН/м
Коефіцієнт жорсткості балону	k	кН/м ²

6.1.3 Вводимо вихідні данні стапеля

Довжина підводної частини стапеля	λ_0	м
Кут нахилу стапеля	α_C	
Довжина стапелю	$L_{стан}$	м

Глибина води на порозі стапеля	$T_{\text{в}}$	м
--------------------------------	----------------	---

6.2 Призначаємо системи координат:

$x_0y_0z_0$ – нерухома система координат, зв'язана з поверхнею стапеля (площина $x_0O_0y_0$ – площина стапеля);

$xуz$ – рухома система координат, площина xOy зв'язана з поверхнею стапеля, а xOz проходить через носовий перпендикуляр судна;

$x'y'z'$ – рухома система координат, площина $x'O'y'$ якої проходить через основну площину судна, а $x'O'z'$ зв'язана з носовим перпендикуляром судна

6.3 Призначити номери пневматичних балонів та їх координати в системах координат

6.4 Призначаємо шаг розрахунку.

6.5 Розраховуємо проміжні величини.

6.5.1 Розраховуємо проміжні значення для кожного j -го шпангоуту:

x'_j - абсциса j -го шпангоуту, м:

$$x'_j = N_{\text{шп}} \cdot \Delta L,$$

де $N_{\text{шп}}$ - номер шпангоуту;

ΔL - відстань між шпангоутами.

a_{1j}, b_{1j}, c_{1j} – коефіцієнти, отримані для j -го шпангоуту.

T_j - занурення j -го шпангоуту, м:

$$T_j = T_{j_{\text{в}}} - D_6 + \zeta_0 - x'_j \cdot \psi_0,$$

де $T_{j_{\text{в}}}$ – глибина води для j -го шпангоуту, м,

x'_j – абсциса, j -го шпангоуту, м,

ζ_0 – поперечне зміщення системи координат $x'y'z'$ відносно системи координат $xуz$, м,

ψ_0 – кут нахилу судна.

$\Delta\omega_{j \text{ шп}}$ – виправний коефіцієнт, для визначення площі j -го шпангоуту, м:

$$\Delta\omega_{j\text{ шп}} = b_{1j} \cdot T_j^2 + c_{1j} \cdot T_j^3$$

6.5.2 Розраховуємо проміжні значення для кожного i -го балону.

Зміна робочої висоти пневматичного балону, м:

$$w_i = \zeta_0 - x_i \cdot \psi_0,$$

x_i – абсциса i -го балона, у розрахунковий момент часу.

B_i – поперечна довжина дотику між днищем судна та балоном, м:

$$B_i = \frac{\omega_i}{\beta \cdot w_i},$$

де ω_i – площа i -го шпангоуту, м.

$$\omega_i(T_i) = a_{1i} \cdot T_{i\epsilon} + b_{1i} \cdot T_{i\epsilon}^2 + c_{1i} \cdot T_{i\epsilon}^3,$$

де $T_{i\epsilon}$ – глибина води для i -го балону.

$$T_{i\epsilon} = (S + x'_i - x_{0\text{води}}) \cdot \alpha_c, \text{ м.}$$

d_i – робоча висота пневматичного балону, м: $d_i = D_6 - w_i$.

x'_i – абсциса, i -го балону, м:

$$x'_i = x'_{06} + l_6 \cdot \text{№}_6$$

x'_{06} – абсциса першого пневматичного балону, м;

№_6 – номер пневматичного балонаму, м

l_6 – відстань між балонами, м.

6.6 Розраховуємо допоміжні коефіцієнти.

$$A_1 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j}];$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i\epsilon} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j];$$

$$D_1 = D_c - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} \cdot (T_{j\epsilon} - D_6)] - \gamma \Delta L \sum \Delta\omega_{j\text{ шп}};$$

СТП 629.5 – 2017

$$A_2 = \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j}] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_6} \cdot x'_i] ;$$

$$B_2 = -D_C \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum [a_{1j} \cdot x'_j] +$$

$$+ z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum_{j=0} [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x_i'^2] - z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} ;$$

$$D_2 = D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) \cdot \alpha_C \cdot z'_G - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] -$$

$$- (x'_C + \frac{L}{2} + \alpha_C \cdot z'_C) \gamma \Delta L \sum [a_{1j} (T_{j_6} - D_6) + \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}].$$

При розв'язанні системи рівнянь враховуємо умови:

а. Сухий i -й балон розвантажується, то $w_i \leq 0$ і слід прийняти умову $B_i = 0$.

б. Якщо повністю занурений i -й балон розвантажується, то повинні зникнути і втрачені сили плавучості, тобто $b_i = 0$. Крім того один балон буде зносити потоком води в ніс судна до найближчого завантаженого балону.

с. Якщо i -й балон занурен у воду повністю, то в розрахункових залежностях застосовується лінійна інтерполяція між сухим та повністю зануреним станом.

