

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Воленюк Людмила Сергіївна



УДК 629.5.081.532

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

Спеціальність 05.08.03 – Конструювання та будування суден

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2018

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано на кафедрі будівництва та ремонту суден в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України, м. Миколаїв.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Рашковський Олександр Саулович,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова,
професор кафедри будівництва та ремонту суден.

Офіційні опоненти:

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

доктор технічних наук, професор
Рудакова Ганна Володимирівна,
Херсонський національний
технічний університет,
завідувач кафедри технічної кібернетики.

Захист відбудеться «16» жовтня 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.02 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв України, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв України, 9.

Автореферат розісланий « 16 » вересня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор



В. В. Зайцев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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. Баландин, 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 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.

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 14 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлена загальна характеристика дисертації: обґрунтування вибору теми дослідження; мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження; методи дослідження; наукова новизна отриманих результатів; апробація матеріалів дисертації та структура і обсяг дисертації.

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. Досліджено історію розвитку та використання цього спуску. Представлено основні конструктивні елементи традиційного похилого стапеля і спускових пристроїв. Також досліджено переваги та недоліки відомих методів удосконалення спускових пристроїв: нові типи поворотних копилів, полози нових конструкцій, прокладки, що зминаються, пластмасові щити, одноразові парафіновазелінові або комбіновані мильні насалки.

Проведено дослідження інноваційного способу спуску суден – на пневматичних балонах. Технологічний процес підготовки і спуску судна на пневматичних балонах полягає в наступному: балони розкладаються під судном перпендикулярно до його діаметральної площини; наповнюються повітрям від заводської магістралі стиснутого повітря; після підйому судна на балони прибираються опорні пристрої; віддається утримувач і судно як на циліндрах (катках) рухається у воду (рис. 1).



Рисунок 1 – Спуск судна на балонах

Для спуску суден на пневматичних балонах необхідно створити плоску похилу поверхню поздовжнього стапеля, яка може бути створена 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.

Незважаючи на те, що даний спосіб вже застосовується на ряді закордонних судно-

будівних заводів, у літературі відсутні матеріали з його теоретичного обґрунтування, розробки і розрахунку.

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, величина баксового тиску.

За результатами виконаного огляду літературних джерел виявлено проблеми в стані існуючих похилих поздовжніх стапелів, 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». Визначено основні методи дослідження.

У **другому розділі** проведено дослідження з реновації існуючих поздовжніх стапелів. На прикладі Чорноморського суднобудівного заводу у м. Миколаїв (ЧСЗ), на якому для спуску суден використовуються похилі поздовжні стапелі, виконано аналіз гідрогеологічних та конструктивних характеристик стапелів.

Виявлені основні пошкодження стапелів: дерев'яне покриття середніх спускових доріжок знаходиться в незадовільному стані і вимагає заміни через ураження гниллю соснового бруса, потребують заміни крайні спускові доріжки, які знаходилися без ремонту тривалий час, підводна частина стапельних доріжок, включно поріг, вимагає 100% заміни через значний термін експлуатації та знаходження під водою (рис. 2).



Рисунок 2 – Стан настилу стапеля

Після реновації запропоновано використання пневматичних балонів (рис. 1, 3) для спуску суден з цих стапелів. З урахуванням запропонованого методу спуску немає необхідності в ремонті спускових доріжок, тобто їх дерев'яного покриття. Але для забезпечення можливості спуску на пневматичних балонах необхідно створити плоску поверхню стапеля.

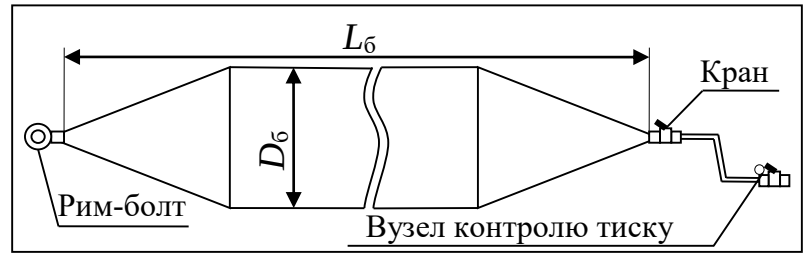


Рисунок 3 – Схема пневматичного балона

Створення плоскої поверхні можливо двома способами:

- повний демонтаж спускових доріжок;
- заповнення простору між доріжками (рис. 4).

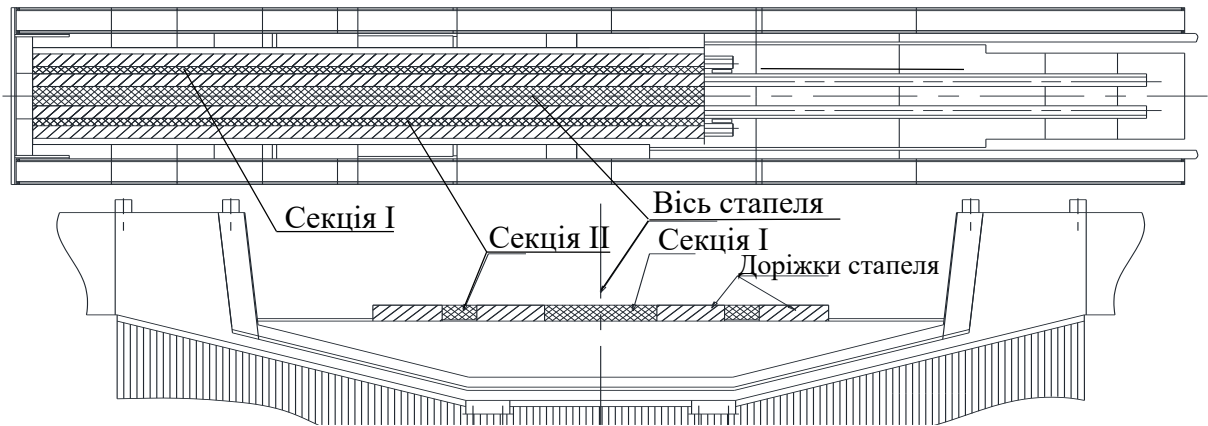


Рисунок 4 – Схема розташування проставок на стапелі

Повний демонтаж доріжок – технологічно складна та трудомістка операція, особливо у зв'язку з міцністю бетону, і тому більш раціональним є заповнення простору між доріжками за допомогою спеціальних проставок – металевих або залізобетонних конструкцій (табл. 1).

Таблиця 1 – Конструкції проставок

Тип металевих проставок		
Тип А	Тип Б	Тип В
Конструкція металевої проставки		
Тип залізобетонної проставки		
Тип І	Тип ІІ	Тип ІІІ
Конструкція залізобетонної проставки		

Для визначення раціональної конструкції металевих проставок розглянуто декілька типових конструкцій, аналогічних конструкціям корпусу судна, які можливо виготовити на існуючому обладнанні ЧСЗ. Конструкція металевих проставок визначалась за наступними критеріями: міцність, трудомісткість, металоємність та технологічність.

