

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

маг. инж. Александрина Захариева Василева

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ДИФЕРЕНТА НА
КОРАБА ВЪРХУ ХОДОВИТЕ МУ КАЧЕСТВА**

ПРОЕКТ

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен "доктор"**

по научна специалност: 02.03.01 "Теория на кораба"

Научен ръководител: доц. Стефан Кюлевчелиев

Рецензенти:

1.

2.

Варна, 2020

**Дисертационният труд е обсъден на
в катедра „Корабостроене и Корабни машини и
механизми“ и е насочен за защита.**

Автор: инж. Александрина Захариева Василева

**Заглавие: Изследване на влиянието на диферента на кораба
върху ходовите му качества**

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

маг. инж. Александрина Захаријева Василева

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ДИФЕРЕНТА НА
КОРАБА ВЪРХУ ХОДОВИТЕ МУ КАЧЕСТВА**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен "доктор"**

по научна специалност: 02.03.01 "Теория на кораба"

Варна, 2020

Дисертационният труд съдържа 124 страници, включително 91 фигури, 56 таблици, оформени в 7 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 84 заглавия и 3 приложения с включени 56 фигури и 26 таблици.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на Г. ОТ Ч. В на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Ректора №/..... Г.

Материали по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се в "Докторантски център" на ТУ, стая 318 НУК

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Повишаването на енергийната ефективност на корабите винаги е било във фокуса на вниманието на проектанти, оператори и корабособственици, главно по икономически съображения. Напоследък, интересът към този проблем се съживи и засили поради екологичната загриженост на обществото.

Международната морска организация (ИМО) с резолюция от 2003 инициира разработването на политики и практики за намаляване на емисиите на парникови газове от корабите, което включва проектни, експлоатационни и търговски мерки. Някои от тези регулаторни изисквания са вече в сила с перспектива да стават все по-стриктни в бъдеще.

Мерките са обособени в три групи:

➤ Технически мерки - (въвеждане на EEDI - Конструктивен индекс за енергийна ефективност)

➤ Експлоатационни мерки - (въвеждане на EEOI - Експлоатационен индикатор за енергийна ефективност и SEEMP - План за управление на енергийната ефективност)

➤ Пазарни мерки - (цени на горивата за корабоплаване; търговия с емисии, данъци за бункероването и пр.)

Първите две групи мерки имат връзка с подобряване на ходовите качества на кораба - намалено съпротивление и повишен пропульсивен коефициент. Те са приложими за:

➤ новостроящи се кораби (оптимизация на корабната форма, оптимизация на конструкцията на корпуса и енергоспестяващи задвижващи устройства)

➤ новостроящи се кораби и такива в експлоатация (енергоспестяващи устройства; ефективност на корабите в експлоатация и на двигатели и механизми).

Една от възможните експлоатационни мерки е оптимизиране на диферента на кораба при плаване на баластни и междинни газения.

Проблем

Предметът на дисертационния труд е влиянието на диферента върху ходовите качества на кораба. Наличието на оптимален (или поне благоприятен) диферент е познато на навигаторите, но такъв е установяван с проби и грешки и натрупан практически опит с конкретен кораб. Изпълнението на нововъведените изисквания към енергийната ефективност на корабите би било по-лесно при наличие на конкретни предписания за всеки кораб, за което е необходимо изследване на физиката на явленията и методите за разработване на такива препоръки.

Цели и задачи на изследването

Цел на дисертацията:

Целта на настоящия дисертационен труд е изследване на хидродинамичните ефекти при плаване на кораб с диферент върху ходовите му характеристики, анализ на методите за оценка на влиянието на диферента и оптимизирането му, както и разработване на практически процедури за приложение на методите.

Задачи на дисертацията:

1. Сбор и анализ на данни от експериментални изследвания на кораби за оптимизация на диферента.
2. Изследване на физиката на явленията свързани с изменението на диферента от събраните налични данни от експериментални изследвания.
3. Анализ на глобалните ограничения върху оптимизацията на диферента.
4. Изследване на приложението на различни експериментални методи за определяне на оптималния диферент на кораба.
5. Провеждане на числени изследвания за определяне на оптималния диферент на кораба.
6. Оформяне и представяне на получените данни във форма позволяваща лесното им приложение при експлоатация на кораба за консултиране на капитана.
7. Очертаване на насоки за по-нататъшни изследвания и разработки по темата.