д. Якщо осадка на i -му шпангоуті судна менше нуля, то коефіцієнти a_1 , b_1 , c_1 дорівнюють нулю.

6.7 Розраховуємо поперечне зміщення судна та диферент.

$$\zeta_0 = \frac{D_2 \cdot B_1 - D_1 \cdot B_2}{A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2}$$

$$\psi_0 = \frac{A_1 \cdot D_2 - A_2 \cdot D_1}{A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2}$$

6.8 Проводимо аналогічні розрахунки для розрахункового положення судна з урахуванням отриманих значень поперечного зміщення судна та диференту для уточнення положення судна.

6.9 Будуємо положення основної лінії судна.

6.10 Аналізуємо отримані дані.

«Узгоджено»

Генеральний директор

ДП «Миколаївський
суднобудівний завод»

Головний інженер

ДП «Миколаївський
суднобудівний завод»



Калашников В.Н.

Ярошевич О.Р.

Стандарт розроблений на кафедрі технології суднобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Розробники:

Доктор технічних наук, професор

Асистент кафедри, магістр

Рашковський О.С.

Воленюк Л.С.

«Затверджую»

Проректор з науково-педагогічної
роботи та міжнародної діяльності

к.т.н., професор Є.І. Трушляков

2017 р



АКТ

упровадження в навчальний процес результатів дисертаційної
роботи «Вдосконалення технології спускання суден з похилих
поздовжніх стапелів» аспірантки Воленюк Л.С.

Отримані в дисертаційній роботі Л.С. Воленюк «Вдосконалення технології спускання суден з похилих поздовжніх стапелів» наукові та практичні результати використовуються на кафедрі технології суднобудування кораблебудівного інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова під час читання лекцій студентам IV та V курсів по дисциплінам «Основи технології суднобудування та ТЗОО» та «Механізація та автоматизація суднобудівного виробництва».

Голова кораблебудівного навчально-

наукового інституту к.т.н., доцент

А.В. Бондаренко

Завідуючий кафедрою

технології суднобудування

д.т.н., професор

О.С.Рашковський

Николаевская верфь
«СМАРТ-МЕРИТАЙМ ГРУПП»
 ул. Индустриальная, 1, г. Николаев,
 54020, Украина
 E-mail: smg@smart-maritime.com

SMG
Smart Maritime Group

« 21 » 03 2018 г.

Щодо дисертаційної роботи Воленюк Л.С.

Дисертаційна робота Л. С. Воленюк «Удосконалення технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів» є актуальною та іноваційною для сучасних напрямів суднобудування та судноремонту і пов'язана з розробкою нових проектних і технологічних рішень спуску суден з похилих поздовжніх стапелів, впровадження яких дозволить відновити існуючі будівельні місця з мінімальними витратами, спростити технологічний процес спуску суден на воду і значно скоротити тривалість і трудомісткість робіт.

В роботі Л. С. Воленюк розроблено теоретичні положення і практичні рекомендації щодо реновації існуючих похилих поздовжніх стапелів, які дозволяють спускати судна з них на пневматичних балонах без руйнування стапельної плити шляхом заповнення простору між доріжками спеціальними міцними проставками.

Також представлено математичну модель та стандарт підприємства, які дозволяють розрахувати спуск суден на пневматичних балонах у квазістатичному наближенні з урахуванням зміни робочої висоти пневматичних балонів.

SMG «Smart Maritime Group» зацікавлена в результатах дисертаційної роботи та буде використовувати їх в проектних і технологічних рішеннях при реновації похилих поздовжніх стапелів підприємства та спуску суден на воду з них.

Даний висновок не є підґрунтям для взаємних фінансових розрахунків.

Головний інженер «Smart Maritime Group»

Головний технолог

Голова конструкторсько-технологічного відділу



Грубкін І.В.

Коваленко Я.В.

Луценко А.А.

ДОДАТОК Д

Рекомендації по підбору пневматичних балонів

Додаток Д

Рекомендації по підбору пневматичних балонів

1. Виберіть ефективну довжину пневматичного балона.

Довжину робочого тіла пневматичного балона обираємо не менше, ніж максимальна ширина судна. Якщо ширина судна перевищує максимально допустиму довжину пневматичного балона, тоді балони розставляються в кілька рядів згідно зі схемою представленої на рисунку 3 , і відповідно приймається загальна довжина всіх балонів. При цьому необхідно залишати відстань між пневматичними балонами для доступу повітряного шланга і сполучних елементів з манометром. Загальна довжина балона повинна бути оцінена як ефективна довжина плюс діаметр балона. Такий підхід дозволяє надати стійкість при спуску судна.