Розрахунок проставок на міцність базується на тому, що конструкції повинні витримувати вагу судна водотоннажністю 55 тис. тонн – максимально допустима вага для спуску судна на пневматичних балонах. Відстань між балонами відносно ширини смужки дотику балона з опорною поверхнею невелика, тому для першого виду навантаження вважаємо, що тиск на металеві конструкції рівномірно розподілений; другий вид навантаження – локальний тиск від судна, встановленого на опорні пристрої.

Ширина металевих конструкцій дорівнює відстані між доріжками стапеля 6,76 м, а довжина 12 м – довжина типових секцій, які виготовляються на ЧСЗ.

Для перевірки міцності металевих конструкцій використовувався програмний комплекс SolidWorks/ CosmosWorks «Інженерний аналіз методом скінчених елементів». На рисунку 5 наведено приклад епюр запасу міцності (а) і статичних переміщень (б) від дії локальних навантажень: коефіцієнт запасу міцності 7,1, максимальне значення переміщень 0,07 мм.

До трудомісткості виготовлення включається норма часу на виготовлення деталей, вузлів та конструкцій проставок. Розрахункові формули були взяті для обладнання, яке використовується на ЧСЗ. Металоємність та вартість металевих проставок залежить від загальної маси конструкції, яка розраховувалась для кожної конструкції-кандидата.

Для вибору конструкції проставок використовувався метод аналізу ієрархій (Т.Сааті). Метод полягає в декомпозиції задачі на більш прості складові частини й подальшій обробці послідовності суджень проєктанта, що ухвалює рішення, згідно парних порівнянь та включає процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень.

В результаті було зроблено висновок, що найбільш оптимальною є проставка Типу А, яка має максимальне значення глобального пріоритету. Дана форма перерізу перевершує інші в 1,1...1,5 рази й прийнята для подальших розрахунків.

Аналогічним чином було проведено дослідження з вибору залізобетонної проставки (табл. 1). Третій тип проставки (Тип III), який представляє собою плиту армовану каркасом і сіткою, є найбільш оптимальним, оскільки його проста форма спрощує технологічний процес і здешевлює собівартість виготовлення, оскільки не вимагає складних форм та оснастки.

Для перевірки міцності залізобетонних конструкцій застосовувалась розрахунково-конструкторська система SCAD, яка використовує метод скінчених елементів (програмний додаток АРБАТ).

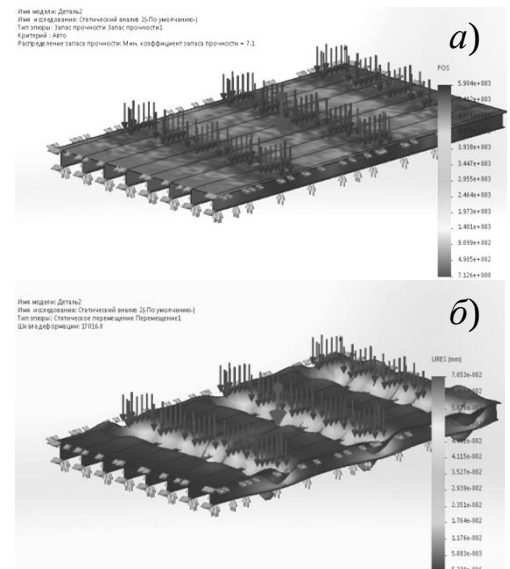


Рисунок 5 – Епюри: а) запасу міцності; б) статичних переміщень

Таким чином, для реновації стапеля обрано металеві проставки Типу А та залізо-бетонні конструкції Типу ІІІ, які зображено у таблиці 1.

У **третьому розділі**, використовуючи метод аналогії, по відношенню до традиційного способу розрахунку спуску судна у першому наближенні проведено статичне дослідження на прикладі спуску танкера довжиною 174,6 м (вага судна 12035 т) зі стапеля «0» ЧСЗ та рефрижератора типу «Бухта русская» довжиною 133,95 м (вага судна 4850 т) зі стапеля «ІІІ» Державного підприємства «Суднобудівний завод імені 61 Комунара» (ЗШО). Відповідний алгоритм розрахунку спуску судна зображено на рисунку 6.



Рисунок 6 – Схема алгоритму розрахунку спуску судна з похилого поздовжнього стапеля на пневматичних балонах

Основне завдання статичного дослідження – встановити положення судна, в якому з'являється його кутове переміщення (перекидання або спливання). Оскільки спуск відбувається на пневматичних балонах, тому спочатку знаходимо кількість спускових балонів згідно з Суднобудівним стандартом TechnoLogical Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags¹:

$$N = (K_1 \cdot Q \cdot g) / (C_b \cdot R_{ad} \cdot L_d) + N_l, \quad (1)$$

де K_1 – коефіцієнт запасу; Q – спускова маса судна, т; C_b – коефіцієнт загальної повноти судна; R_{ad} – допустиме навантаження на одиницю довжини балона, кН/м; L_d –

¹. ISO14409:2011, Ships and marine technology - Ship launching air bags.- International standard .- Effective of 2011.09.

довжина дотику між днищем судна та балоном на міделі, м; N_1 – додаткова кількість пневматичних балонів між порогом стапеля та кормою судна.

Розташування балонів та їх загальна кількість N_Σ залежить від відстані між центрами двох балонів, яка повинна відповідати вимогам міцності судна та запобігти збіганню балонів¹:

$$l = L/(N_\Sigma - 1); 0,5 \cdot \pi \cdot D_6 + 0,5 \leq l \leq 6, \quad (2)$$

де L – довжина судна, м; D_6 – номінальний діаметр балонів, м.

Діаграма спуску танкера представлена на рисунку 7. За даними розрахунків на англійській діаграмі побудовані криві γW , M_W , M'_W , γV , M_V , M'_V , M_D , M'_D , D_C в залежності від S , де S – шлях, пройдений судном з початку другого періоду; γW та γV – сили плавучості судна на пневматичних балонах та на традиційних спускових пристроях, т; M_W , M_V – момент сили плавучості судна на пневматичних балонах та на традиційних спускових пристроях відносно носового перпендикуляру, т·м; M'_W та M'_V – момент сили плавучості судна на пневматичних балонах та на традиційних спускових пристроях відносно порогу стапеля, т·м; D_C – спускова вага судна, т; M_D – момент спускової ваги відносно заднього кінця спускового пристрою, т·м; M'_D – момент спускової ваги відносно порогу стапеля, т·м.

Далі величини розраховуються методами гідростатики судна².