Методи на изследване

Възможни са три подхода за изследване влиянието на диферента:

- Провеждане на моделни изпитвания за матрица от газения и диференти.
- Използване на приблизителни методи основани на систематични или случайни емпирични данни.
- Прилагане на методите на изчислителната хидродинамика (CFD) като заместване или допълнение на моделните изпитвания.

В дисертационния труд са приложени два от по-горе изложените методи: провеждане на моделни изпитвания и прилагане на методите на числената хидродинамика.

Място на изследване

Изследванията, представени в дисертацията са проведени в:

- Технически Университет – Варна
- Център по Хидро- и Аеродинамика – Варна към ИМСТ на БАН

Научна новост на изследването

Като научна новост в изследването могат да се заявят:

- Изследването на физиката на явленията свързани с изменението на диферента на кораба и извлечените зависимости от геометрични параметри на корпуса.
- Комплексното разглеждане на проблема за оптимизация на диферента, включващо проблеми извън чисто хидродинамичните.

Практическа ценност на изследването

Резултатите от изследването, които могат да са полезни за практиката са:

- Оценката на експерименталните методи за определяне на ефекта на диферента върху ходкостта от гледна точка на адекватност и трудоемкост.
- Изводите за влиянието на числената мрежа и турбулентните модели върху точността на числената прогноза на съпротивлението при променлив диферент.
- Предлаганите форми за представяне на данните от систематични изчисления или моделни изпитания на кораб с променлив диферент.

Апробация на изследването

Резултати на изследването са представени на следните научни форуми:

- Конференция на СУБ – Варна, Секция "Технически науки", Месец на науката 2013
- 12-th International Conference Black Sea 2014, 25-27 September (2 доклада)
- International Conference Trans&MOTAUTO'15, 24-27.06.2015 - Varna-Bulgaria

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1: Актуалност на темата и състояние на проблема

В Глава 1 на дисертационния труд е направен обзор на методите за повишаване на енергийната ефективност на корабите.

Съвременните мерки и средства за увеличаване на енергийната ефективност, могат да се разделят на две групи: за новостроящи се кораби и за новостроящи и кораби в експлоатация. Като всеки съществуващ метод има съответните плюсове и минуси спрямо останалите методи.

За новостроящи кораби се отнасят:

- оптимизация на корабната форма - оптимизиране на параметрите на кораба, минимизиране съпротивлението на корпуса и повишаване на пропульсивния коефициент, допълнително съпротивление от вълнение и вятър;
- оптимизация на конструкцията на корпуса.

А към втората група спадат:

- енергоспестяващи устройства;
- ефективност на корабите в експлоатация - оптимизация на курса, оптимизация на газенето/диферента, усъвършенстване на автопилотите, управление на състоянието на корпуса;
- двигатели и механизми;
- системи за понижаване на съпротивлението от триене;
- използване на възобновяема енергия.

ИЗВОДИ НА ГЛАВА 1

Проблемът за енергийната ефективност придоби нова актуалност с въведените от ИМО регулации (някои задължителни), свързани с намаляването на емисиите на парникови газове от корабите.

Те включват три обособени групи мерки:

- Технически мерки - EEDI ;
- Експлоатационни мерки - EEOI , SEEMP ;
- Търговски мерки .

Предметът на дисертацията – изследване на влиянието на диферента на кораба върху ходовите му качества – има отношение към експлоатационните мерки за повишаване на енергийната ефективност на кораба.

Глава 2: Формулировка на задачата. План на изследването

В Глава 2 на дисертацията е разгледан конкретният предмет на изследванията - оптимизация на диферента, подходите за изследването му и формулировка на целта и задачите на труда.

2.1. Предмет на изследването - оптимизация на диферента

Много системи за оптимизиране на експлоатацията на морските кораби се фокусират главно в минимизиране на разхода на гориво чрез оптимизиране на скоростта на кораба или оптимизиране на маршрута.

Обаче, при типичен корабен курс има предварително зададено разписание, което ограничава диапазона за оптимизиране на скоростта.