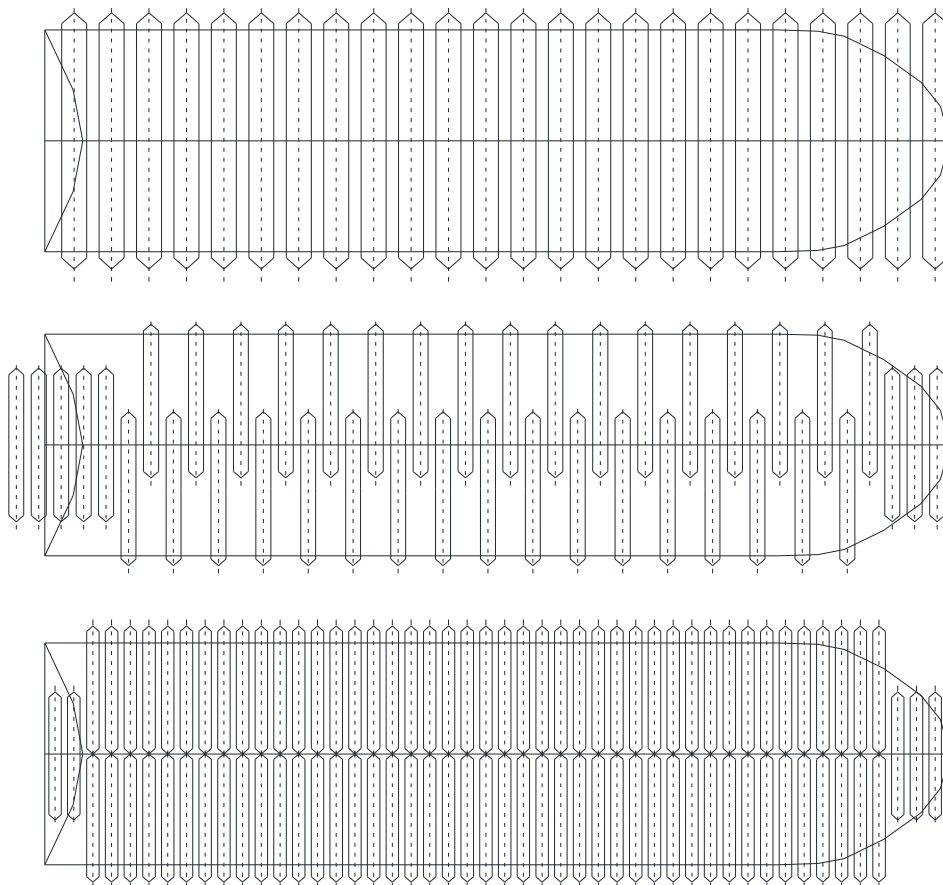


Рисунок Д.1 – Схема розташування балонів

2. Діаметр пневматичного балона вибираємо відповідно висоті киль-блоків. Якщо висота киль-блоку становить 1 м, то слід вибрати діаметр балона не менше 1,5 м. Якщо висота киль блоків 1,5 м тоді застосовуються балони діаметром 2 м. Не допускається перекочування балонів, якщо висота підйому менш 300мм.

3. Міцність пневматичного балона обумовлюється кількістю кордового шару. Кордовий шар складається з високоміцної нейлонової сітки і каучуку. Як правило, для спуску застосовуються балони з 5-6 шаровим кордом. При необхідності, з метою збільшення міцності і гарантованого рівня підйому, застосовуються балони з 7- 8 шарів корду.

4. При спуску суден вагою нижче 2000 т та суден, конструкція яких має звуження до кіля, виникає зосереджений тиск в середній частині пневматичного балона і може виникнути небезпечний момент. Це вирішується за рахунок підвищення тиску, застосування більш коротких пневматичних балонів і балонів з ущільненою середньою частиною.

5. Кількість спусковий балонів ті відстань між ними знаходимо згідно з Суднобудівнім стандартом TechnoLogical Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags. Для більш надійного спуску обираємо пневматичні балони з максимально допустимим діаметром та мінімально допустимою відстанню між ними.

ДОДАТОК Е

Розрахунок спуску судна з похилого поздовжнього стапеля

Додаток Е

Розрахунок спуску судна з похилого поздовжнього стапеля .

Приклад розрахунку спуску танкера довжиною 174,6 зі стапеля «0» Чорноморського суднобудівного заводу. Вихідні данні представлені в таблиці В.1.

У таблицях В.2 та В.3 представлені розрахункові дані однієї ітерації розрахунку спуску, а у таблиці В.4 представлені результати розрахунку в залежності від шляху пройденого судном.