При проходженні судном відстані S балони пройдуть відстань s , яка для балонів, як нерозтяжних оболонок, складе $s = 0,5 \cdot S$. Тоді кількість балонів, які залишаться під судном та дія яких впливає на спуск, розраховується за формулою, отриманою здобувачем:

$$N^* = (0,5 \cdot S + l_6) / (d + 0,5 \cdot \pi \cdot (D_6 - d) + l_6), \quad (3)$$

де l_6 – відстань між балонами, м; D_6 – діаметр балона, м; d – робоча висота від поверхні стапеля до днища судна, м.

Аналіз діаграми спуску.

Перетинання кривої M_W з горизонтальною прямою M_D визначає початок спливання. Абсциса цієї точки S_e – це шлях, пройдений судном до спливання.

Точка на діаграмі з ординатою $M'_D = 0$ відповідає проходженню центра ваги судна над порогом. Після цього можливе перекидання, про що свідчить взаємне розташування кривих 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 абсцисі S_e у масштабі сил дорівнює баксовому тиску N_6 .

При $S = S_e$ судно починає поворот, але графіки, що зображують зміни сили плавучості та її моментів, побудовані в припущенні про відсутність обертання. Тому діаграма лівіше цієї точки умовна. Ця частина діаграми побудована до точки шляху, що відповідає проходженню носового перпендикуляра над порогом, служить для перевірки правильності розрахунку. Контролем є перетинання прямих M_D і M'_D та кривих M_W і M'_W . Ці точки лежать на одній вертикалі.

Аналіз діаграми спуску обраного танкера дає наступні результати:

¹ ISO14409:2011, Ships and marine technology - Ship launching air bags.- International standard .- Effective of 2011.09.

² Спуск судов: монографія/Курдюмов А. А. и др. – Л.: Судостроение, 1966. – 416 с.

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 балонах; на відстані $S = 165,22$ м – на традиційних спускових пристроях від початку II періоду ($M_V = M_D$; $M_W = M_D$);

3) найбільший баксовий тиск у цей момент дорівнює $N_6 = D_C - \gamma W = 4507,1$ т на балонах; $N_6 = D_C - \gamma V = 2028,1$ т – на традиційних спускових пристроях;

4) найбільше заглиблення переднього кінця спускового пристрою визначається за формулою $T_1 = S\beta = 12,75$ м.

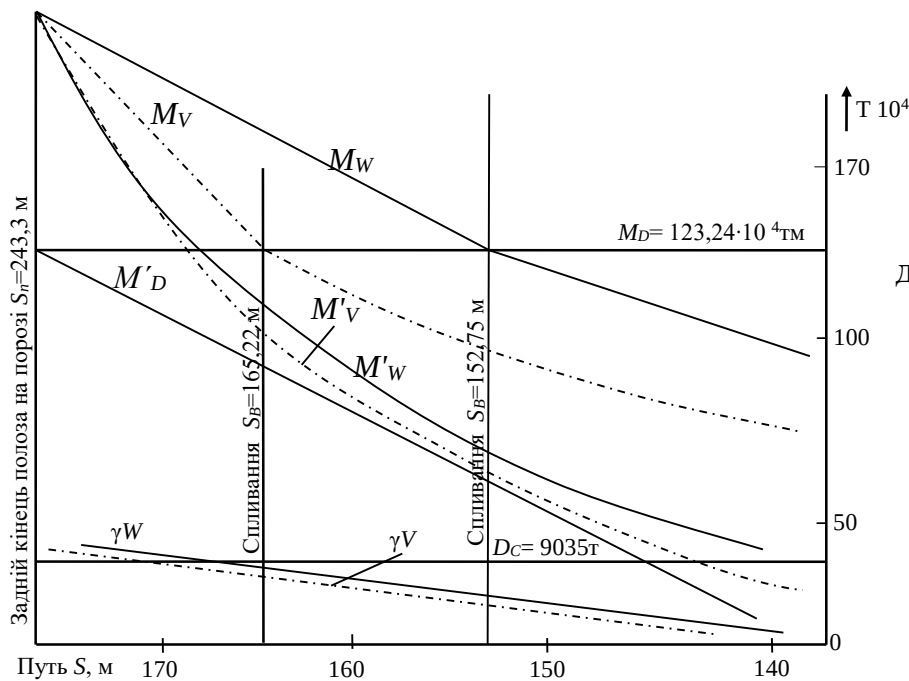


Рисунок 7 – Англіська діаграма спуску судна:
 — на пневматичних балонах;
 - - - на традиційних спускових пристроях

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 – сума хвильового та статичного тисків.

Баксовий тиск, який діє на корпус судна під час спуску на пневматичних балонах, розподіляється на ділянку, зображену на рисунку 8, площа якої становить 648 м². Тоді баксовий тиск становить 7 т/м², або 68,1 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 кПа, що не перевищує дозволених показників. Також слід враховувати, що обрані балони витримують навантаження на одиницю довжини до 28,2 т/м², що також відповідає вимогам безпеки, але можливо замінити обрані шестишарові балони на восьмишарові з навантаженням 35,9 т/м².

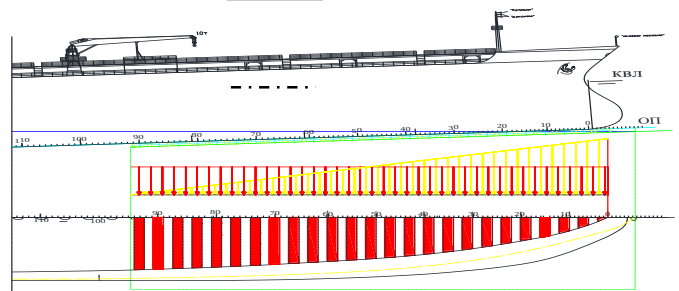


Рисунок 8 – Розподілення баксового тиску на днище судна під час спуску на пневматичних балонах

Також у третьому розділі було розроблено *математичну модель* у другому наближенні, в якій спуск судна на пневматичних балонах представлено як поступальний рух на пружних опорах (рис. 9). При цьому вважається, що швидкості та прискорення руху судна достатньо малі, що дає підстави знехтувати силами інерції поступального руху та хвильового опору при вході корми у воду. Таким чином, реалізується так зване квазістатичне наближення з урахуванням тільки сил ваги судна, сил підтримання і реакції взаємодії судна і балонів, а швидкість руху судна наближено приймаємо постійною. Врахування знехтуваних сил дало б змогу уточнити швидкості руху судна на всіх етапах спуску судна, але при цьому суттєво ускладнило б розрахунки без внесення значних корегувань при визначенні реакцій та деформацій балонів.