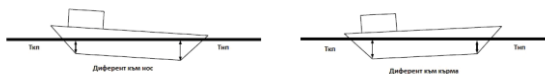
От друга страна е добре известно, че ходовите характеристики на кораба варират значително при различен диферент. Регулярна практика е да се изследват тези ефекти предварително и да се инсталират бордови компютърни системи за консултиране на капитана и планиращите натоварването. Този метод е подходящ, както за кораби в експлоатация, така и за нови кораби. Подходящ е за всички типове кораби, но най-голям е ефектът при такива плаващи на дълги маршрути. В таблица 2.1.1 е представено приложението, ефективността и разходите при прилагане на оптимизацията на диферента. С оглед на вложените разходи и последващите печалби, този метод е може би един от „най-рентабилните”. Пример за визуализация на получени резултати от прилагане на метода са илюстрирани на фигура 2.1.3, където паралелно с контурната графика на икономии на мощност е представена и графика на водоизместването на кораба в зависимост от газенията в носа и кърмата. Представено е как за желано водоизместване може да бъде определен оптималният диферент.

Таблица 2.1.1: Приложение и ефективност на оптимизацията на диферента

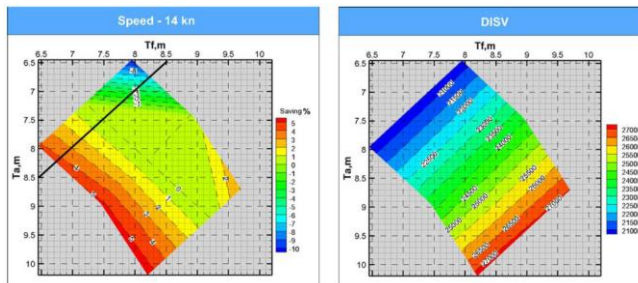
Икономии	Средно 2% намаление на консумацията на гориво
Тип кораби	Всички кораби, но най-голям ефект при кораби на дълги маршрути
Нови/реконструкция	И двете
Разходи	Разходи за добиване на данните са 50000 – 100000 \$ (общо за всички кораби от серия) с помощта на моделни изпитвания. Разходи за ефективно ползване на данните (бордови компютърни системи) – 500 – 5000 \$ за кораб. Експлоатационни разходи – за баластиране и времето за карго-планиране за оптимизиране на разпределението на товара.

Диферентът на кораба се дефинира като разлика между газенето в кърмовия (ТКП) и носовия (ТНП) перпендикуляр.

$$\Delta T = T_{КП} - T_{НП} \quad (2.1)$$



Фигура 2.1.1: Определение на диферента.



Фигура 2.1.3: Пример за визуализация на получени в ЦХА - Варна резултати от оптимизиране на диферента

2.2. Подходи за оптимизиране на диферента

Възможни са три подхода за изследване влиянието на диферента:

- Провеждане на моделни изпитвания за матрица от газения и диференти.
- Използване на приблизителни методи основани на систематични или случайни емпирични данни.
- Прилагане на методите на изчислителната хидродинамика (CFD) като заместване или допълнение на моделните изпитвания.

Основният ефект от всички мерки е насочен към икономията на мощност.

За прогноза на ефекта от изменение на диферента върху съпротивлението с приложение на приблизителен метод е използван методът на Холтроп-Меннен, но сравненията с екстраполация на моделни изпитвания показват неконсистентна адекватност, затова в дисертацията е поставен акцент върху изследване с другите два метода.

ИЗВОДИ НА ГЛАВА 2

Ходовите характеристики на кораба варират значително при различен диферент.

С оглед на вложените разходи и последващите печалби, оптимизацията на диферента е може би един от „най-рентабилните“ за повишаване на енергийната ефективност.

Традиционният подход за определяне на оптималния диферент е да се ползват моделни изпитвания за една матрица от газения и диференти.

Прогнозите на ходкостта по приблизителни методи, основани на емпирични данни, показват неконсистентна адекватност, както по отношение стойността на съпротивлението, така и по отношение на тенденциите в ефекта на диферента върху съпротивлението.