Таблиця Е.1 – Вихідні данні спуску судна на пневматичних балонах

Вихідні дані			одиниці
Довжина судна між перпендикулярами	L	174.6	м
ширина	B	31.1	м
осадка	T	12.2	м
Висота борту	H	17.1	м
коефіцієнт загальної повноти	C_b	0.79	
спускова вага	D_c	9035.11	т
	D_c	88634.429	кН
центр ваги	x_G	-15.12	м
	$x_G + L/2$	102.42	м
центр ваги	z_G	10.93	м
коефіцієнт мідель шпангоуту	β	0.956	
	g	9.81	м/с ²
густина води	ρ	1.025	т/м ³
	$\gamma = \rho * g$	10.05525	т/м ³ *м/с ²
	π	3.14159	
	$\gamma\pi/2$	15.794736	
Балон діаметр	D	1.5	м
робоча висота	d	0.9	м
кількість	N	56	шт
довжина балону	L_0	18	м
довжина між балонами	l_0	2.9	м
Об'єм балону	$V_0 * 2$	56.3	м ³
	$V_0 1$	28.15	м ³
Допустиме навантаження на одиницю довжини	R_{ad}	160.22	кН/м
	k	178.02222	кН/м ²
Довжина підводної частини	λ_0	68.7	м
кут нахилу	α_c	0.05	
Довжина стапелю	L_{cman}	174.6	м
Розташування першого балону	x_{01}	1.252	м
абсциса води	$x_{0\text{води}}$	105.9	м
Глибина на порозі		3.435	м
	ΔL	8.73	м
	$\gamma\Delta L$	87.782333	

Таблиця Е.2 – Розрахунок спуску судна на пневматичних балонах.
Ітерація №1

шп	x_j	$a_j \text{ const}$	$b \text{ const}$	$c \text{ const}$	x_{0j}	T_j	a_j	b_j	c_j	$a_j * x_j$	$a_j(T_j - D)$	$\Delta \omega_j$
0	0.00	0.694	1.391	-0.091	0.00	-6.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	8.73	11.805	0.795	-0.039	8.73	-5.759	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	17.46	17.068	0.998	-0.049	17.46	-5.322	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	26.19	20.815	1.027	-0.050	26.19	-4.886	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	34.92	23.444	0.897	-0.042	34.92	-4.449	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	43.65	25.226	0.761	-0.035	43.65	-4.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	52.38	26.449	0.659	-0.030	52.38	-3.576	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	61.11	27.462	0.558	-0.025	61.11	-3.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	69.84	28.216	0.473	-0.022	69.84	-2.703	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	78.57	28.683	0.419	-0.020	78.57	-2.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	87.30	28.880	0.387	-0.019	87.30	-1.830	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	96.03	28.893	0.385	-0.019	96.03	-1.394	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	104.76	28.412	0.455	-0.022	104.76	-0.957	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	113.49	27.722	0.524	-0.024	113.49	-0.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	122.22	26.404	0.657	-0.029	122.22	-0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	130.95	22.676	1.028	-0.043	130.95	0.353	22.676	1.028	-0.043	2969.381	-5.612	0.126
16	139.68	17.507	1.193	-0.043	139.68	0.789	17.507	1.193	-0.043	2445.354	3.309	0.722
17	148.41	11.032	1.075	-0.027	148.41	1.226	11.032	1.075	-0.027	1637.193	6.900	1.564
18	157.14	4.566	0.713	-0.005	157.14	1.662	4.566	0.713	-0.005	717.520	4.849	1.945
19	165.87	0.683	0.105	0.017	165.87	2.099	0.683	0.105	0.017	113.367	1.024	0.620
20	174.60	0.000	0.000	0.000	174.60	2.535	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		406.638					56.464	4.114	-0.101	7882.816	10.470	4.977