Призначено три системи координат: $x_0y_0z_0$ – нерухома система координат, зв'язана з поверхнею стапеля, площина x_0y_0 – площина стапеля; xuz – рухома система координат, площина x_0y зв'язана з поверхнею стапеля, а x_0z проходить через носовий перпендикуляр судна; та $x'y'z'$ – зв'язана з судном система координат, площина $x'y'$ якої збігається з основною площиною судна, а $x'0'z'$ 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 . Положення судна у кожен момент часу визначаються просіданням ζ_0 та кутом диференту ψ_0 (рис. 9).

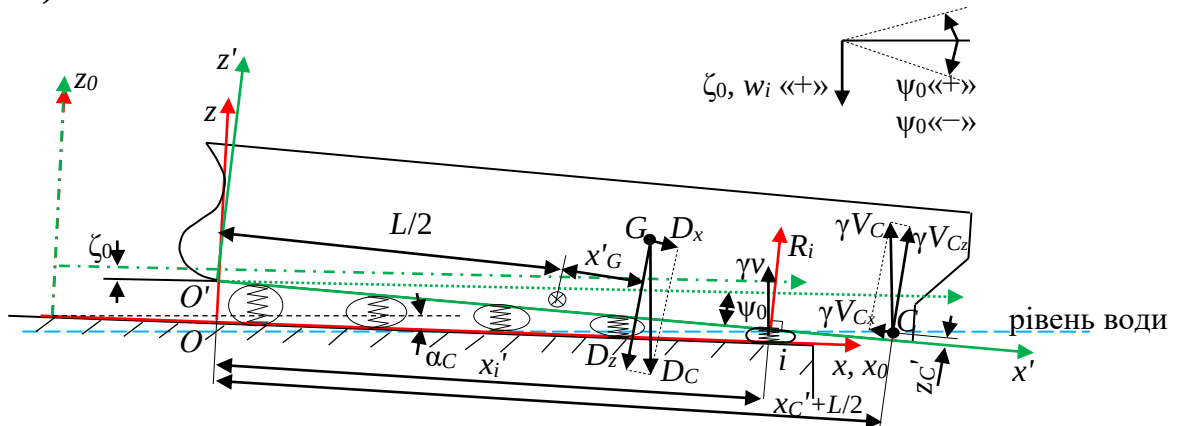


Рисунок 9 – Сили, що діють на судно, та правило знаків для переміщень

Сили, що діють на судно під час спуску (рис. 9): D_C – спускова вага судна, кН; R_i – реакція від балонів, кН·м; γV_C – сила плавучості частини судна, зануреної у воду, кН; γV_{Ci} – 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 пневматичного балона, та напрям їх дії зображені на рисунку 10.

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. 11, 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. 11, б), кН/м.

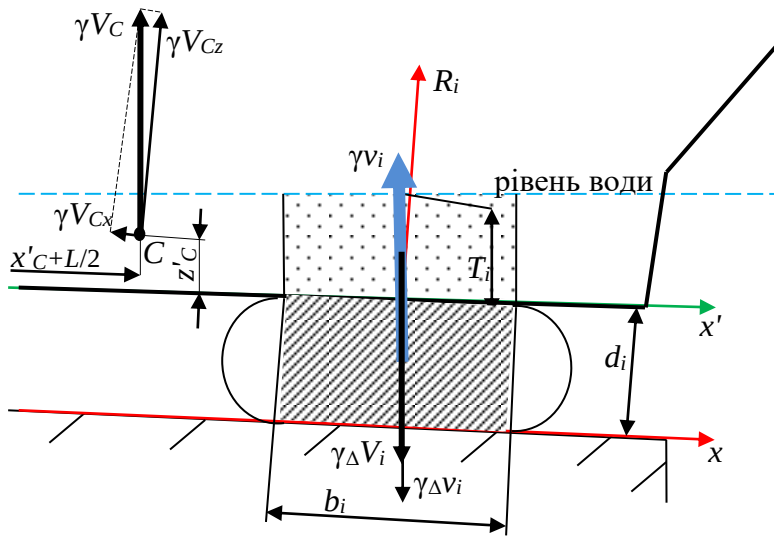


Рисунок 10 – Сили, що діють при контакті зануреного у воду балона та днища судна

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 балона, кН/м²; w_i – зміна робочої висоти пневматичного балона, м.

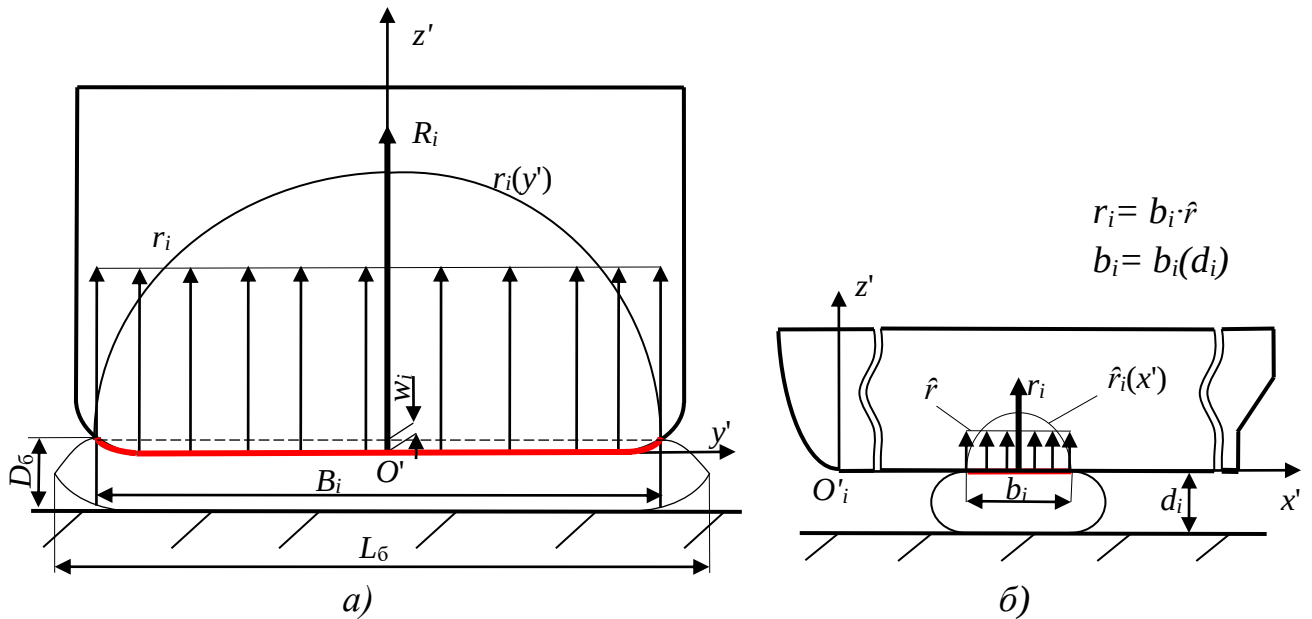


Рисунок 11 – Реакція балонів, лінія контакту між плоским днищем та балоном: а) переріз судна у площині мідель-шпангоута; б) переріз судна в діаметральній площині

Зміна робочої висоти пневматичного балона знаходиться за формулою $w_i = \zeta_0 - x_i \cdot \psi_0$, 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. 11). Відповідно, ширина дотику пневматичного балона та днища судна розраховується з умов збереження периметра балона $b_i = \frac{\pi}{2} \cdot (D_6 - d_i) = \frac{\pi}{2} \cdot w_i = \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x'_i$, м.