Все повече започва да набира популярност и приложимост използването на компютърната хидродинамика (CFD – Computational Fluid Dynamics), като допълнение или заместване на моделните изпитвания.

Друг подход за оптимизация на диферента се състои в мониторинг на диферента на натурния кораб в реални условия и корелация с всички данни, имащи отношение към разхода на гориво, събирани също с мониторинг от бордова система и изграждане на емпирични модели, които се ползват за оптимизация.

Глава 3: Физика на явленията свързани с изменение на диферента

3.1 Влияние на диферента на кораба върху параметри определящи ходкостта.

При плаване на кораба при диферент, това изменение спрямо равен кил, оказва влияние върху ходкостта му.

Предмет на тази част от дисертационния труд е разделяне на ефекта на диферента върху отделните параметри, пораждащи промяната на ходкостта на кораба при диферент: дължина на водолинията, мокра повърхност, параметър на формата (форм-фактор), коефициент на остатъчно съпротивление, коефициенти на взаимодействие (попътен поток, засмукване, неравномерност на скоростното поле), к.п.д на винта в свободна вода и др. Това разделяне става с преизчисляване на подаваната на винта мощност при поотделно изменение на всеки изследван параметър за различните диференти. Ефектите на отделните параметри са изследвани индивидуално, въпреки че биха могли да бъдат свързани. Всички натоварвания с диферент се разглеждат относно условията на равен кил.

Използани са данни от моделни изпитвания на 19 000 ТДВ танкер при две газения и вариране на диферента, изпитани в ЦХА – БАН, Варна. За анализ на влиянието на промяната на изложените параметри са използвани данни за 2 водоизмествания на кораба с три случая на натоварване (диферент на нос, диферент на кърма и равен кил), за всяко от тях при 2 скорости (12 и 14 възела).

Пълният ефект на диферента върху ходовите качества се концентрира в подаваната на винта мощност:

$$P_D = \frac{R_T \cdot V}{\eta_D}, \quad (3.1.1)$$

т.е. възможностите за снижаването на мощността са в намаляване на съпротивлението R_T и/или повишаване на пълния пропульсивен коефициент η_D . Затова те са изследвани. В таблица 3.1.9 са приведени резултатите за един от случаите на натоварване.

Таблица 3.1.9 Сумарна промяна в мощността вследствие на промяната на пълното съпротивление и коефициентите на взаимодействие за случай В при скорост 12 възела

ДИФЕРЕНТ	1,5	0	-1,5
СЛУЧАИ	В1	В2	В3
ΔPD_{RT} [%]	12.04	0.00	-4.30
ΔPD_{ETAD} [%]	2.25	0.00	-0.19
ΔPD [%]	14.29	0.00	-4.50
ΔPD (MT) [%]	15.38	0.00	-3.42

Сумирайки икономите от буксировъчното съпротивление и от коефициентите на взаимодействие, резултатът е много близък до стойностите, получени от пълно преизчисляване на моделните случаи във всеки отделен случай ($\Delta PD (MT)[\%]$). Вижда се, че разликите в оценката са минимални.

Установено е, че коефициентът на остатъчно съпротивление е параметърът най-силно повлиян от диферента. Въпреки това, влиянието на диферента върху пропульсивните фактори е достатъчно значимо, за да се пренебрегне.

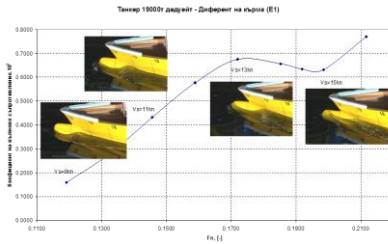
Обобщавайки, промяната на диферента оказва най-голямо влияние върху съпротивлението на кораба (приблизително 85% от ефекта) и по-малко на пропульсивния коефициент (около 15% от общия ефект).

3.2. Особенности на обтичането и съпротивлението при носови булб в близост до или пресичащ свободната повърхност.