Таблиця Е.3 – Розрахунок спуску судна на пневматичних балонах. Ітерація №1

№ 6	$x'i$	$x0i$	$x'i2$	wi	di	$Bi(x'i)=co_{nst}$	$Bi(1)$	$Bi(3)$	$Bi(1)*k$	$Bi(1)*k*x$	$B(3)*Ti$	Ti води	Ti судна	$x'i*B(3)*Ti$	$x'i2*B(3)*Ti$	$Bi(1)*k*x$ 2	vi	$vi*x'i$
1	2	3	6	4	5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1.25	1.25	1.25	0.60	0.90	6.70	6.70	0.00	1192.75	1493.32	0.00	-5.23	-6.13	0.00	0.00	1869.64	0.00	0.00
2	4.15	4.15	4.15	0.60	0.90	10.00	10.00	0.00	1780.22	7391.48	0.00	-5.09	-5.99	0.00	0.00	30689.44	0.00	0.00
3	7.05	7.05	7.05	0.60	0.90	12.76	12.76	0.00	2271.94	16021.75	0.00	-4.94	-5.84	0.00	0.00	112985.36	0.00	0.00
4	9.95	9.95	9.95	0.60	0.90	15.00	15.00	0.00	2670.33	26575.16	0.00	-4.80	-5.70	0.00	0.00	264475.97	0.00	0.00
5	12.85	12.85	12.85	0.60	0.90	18.04	18.04	0.00	3210.85	41265.88	0.00	-4.65	-5.55	0.00	0.00	530349.04	0.00	0.00
6	15.75	15.75	15.75	0.60	0.90	20.07	20.07	0.00	3572.42	56272.71	0.00	-4.51	-5.41	0.00	0.00	886407.68	0.00	0.00
7	18.65	18.65	18.65	0.60	0.90	21.52	21.52	0.00	3830.95	71454.84	0.00	-4.36	-5.26	0.00	0.00	1332775.62	0.00	0.00
8	21.55	21.55	21.55	0.60	0.90	22.91	22.91	0.00	4078.83	87906.95	0.00	-4.22	-5.12	0.00	0.00	1894570.63	0.00	0.00
9	24.45	24.45	24.45	0.60	0.90	24.26	24.26	0.00	4319.44	105618.90	0.00	-4.07	-4.97	0.00	0.00	2582593.40	0.00	0.00
10	27.35	27.35	27.35	0.60	0.90	24.99	24.99	0.00	4449.33	121698.11	0.00	-3.93	-4.83	0.00	0.00	3328686.80	0.00	0.00
11	30.25	30.25	30.25	0.60	0.90	25.72	25.72	0.00	4578.70	138514.74	0.00	-3.78	-4.68	0.00	0.00	4190348.01	0.00	0.00
12	33.15	33.15	33.15	0.60	0.90	26.26	26.26	0.00	4675.30	154995.68	0.00	-3.64	-4.54	0.00	0.00	5138416.92	0.00	0.00
13	36.05	36.05	36.05	0.60	0.90	26.74	26.74	0.00	4760.33	171619.37	0.00	-3.49	-4.39	0.00	0.00	6187221.47	0.00	0.00
14	38.95	38.95	38.95	0.60	0.90	27.47	27.47	0.00	4890.55	190496.73	0.00	-3.35	-4.25	0.00	0.00	7420228.67	0.00	0.00
15	41.85	41.85	41.85	0.60	0.90	27.98	27.98	0.00	4980.33	208436.89	0.00	-3.20	-4.10	0.00	0.00	8723500.73	0.00	0.00
16	44.75	44.75	44.75	0.60	0.90	28.00	28.00	0.00	4985.00	223088.54	0.00	-3.06	-3.96	0.00	0.00	9983658.20	0.00	0.00
17	47.65	47.65	47.65	0.60	0.90	28.66	28.66	0.00	5101.46	243094.56	0.00	-2.91	-3.81	0.00	0.00	11583942.07	0.00	0.00
18	50.55	50.55	50.55	0.60	0.90	29.21	29.21	0.00	5200.79	262910.09	0.00	-2.77	-3.67	0.00	0.00	13290630.68	0.00	0.00
19	53.45	53.45	53.45	0.60	0.90	29.68	29.68	0.00	5284.36	282459.79	0.00	-2.62	-3.52	0.00	0.00	15098040.81	0.00	0.00
20	56.35	56.35	56.35	0.60	0.90	30.07	30.07	0.00	5353.57	301684.36	0.00	-2.48	-3.38	0.00	0.00	17000517.01	0.00	0.00
21	59.25	59.25	59.25	0.60	0.90	30.39	30.39	0.00	5409.78	320540.46	0.00	-2.33	-3.23	0.00	0.00	18992663.63	0.00	0.00
22	62.15	62.15	62.15	0.60	0.90	30.64	30.64	0.00	5454.38	339000.78	0.00	-2.19	-3.09	0.00	0.00	21069576.73	0.00	0.00
23	65.05	65.05	65.05	0.60	0.90	30.83	30.83	0.00	5488.75	357053.99	0.00	-2.04	-2.94	0.00	0.00	23227076.07	0.00	0.00
24	67.95	67.95	67.95	0.60	0.90	30.98	30.98	0.00	5514.26	374704.75	0.00	-1.90	-2.80	0.00	0.00	25461937.08	0.00	0.00
25	70.85	70.85	70.85	0.60	0.90	31.08	31.08	0.00	5532.29	391973.73	0.00	-1.75	-2.65	0.00	0.00	27772122.80	0.00	0.00
26	73.75	73.75	73.75	0.60	0.90	31.14	31.14	0.00	5544.22	408897.60	0.00	-1.61	-2.51	0.00	0.00	30157015.85	0.00	0.00
27	76.65	76.65	76.65	0.60	0.90	31.18	31.18	0.00	5551.44	425529.02	0.00	-1.46	-2.36	0.00	0.00	32617650.42	0.00	0.00
28	79.55	79.55	79.55	0.60	0.90	31.21	31.21	0.00	5555.32	441936.65	0.00	-1.32	-2.22	0.00	0.00	35156944.18	0.00	0.00
29	82.45	82.45	82.45	0.60	0.90	31.22	31.22	0.00	5557.24	458205.14	0.00	-1.17	-2.07	0.00	0.00	37779930.32	0.00	0.00
30	85.35	85.35	85.35	0.60	0.90	31.22	31.22	0.00	5558.57	474435.16	0.00	-1.03	-1.93	0.00	0.00	40493989.42	0.00	0.00
31	88.25	88.25	88.25	0.60	0.90	31.24	31.24	0.00	5560.71	490743.34	0.00	-0.88	-1.78	0.00	0.00	43309081.50	0.00	0.00
32	91.15	91.15	91.15	0.60	0.90	31.26	31.26	0.00	5565.02	507262.35	0.00	-0.74	-1.64	0.00	0.00	46237977.93	0.00	0.00
33	94.05	94.05	94.05	0.60	0.90	31.30	31.30	0.00	5572.88	524140.83	0.00	-0.59	-1.49	0.00	0.00	49296493.40	0.00	0.00
34	96.95	96.95	96.95	0.60	0.90	31.38	31.38	0.00	5585.69	541543.42	0.00	-0.45	-1.35	0.00	0.00	52503717.91	0.00	0.00