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

$$\gamma(\Delta v_i + \Delta V_i) = \gamma \cdot B_i \cdot b_i \cdot T_{i_6} = \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_6} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \zeta_0 - \gamma \cdot B_i \cdot T_{i_6} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \psi_0 \cdot x'_i, \quad (4)$$

де T_{i_6} – глибина води для i -го балона, м:

$$T_{i_6} = (x_{0_{i6}} - x_{0_{води}}) \cdot \alpha_C = (S + x'_i - x_{0_{води}}) \cdot \alpha_C, \quad (5)$$

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

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

$$R_i = B_i \cdot k_i \cdot \zeta_0 - B_i \cdot k_i \cdot x'_i \cdot \psi_0. \quad (6)$$

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

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

$$\sum_i F_{i_{z'}} = 0: -D_z + \sum_{i=1}^{N_6} R_i + \sum_{i=1}^{N_6} [(\gamma v_i - \gamma \Delta v_i) - \gamma \Delta V_i] + \gamma V_{C_z} = 0; \quad (7)$$

- сума моментів усіх сил відносно точки O' :

$$\begin{aligned} \sum_i M_{i_{O'}} = 0: & -D_z \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) - D_x \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_6} R_i \cdot x'_i + \gamma V_{C_z} \cdot (x'_C + \frac{L}{2}) + \gamma V_{C_x} \cdot z'_C + \\ & + \sum_{i=1}^{N_6} ((\gamma v_i - \gamma \Delta v_i) - \gamma \Delta V_i) \cdot x'_i = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

де N_6 – число балонів під корпусом судна.

Враховуючи величини кута нахилу стапеля α_C та кута диференту судна, приймаємо наступні припущення: $D_z = D_C \cdot \cos \alpha_0 \cong D_C$; $D_x = D_C \cdot \sin \alpha_0 \cong D_C \cdot \alpha_0$, $\alpha_0 = (\alpha_C - \psi_0)$ та аналогічно для сил плавучості.

Силу плавучості судна γV_C знаходимо за формулою

$$\gamma V_C = \gamma \cdot \Delta L \cdot \sum \omega_{i_{шп}}, \quad (9)$$

де ΔL – довжина шпациї судна, м; $\omega_{j_{шп}}$ – площа j -го шпангоута, зануреного у воду, м².

Для розрахунку $\omega_{j_{шп}}$ масштаб Бонжана було апроксимовано поліномом третього порядку $\omega_{j_{шп}}(T_j) = a_{1j} \cdot T_j + b_{1j} \cdot T_j^2 + c_{1j} \cdot T_j^3 = a_{1j} \cdot T_j + \Delta \omega_{j_{шп}}$, де $\Delta \omega_{j_{шп}}$ – нелінійна складова апроксимації; T_j – осадка судна на j -му шпангоуті, м. Осадка судна на j -му шпангоуті $T_j = T_{j_в} - d_j$, де $T_{j_в}$ – глибина води на j -му шпангоуті, м; d_j – відстань (висота) від стапеля до днища судна на j -му шпангоуті, м.

Таким чином, остаточно маємо

$$\gamma V_C = \gamma \Delta L \left(\sum_j^{N_f} [a_{1j} (T_{j_в} - D_6)] + \zeta_0 \cdot \sum_j^{N_f} [a_{1j}] - \psi_0 \cdot \sum_j^{N_f} [a_{1j} \cdot x'_i] + \sum_j^{N_f} \Delta \omega_{j_{шп}} \right), \quad (10)$$

де N_f – число шпангоутів, занурених у воду.

Підстановка усіх розрахункових величин у рівняння (7) та (8) дає наступну систему рівнянь рівноваги судна:

$$\left. \begin{aligned}
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j}] \right) - \\
& - \psi_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] - \sum_{i=1}^{N_k} \left[\gamma \cdot B_i \cdot T_{i_B} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x'_i \right] + \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j} \cdot x'_j] \right) = \\
& = D_C - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i] - \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j} \cdot (T_{j_B} - D_6)] - \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}; \\
& \zeta_0 \left(\sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x'_i] + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j}] - \right. \\
& \quad \left. - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x'_i] \right) - \psi_0 \cdot \left(-D_C \cdot z'_G + \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot k_i \cdot x_i'^2] + \right. \\
& \quad \left. + (x'_C + \frac{L}{2} + (\alpha_C - \psi_0) \cdot z'_C) \cdot \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j} \cdot x'_j] + \right. \\
& \quad \left. + z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j} (T_{j_B} - D_6)] - \frac{\gamma \pi}{2} \sum_{i=1}^{N_k} [B_i \cdot T_{i_B} \cdot x_i'^2] - \right. \\
& \quad \left. - z'_C \cdot \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} \Delta \omega_{j_{\text{шп}}} \right) = D_C \cdot (x'_G + \frac{L}{2}) \cdot \alpha_C \cdot z'_G - \sum_{i=1}^{N_k} [\gamma v_i \cdot x'_i] - \\
& \quad - (x'_C + \frac{L}{2} + \alpha_C \cdot z'_C) \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} [a_{1j} (T_{j_B} - D_6) + \Delta \omega_{j_{\text{шп}}}] .
\end{aligned} \right\} \quad (11)$$

У структурованому вигляді система рівнянь (11) та її розв'язок запишуться так:

$$\left. \begin{aligned}
A_1 \cdot \zeta_0 - B_1 \cdot \psi_0 &= D_1 \\
A_2 \cdot \zeta_0 - B_2 \cdot \psi_0 &= D_2
\end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

та

$$\left. \begin{aligned}
\zeta_0 &= (D_2 \cdot B_1 - D_1 \cdot B_2) / (A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2) \\
\psi_0 &= (A_1 \cdot D_2 - A_2 \cdot D_1) / (A_2 \cdot B_1 - A_1 \cdot B_2)
\end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

де $A_1, B_1, D_1, A_2, B_2, D_2$ – відповідають членам лівої та правої частин у системі (11).