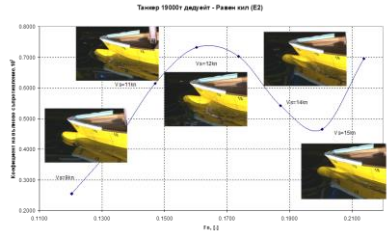
При частични и баластни газения на кораба с носови булб пресичащ свободната повърхност, обтичането и съпротивлението имат специфични характеристики като вълноразбиване и единична преобръщаща се разходяща вълна при срещата с основния корпус: и двете нелинейни и нестационарни явления. Това се случва при относително ниски числа на Фруд, които обаче могат да бъдат в експлоатационния диапазон на някои кораби.

Когато булбът пресича свободната повърхност на тиха вода, с увеличаване на числото на Фруд възниква вълноразбиване пред тъпата част на булба и единична преобръщаща се вълна непосредствено зад булба, при срещата с основния корпус. При определени числа на Фруд, тези явления са най-интензивни, което съответства на местни максимуми в кривата на вълновото съпротивление. Само когато скоростният напор стане достатъчно голям да повдигне нивото на водата над булба и потокът плавно обтича корпуса, има местни минимуми на коефициента на вълново съпротивление. Това явление е най-ясно изразено за 19000 тдв танкер - фигури 3.2.2 - 3.2.3. Описаната картина се наблюдава и при 50000 тдв танкер (фигура 3.2.5). Единственото изключение са случаите и за двата кораба, когато булбът е напълно потопен. Докато за 318000 тдв Супер танкер, твърдението не е в сила. В този случай формата на булба се характеризира с по-малък радиус на закръгление по форщевена, по-голяма височина и плавен преход към основния корпус (фигура 3.2.6).

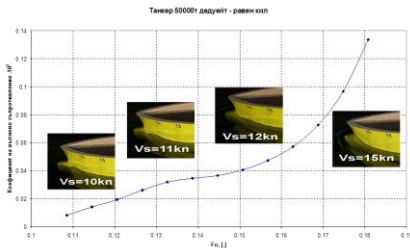
Въз основа на моделни резултати е направен опит да се изследва хипотезата, че положението и величината на местните екстремуми вероятно зависят от височината от водолинията на тиха вода до нивото над булба и от кривината на булба при форщевена на съответната водолиния.



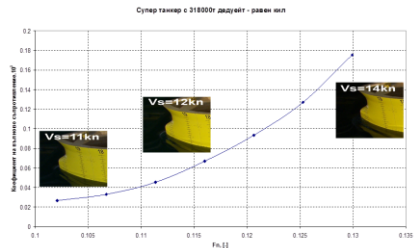
Фигура 3.2.2: Вълнова картина и крива на вълновото съпротивление за 19000 тдв танкер - Случай на диферент - E1



Фигура 3.2.3: Вълнова картина и крива на вълновото съпротивление за 19000 тдв танкер - Случай на диферент - E2



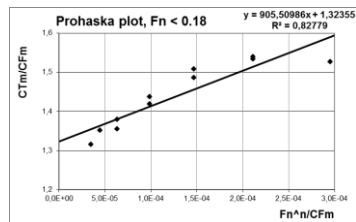
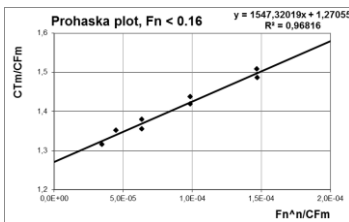
Фигура 3.2.5: Вълнова картина и крива на вълновото съпротивление при различни диференти за 50000 тдв танкер



Фигура 3.2.6: Вълнова картина и крива на вълновото съпротивление при различни диференти за 318000 тдв танкер

По-сериозен проблем е увеличената неопределеност в оценяването на форм-фактора в такива случаи. Използваният класически метод на Прохаска се основава на допускането, че асимптотичното поведение на вълнообразуващото съпротивление при ниски числа на Фруд е пропорционално на F_n^4 (извод от линейната теорията на Мичел за тънкия кораб). В разглежданите случаи, обаче коефициентът на вълново съпротивление се изменя съвсем различно от горната монотонна функция.