Продовження таблиці Е.3

35	99.85	99.85	99.85	0.60	0.90	31.48	31.48	0.00	5604.80	559650.77	0.00	-0.30	-1.20	0.00	0.00	55882248.70	0.00	0.00
36	102.75	102.75	102.75	0.60	0.90	31.63	31.63	0.00	5631.61	578659.51	0.00	-0.16	-1.06	0.00	0.00	59458422.25	0.00	0.00
37	105.65	105.65	105.65	0.60	0.90	31.04	31.04	0.00	5525.35	583763.87	0.00	-0.01	-0.91	0.00	0.00	61675820.42	0.00	0.00
38	108.55	108.55	108.55	0.60	0.90	30.99	30.99	30.99	5516.16	598789.75	4.11	0.13	-0.77	446.01	48415.17	64999824.97	8.29	900.42
39	111.45	111.45	111.45	0.60	0.90	30.81	30.81	30.81	5485.59	611380.49	8.55	0.28	-0.62	953.36	106253.85	68139577.92	17.37	1935.41
40	114.35	114.35	114.35	0.60	0.90	30.52	30.52	30.52	5432.66	621236.10	12.90	0.42	-0.48	1474.73	168638.11	71039590.69	26.44	3023.01
41	117.25	117.25	117.25	0.60	0.90	30.09	30.09	30.09	5356.37	628045.05	17.08	0.57	-0.33	2002.44	234789.80	73639538.50	35.51	4163.21
42	120.15	120.15	120.15	0.60	0.90	29.52	29.52	29.52	5255.71	631484.22	21.04	0.71	-0.19	2527.75	303714.21	75874092.57	44.58	5356.03
43	123.05	123.05	123.05	0.60	0.90	28.81	28.81	28.81	5129.69	631218.94	24.71	0.86	-0.04	3040.82	374178.86	77672752.42	53.65	6601.45
44	125.95	125.95	125.95	0.60	0.90	27.96	27.96	27.96	4977.32	626902.93	28.03	1.00	0.10	3530.64	444691.52	78959678.07	56.30	7091.10
45	128.85	128.85	128.85	0.60	0.90	26.95	26.95	26.95	4797.58	618178.39	30.93	1.15	0.25	3985.02	513477.37	79653522.30	56.30	7254.37
46	131.75	131.75	131.75	0.60	0.90	25.78	25.78	25.78	4589.50	604675.93	33.32	1.29	0.39	4390.49	578455.33	79667262.92	56.30	7417.64
47	134.65	134.65	134.65	0.60	0.90	24.45	24.45	24.45	4352.07	586014.58	35.14	1.44	0.54	4732.30	637213.66	78908034.98	56.30	7580.91
48	137.55	137.55	137.55	0.60	0.90	22.94	22.94	22.94	4084.29	561801.81	36.31	1.58	0.68	4994.36	686984.58	77276963.06	56.30	7744.18
49	140.45	140.45	140.45	0.60	0.90	21.26	21.26	21.26	3785.16	531633.54	36.73	1.73	0.83	5159.19	724618.26	74668993.49	56.30	7907.45
50	143.35	143.35	143.35	0.60	0.90	19.40	19.40	19.40	3453.69	495094.08	36.33	1.87	0.97	5207.85	746555.83	70972726.58	56.30	8070.72
51	146.25	146.25	146.25	0.60	0.90	17.35	17.35	17.35	3088.89	451756.21	35.01	2.02	1.12	5119.94	748801.65	66070248.92	56.30	8233.99
52	149.15	149.15	149.15	0.60	0.90	15.11	15.11	15.11	2689.75	401181.11	32.67	2.16	1.26	4873.52	726894.77	59836965.57	56.30	8397.26
53	152.05	152.05	152.05	0.60	0.90	12.67	12.67	12.67	2255.27	342918.43	29.23	2.31	1.41	4445.05	675879.49	52141432.36	56.30	8560.53
54	154.95	154.95	154.95	0.60	0.90	10.02	10.02	10.02	1784.46	276506.20	24.58	2.45	1.55	3809.41	590275.23	42845188.10	56.30	8723.80
55	157.85	157.85	157.85	0.60	0.90	7.17	7.17	7.17	1276.33	201470.91	18.62	2.60	1.70	2939.75	464045.43	31802586.82	56.30	8887.07
56	160.75	160.75	160.75	0.60	0.90	4.10	4.10	4.10	729.87	117327.50	11.24	2.74	1.84	1807.54	290565.77	18860630.06	56.30	9050.34
									249440.11	20028657.40	476.55			65440.16	9064448.91	2013704187	917.73	126898.86