При розв'язанні системи рівнянь необхідно враховувати наступні умови:

1. Коли 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, даний балон буде зносити потоком води в ніс судна до найближчого завантаженого балона.

3. Якщо i -й балон занурено у воду не 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 апроксимації a_{1j}, b_{1j}, c_{1j} 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 $k = 0, 1, 2, \dots$; l_6 – відстань між балонами.

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

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 12: 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. 12, а); на другому графіку зображені

епюри реакції пневматичних балонів у фіксовані моменти часу при спуску (рис. 12, 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.

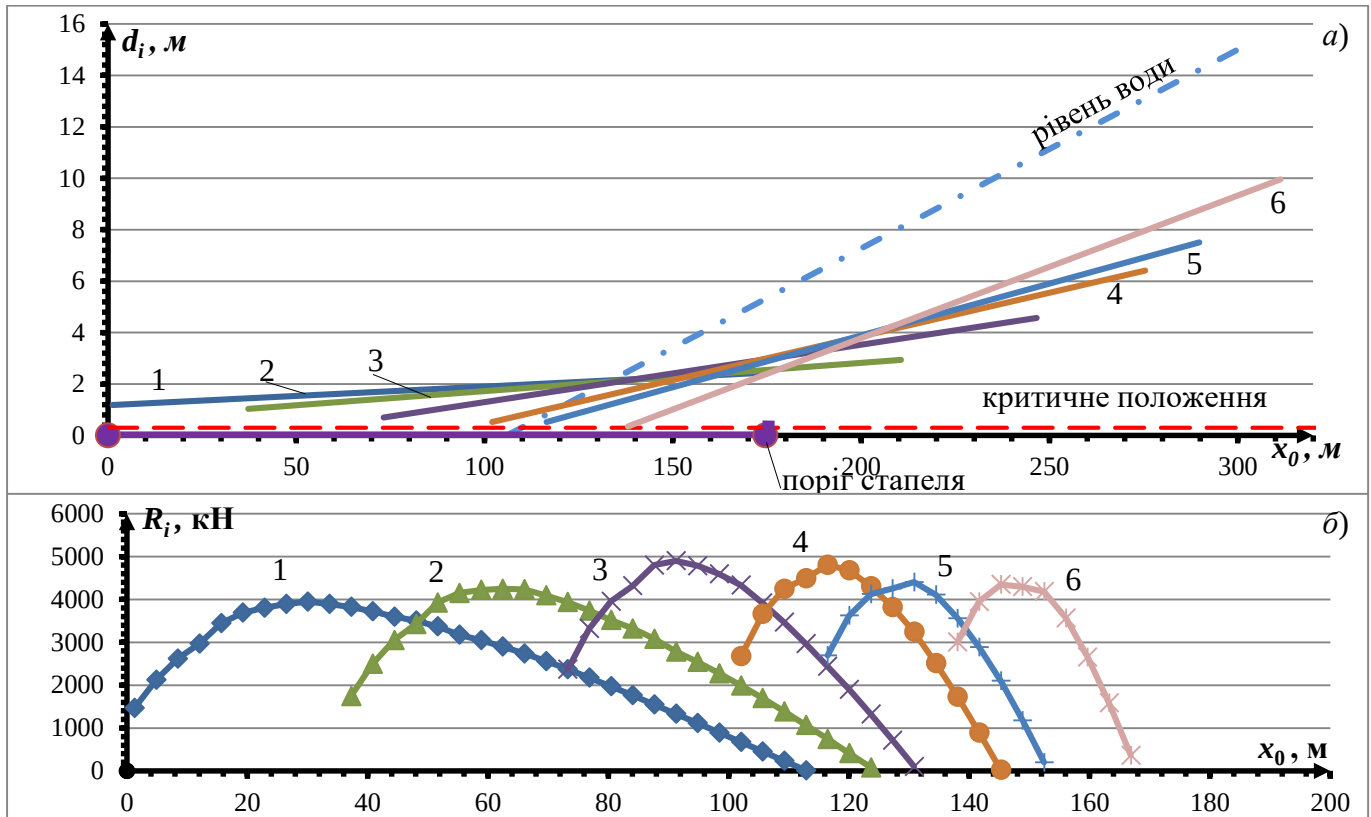


Рисунок 12 – Результати розрахунку спуску судна: а) положення основної лінії судна; б) реакції від i -х пневматичних балонів

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 величина) для кожного обраного типу $l_6 = 2,9 \dots 4,2$ м. На рисунку 13 показана траєкторія руху носового перпендикуляра 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.

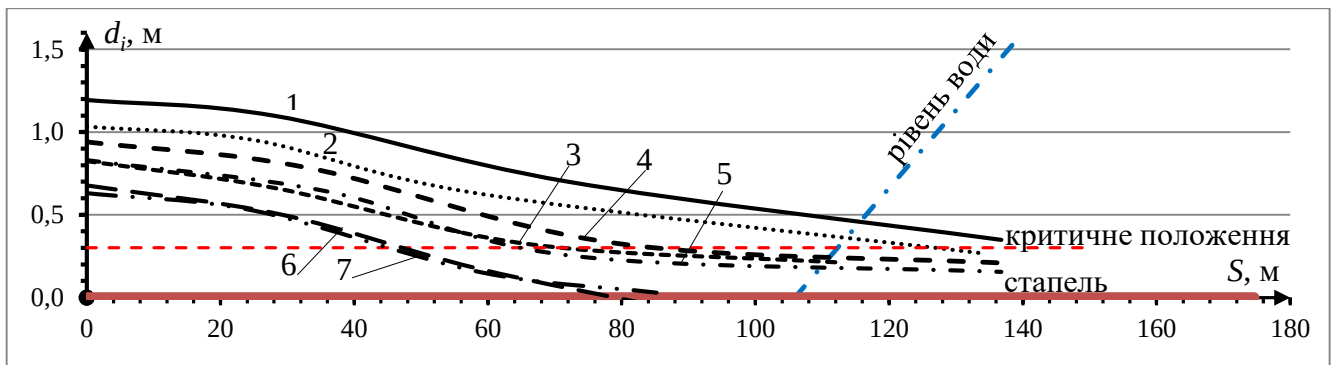


Рисунок 13 – Траєкторія руху носового перпендикуляра судна під час спуску на пневматичних балонах

Також на основі отриманої у другому наближенні математичної моделі проведено дослідження з оптимізації вибору пневматичних балонів (рис. 13, 14). Параметр цільової функції – безпечне положення судна на всіх етапах спуску; обмеження – діаметр балона та відстань між балонами.

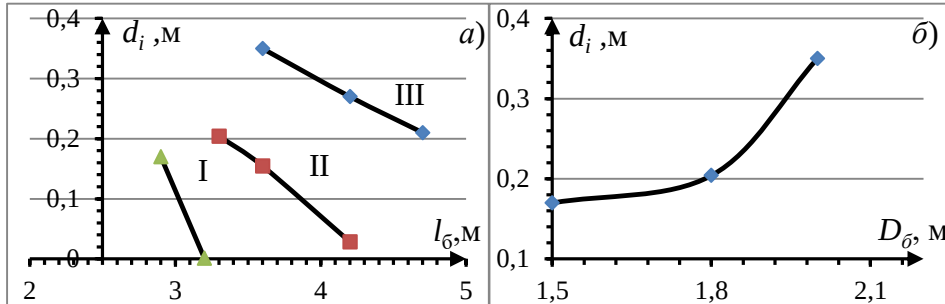


Рисунок 14 – Залежність робочої висоти пневматичного балона: а) від відстані між балонами; б) від діаметру балона

Результати оптимізаційної задачі представлені графічно, на прикладі спуску судна довжиною 174,6 м зі стапеля, нахил якого складає 3° . На рисунку 14, а 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 безпечне положення судна.

Також, для перевірки розрахунків, проведено дослідження спуску судна без урахування води, тобто судно спускається з нескінченно довгої похилої поверхні. Розрахунок проводиться до моменту, коли судно торкається стапеля (рис. 15). Результати розрахунків показали, що відстань, пройдена судном, практично не залежить від діаметрів балонів та відстані між ними. Для прикладу на графіку (рис. 15) 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.

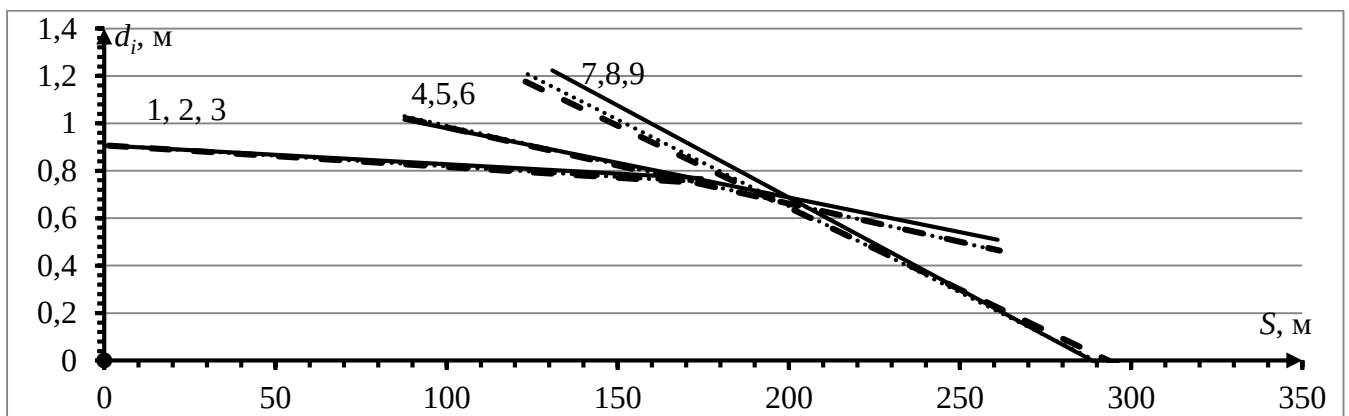


Рисунок 15 – Траєкторія руху основної лінії судна під час спуску на балонах по сухому стапелю

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

Для визначення економічної доцільності заміни традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони для спуску суден з похилих поздовжніх стапелів як приклад проведено порівняльний аналіз вартості реновації стапеля «0» ЧСЗ.

Загальна довжина стапеля «0» ЧСЗ, на прикладі якого проводиться дослідження, становить 330 м, але для побудови судна з максимально допустимою для спуску на балонах вагою достатньо заповнити простір між доріжками на 250 м.

Для отримання плоскої поверхні стапеля довжиною 250 м необхідно 20 металевих проставок шириною 6,76 м та 40 – шириною 3,4 м. Довжина металевої проставки становить 12 м, що відповідає типовому розміру секцій суден, які виготовляє ЧСЗ (табл.1, Тип А). За допомогою загальновідомих формул розрахована вартість виготовлення та встановлення металевих проставок, яка складає 3,6 млн грн.

Також проведено розрахунки вартості виготовлення та встановлення залізобетонних проставок, форма і розмір яких представлені в таблиці 1 (Тип III). Дослідження вартості виготовлення залізобетонних проставок взяті для Миколаївського заводу залізобетонних виробів і становлять 2,8 млн грн з урахуванням їх транспортування та встановлення.

За даними, які надали керівники ЧСЗ, розрахункова вартість ремонту стапеля приблизно дорівнює 10 млн грн, що в 2,7...3,6 рази більше, ніж розрахована вартість його реновації.

Далі проведено порівняльний аналіз вартості спуску судна, розраховано вартість спуску судна на традиційному спусковому пристрої за даними ЧСЗ та орієнтовну вартість спуску на пневматичних балонах. Оскільки відсутні дані з монтажу пневматичних балонів, значення вартості спускових робіт дорівнюємо до вартості встановлення традиційних спускових пристроїв, але апріорі трудомісткість і тривалість установки під судном пневматичних балонів буде значно менше.

Згідно з даними компанії-постачальника, ціна спускового балона, обраного для спуску, складає приблизно 49 тис. грн. Кількість спускових балонів, яка необхідна для спуску судна, складає 68 шт., звідси маємо вартість спускових балонів: 3280 тис. грн. А за даними ЧСЗ вартість компонентів насалки становить 5303 тис. грн. Застосування пневматичних балонів для спуску суден дає економію коштів в 1,64 рази при одноразовому використанні балонів, та у 4,2 рази при багаторазовому їх використанні без додаткових витрат.

ВИСНОВКИ

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 пневматичних балонах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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.

АНОТАЦІЯ

Воленюк Л.С. Удосконалення технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів. – На правах рукопису.

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

Дисертація присвячена удосконаленню технології спуску суден з похилих поздовжніх стапелів шляхом реновації поверхні стапеля і застосування пневматичних балонів замість традиційних спускових пристроїв.

При вивченні та аналізі літературних джерел зі спуску суден з похилих поздовжніх стапелів і даних для ряду суднобудівних заводів України виявлено, що заміна традиційних спускових пристроїв на пневматичні балони неможлива без реновації стапелів.

Розроблено ефективний спосіб реновації похилого поздовжнього стапеля шляхом створення плоскої поверхні. Плоска поверхня створюється за рахунок використання металевих або залізобетонних проставок, якими заповнюється простір між спусковими доріжками. Проведено дослідження з вибору конструкції проставок.