Таблиця Е.4 – Розрахунок положення судна в залежності від шляху пройденого судном

	S	0.00		S	29.00		S	58.00		S	87.00		S	110.20		S	121.80
	ζ_0	0.91		ζ_0	1.08		ζ_0	1.41		ζ_0	1.69		ζ_0	1.71		ζ_0	2.37
	ψ_0	0.01		ψ_0	0.01		ψ_0	0.02		ψ_0	0.03		ψ_0	0.04		ψ_0	0.06
x'i2	di	Ri	x'i2	di	Ri	x'i2	di	Ri	x'i2	di	Ri	x'i2	di	Ri	x'i2	di	Ri
6	5	Bkw	6	5	Bkw	6	5	Bkw	6	5	Bkw	6	5	Bkw	6	5	Bkw
1.25	0.60	1076.78	30.25	0.43	1271.42	59.25	0.11	1654.04	88.25	-0.15	1970.49	111.45	-0.06	1865.37	123.05	-0.84	2787.99
4.15	0.62	1567.25	33.15	0.47	1838.09	62.15	0.17	2360.31	91.15	-0.05	2767.86	114.35	0.06	2572.25	125.95	-0.66	3841.12
7.05	0.64	1949.25	36.05	0.50	2269.79	65.05	0.24	2873.90	94.05	0.04	3311.38	117.25	0.17	3012.32	128.85	-0.48	4493.62
9.95	0.66	2231.23	38.95	0.53	2578.47	67.95	0.30	3215.23	96.95	0.14	3632.28	120.15	0.29	3222.70	131.75	-0.30	4801.49
12.85	0.69	2610.93	41.85	0.57	2992.99	70.85	0.36	3670.52	99.85	0.24	4055.17	123.05	0.41	3492.85	134.65	-0.12	5196.12
15.75	0.71	2824.90	44.75	0.60	3210.51	73.75	0.42	3866.29	102.75	0.33	4164.30	125.95	0.53	3460.97	137.55	0.06	5138.96
18.65	0.73	2943.51	47.65	0.63	3314.70	76.65	0.48	3912.79	105.65	0.43	4093.00	128.85	0.65	3255.45	140.45	0.24	4822.11
21.55	0.75	3042.58	50.55	0.67	3392.73	79.55	0.54	3917.58	108.55	0.53	3961.07	131.75	0.77	2980.62	143.35	0.42	4400.80
24.45	0.78	3125.29	53.45	0.70	3448.37	82.45	0.60	3885.63	111.45	0.63	3774.56	134.65	0.89	2642.32	146.25	0.60	3883.81
27.35	0.80	3119.59	56.35	0.74	3403.22	85.35	0.66	3731.53	114.35	0.72	3455.25	137.55	1.01	2192.20	149.15	0.78	3200.67
30.25	0.82	3107.72	59.25	0.77	3349.00	88.25	0.72	3561.19	117.25	0.82	3110.32	140.45	1.13	1710.96	152.05	0.96	2470.54
33.15	0.84	3068.54	62.15	0.80	3263.26	91.15	0.78	3351.62	120.15	0.92	2721.15	143.35	1.25	1190.58	154.95	1.14	1682.10
36.05	0.87	3017.70	65.05	0.84	3163.36	94.05	0.84	3122.68	123.05	1.02	2307.57	146.25	1.36	645.63	157.85	1.32	856.84
38.95	0.89	2990.68	67.95	0.87	3086.29	96.95	0.90	2910.28	125.95	1.11	1894.96	149.15	1.48	81.20	160.75	1.50	1.02
41.85	0.91	2934.00	70.85	0.90	2976.35	99.85	0.97	2660.42	128.85	1.21	1445.28	152.05	1.60	0.00	163.65	1.68	0.00
44.75	0.93	2825.07	73.75	0.94	2812.37	102.75	1.03	2359.33	131.75	1.31	961.71	154.95	1.72	0.00	166.55	1.86	0.00
47.65	0.96	2776.77	76.65	0.97	2707.42	105.65	1.09	2103.79	134.65	1.40	487.93	157.85	1.84	0.00	169.45	2.04	0.00
50.55	0.98	2714.32	79.55	1.00	2586.15	108.55	1.15	1828.04	137.55	1.50	0.00	160.75	1.96	0.00	172.35	2.22	0.00
53.45	1.00	2639.55	82.45	1.04	2450.94	111.45	1.21	1535.61	140.45	1.60	0.00	163.65	2.08	0.00	173.85	2.31	0.00
56.35	1.02	2554.18	85.35	1.07	2303.94	114.35	1.27	1229.70	143.35	1.70	0.00	166.55	2.20	0.00	175.35	2.40	0.00
59.25	1.05	2459.80	88.25	1.10	2147.16	117.25	1.33	913.17	146.25	1.79	0.00	169.45	2.32	0.00	176.85	2.50	0.00
62.15	1.07	2357.88	91.15	1.14	1982.40	120.15	1.39	588.54	149.15	1.89	0.00	172.35	2.44	0.00	178.35	2.59	0.00
65.05	1.09	2249.76	94.05	1.17	1811.28	123.05	1.45	258.00	152.05	1.99	0.00	173.85	2.50	0.00	179.85	2.68	0.00
67.95	1.11	2136.68	96.95	1.20	1635.23	125.95	1.51	0.00	154.95	2.09	0.00	175.35	2.56	0.00	181.35	2.78	0.00
70.85	1.13	2019.72	99.85	1.24	1455.50	128.85	1.57	0.00	157.85	2.18	0.00	176.85	2.62	0.00	182.85	2.87	0.00
73.75	1.16	1899.87	102.75	1.27	1273.18	131.75	1.64	0.00	160.75	2.28	0.00	178.35	2.68	0.00	184.35	2.96	0.00
76.65	1.18	1777.97	105.65	1.30	1089.12	134.65	1.70	0.00	163.65	2.38	0.00	179.85	2.74	0.00	185.85	3.06	0.00
79.55	1.20	1654.75	108.55	1.34	904.04	137.55	1.76	0.00	166.55	2.47	0.00	181.35	2.80	0.00	187.35	3.15	0.00
82.45	1.22	1530.81	111.45	1.37	718.45	140.45	1.82	0.00	169.45	2.57	0.00	182.85	2.87	0.00	188.85	3.24	0.00
85.35	1.25	1406.65	114.35	1.40	532.67	143.35	1.88	0.00	172.35	2.67	0.00	184.35	2.93	0.00	190.35	3.33	0.00