Досліджено процес спуску суден на пневматичних балонах із застосуванням англійської діаграми спуску та розроблено математичну модель процесу спуску у квазі-статичному наближенні. Проведено розрахунки спуску на пневматичних балонах з різними характеристиками суден на двох суднобудівних заводах. Також на основі отриманої математичної моделі проведено дослідження з оптимізації вибору пневматичних балонів.

Виконано порівняльний техніко-економічний аналіз реновації стапеля і спуску судна традиційним способом і на пневматичних балонах.

Розроблено стандарт підприємства для спуску суден на пневматичних балонах.

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

АННОТАЦИЯ

Воленюк Л.С. Совершенствование технологии спуска судов с наклонных продольных стапелей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 – «Конструирование и строительство судов». – Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2018 г.

Диссертация посвящена совершенствованию технологии спуска судов с наклонных продольных стапелей путем реновации поверхности стапеля и замены традиционных спусковых устройств на пневматические баллоны.

Изучение и анализ литературных источников по спуску судов с наклонных продольных стапелей и данных ряда судостроительных заводов Украины выявили, что замена традиционных спусковых устройств на пневматические баллоны для спуска невозможна без реновации стапелей.

Впервые разработан эффективный способ реновации наклонного продольного стапеля без его разрушения - создание плоской поверхности, что дает возможность спускать суда на пневматических баллонах. Плоская поверхность создается за счет использования металлических или железобетонных проставок, которыми заполняется пространство между спусковыми дорожками. На основе проведенного технико-экономического анализа выбраны конструкции металлических и железобетонных проставок по следующим критериям: устойчивость, трудоемкость, металлоемкость, технологичность.

Выбор конструкции металлических проставок проводился методом анализа иерархий, который заключается в декомпозиции задачи на более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений, согласно парных сравнений. По результатам исследования, наиболее рациональной является конструкция, состоящая из полотнища, подкрепленного сварным продольным тавровым набором.

По проведенному комплексному анализу выявлено, что наиболее приемлемой железобетонной конструкцией является плита, армированная каркасом и сеткой, поскольку ее простая форма упрощает технологический процесс и удешевляет себестоимость изготовления, так как не требует сложных форм и оснастки. Проставки выбранного типа являются типичными для предприятий, специализирующихся на изготовлении железобетонных конструкций.

Исследован процесс спуска судна на пневматических баллонах. Впервые исследовано поведение системы судно-пневматические баллоны в процессе спуска судна на воду и разработана математическая модель спуска судна на воду с наклонного продольного стапеля на пневматических баллонах.

В первом приближении использован метод аналогии, в основе которого лежит статический расчет спуска судна на традиционных спусковых устройствах. Проведено статистическое исследование спуска судов с продольных наклонных стапелей

на традиционных спусковых устройствах и на пневматических баллонах. Выполнены расчеты спуска танкера длиной 174,6 м (вес судна 12035 т) со стапеля «0» Черноморского судостроительного завода и рефрижератора типа «Бухта русская» длиной 133,95 м (вес судна 4850 т) со стапеля «III» Государственного судостроительного завода имени 61 коммунара. Построены английские диаграммы спуска.

Сравнительный анализ показал, что при спуске судна на пневматических баллонах всплытие наступает раньше, а дополнительная плавучесть создает дополнительное баксовое давление. Далее выявлено, что при спуске на баллонах нагрузка воспринимается большей площадью и не превышает расчетных нагрузок на корпус. Согласно проведенному расчету спуска выбранных судов опрокидывания и прыжок отсутствуют.

Впервые создана и апробирована математическая модель движения твердого тела на упругих опорах в виде уравнений механики движения твердых тел в квазистатическом приближении, которая позволяет установить положение судна и нагрузки в расчетный момент времени с учетом изменения положения судна (вертикальное и угловое перемещение) во время спуска.

На основе полученной, во втором приближении, математической модели проведены расчеты спуска тех же судов и выявлены следующие закономерности: положение максимального значения реакций стабильно на протяжении спуска, уменьшение ширины соприкосновения между баллоном и днищем судна (сужение суда) существенно уменьшает реакции; максимальные реакции в течение спуска меняются на 15...20%.

Проведено численное исследование по оптимизации выбора пневматических баллонов и выявлено, что максимальный диаметр баллонов и минимальное расстояние между ними обеспечивают, в целом, минимально безопасные уровни нагрузки на баллоны и положения судна без достижения опасных критических значений.

Проведено технико-экономическое обоснование реновации наклонного продольного стапеля. По полученным данным создание плоской поверхности стапеля, с применением специальных проставок, для спуска судна на пневматических баллонах в 2,5...3,6 раза дешевле, чем его капитальный ремонт и полное восстановление функциональных качеств.

Проведен сравнительный анализ стоимости спуска судна: рассчитана стоимость спуска на традиционных спусковых устройствах и ориентировочная стоимость спуска на пневматических баллонах. Применение пневматических баллонов для спуска с продольных стапелей дает экономию средств в 1,64 раза при однократном использовании баллонов, и 4,2 раза за счет многократного их использования без дополнительных затрат.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс в учебно-научном институте кораблестроения НУК.

Разработан стандарт предприятия для спуска судов с наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах.

Ключевые слова: спуск судна, наклонный продольный стапель, проставки, пневматические баллоны.

SUMMARY

Voleniuk L.S. Improving the technology of ship launching from longitudinal sloping slipways. – Manuscript.

Dissertation for the degree of the candidate of technical sciences by the specialty 05.08.03 «Ships Design and Construction». – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, 2018.

The dissertation considers the improvement of the technology of ship launching from longitudinal sloping slipways by renovating the slipway surface and using airbags instead of conventional launching gear.

When studying and analyzing literary sources on ship launching from longitudinal sloping slipways and data obtained from a number of Ukrainian shipbuilding plants, it has been revealed that the replacement of conventional launching gear with airbags is impossible without the renovation of slipways.

An effective way of renovating a longitudinal sloping slipway by creating a flat surface has been developed. The flat surface is created through using metal or reinforced concrete spacers, which fill the space between the launching tracks. There has been conducted a study on the selection of design of the spacers.

The process of ship launching on airbags has been studied using the English launching curve; a mathematical model of the process of launching has been developed in the quasi-static approximation. There have been performed calculations of launching on airbags with different characteristics of ships at two shipyards. Besides, a study has been carried out based on the obtained mathematical model in order to optimize the selection of airbags.

There has been performed a comparative technical and economic analysis on the renovation of slipways and ship launching with conventional gear and on airbags.

An enterprise standard for ship launching on airbags has been developed.

Keywords: ship launching, longitudinal sloping slipway, spacers, airbags.

Підп. до друку 31.08.2018. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 0,9. Ум. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. 3008-1.

Поліграфічне підприємство СПД Румянцева Г. В.
54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.
Свідоцтво МК № 11 від 26.01.2007 р.