ДОДАТОК Є

Список опублікованих праць

ДОДАТОК Є

Праці, що відображають основні наукові результати дисертації, опубліковані в наукових фахових виданнях:

1. Смирнова Л. С., Рашковський О. С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». Електронне видання. Вісник НУК, №1. – Миколаїв: НУК, 2012.– URL: <http://ev.nuos.edu.ua>.
2. Смирнова Л. С., Рашковский А. С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах. Збірник наукових праць НУК, № 1. – Миколаїв: НУК, 2013. С. 11 – 15.
3. Воленюк Л. С. Статическое исследование спуска судна на пневматических баллонах. Вестник СевНТУ, серия «Механика, энергетика, экология». Выпуск 147. – Севастополь: СевНТУ, 2014. С. 109 –114.
4. Воленюк Л. С. Исследование спуска судов на воду с помощью пневматических баллонов. International journal MOTROL «Commission of Motorization and Energetic in Agriculture», vol. 16, № 2. – Lubline- Rzeszow, 2014. С. 189 – 193. (НМБ **Copernicus**).
5. Воленюк Л. С., Рашковский А. С. Инновации в строительстве судов и средств океанотехники. Научное обозрение. Технические науки, № 5. – Пенза: Академия естествознания, 2016. С. 92 – 102.
6. Voleniuk L. S., Rashkovskyi A. S. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. Journal: International Shipbuilding Progress, vol. 64, no. 1-2.– Amsterdam The Netherlands, 2017. pp. 41 – 50. (НМБ **Scopus**).

Тези доповідей на науково-технічних конференціях:

7. Смирнова Л. С. Совершенствование спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева. Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в

суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 5-7 жовтня). Миколаїв: НУК, 2011. С. 50 – 51.

8. Смирнова Л.С. Совершенствование технологии спуска судов с продольных наклонных стапелей. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». (Миколаїв, 22-24 травня). Миколаїв: НУК, 2013. С. 274 – 275.

9. Смирнова Л. С., Фам Н. Б. Т., Дао Н. З. Перспективы совершенствования спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології – 2013» (Миколаїв, 24-26 вересня). Миколаїв: МНАУ, 2013. С.184 –187.

10. Воленюк Л.С. Анализ спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 9-11 жовтня). Миколаїв: НУК, 2013. С.62 – 64.

11. Воленюк Л.С. Методы статического исследования спуска судна с продольных наклонных стапелей. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 8-10 жовтня). Миколаїв: НУК, 2014. С. 46 – 48.

12. Воленюк Л.С. Исследование опрокидывания судна при спуске судна с продольного наклонного стапеля на пневматических баллонах. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». (Миколаїв, 19-20 травня). Миколаїв: НУК, 2016. С. 124 –127.

13. Воленюк Л. С. Применение инновационных способов спуска судов с наклонных продольных стапелей. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». (Миколаїв, 12-14 жовтня). Миколаїв: НУК, 2016. С.194 –196.