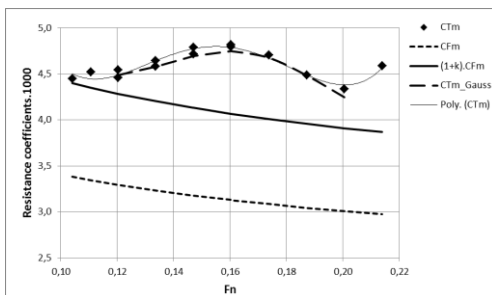
При поведение на кривите на съпротивление при ниски числа на Фруд, като илюстрираните, оценката на $(1+k)$ по метода на Прохаска е твърде несигурна. Това е демонстрирано за газене E2 във фигура 3.2.7.



Фигура 3.2.7: Графика на Прохаска за различни диапазони на Fn

Освен ниския коефициент на детерминация във втория случай, разликата в определените стойности на форм-фактора е смущаваща.

Затова, в случаи на булб пресичащ свободната повърхност, както и в случаи на значително потопена транцева кърма се препоръчва да се използва подхода на Хюз, т.е. в координатната система $CT_M(Rn)$ да се „регулира“ (ръчно) стойността на $(1+k)$, така че линията $C_v = (1+k).CF_0$ асимптотично да клони към стойностите на CT_M при най-ниските стойности на Fn . Подходът на Хюз може би предлага по устойчиви резултати и по-нагледен начин за оценката на форм-фактора.



Фигура 3.2.8: Определяне на форм-фактора по метода на Хюз и апроксимация на коефициента на вълново съпротивление.

Приемайки предложеното определяне на форм-фактора с подхода на Хюз, е направен опит да се изследва и опише оставащото ефективно вълново съпротивление. Идеята е да се апроксимира тази компонента с цел да се намерят стойността и положението (по Fn) на локалния максимум и локалния минимум, които след това да се свържат с геометрията на булба.

По физически и общи логически съображения бяха направени следните хипотези:

Хипотеза 1: Наблюденията, илюстрирани на фигури. 3.2.2, 3.2.3 и 3.2.4 предполагат, че местният минимум на кривата на вълновото съпротивление възниква, когато потокът покрие изцяло булба и плавно продължи назад. Теоретично, от уравнението на Бернули, повдигането на свободната повърхност в точката на заприщване е:

$$Z = \frac{1}{2} \frac{V^2}{g}, \quad (3.2.4)$$

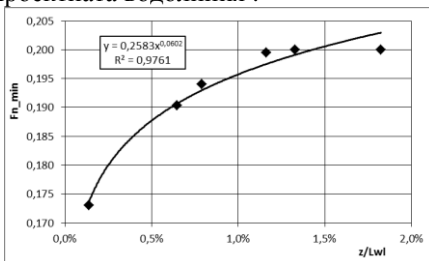
или безразмерно

$$\frac{z}{L} = \frac{1}{2} Fn^2, \quad (3.2.5)$$

Това означава, че ако височината, необходима да се покрие булба е Z_{up} , това ще се случи при

$$Fn_{min} \approx 2 \sqrt{\frac{Z_{up}}{L}}, \quad (3.2.6)$$

Като представителна височина Z_{up} , беше прието вертикалното разстояние между пресечната точка на водолинията с профила на булба на тиха вода и нивото на проектната водолиния.



Фигура 3.2.9: Зависимост $F_{n_{min}}(Z_{UP}/L_{wl})$ за всички случаи В и Е.

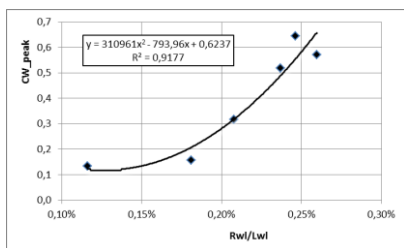
Показаната апроксимация със степенна функция със задоволителен коефициент на детерминация има поведението на функцията квадратен корен.

Естествено не може да се очаква точна зависимост от корен квадратен на F_n , поради разтичането във всички посоки, но тенденцията е очевидна.

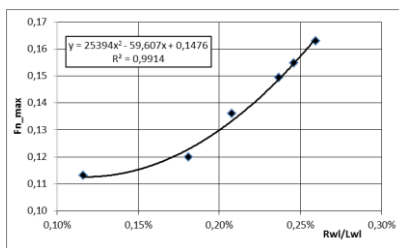
Хипотеза 2: Приемаме, че стойността на локалния максимум на коефициента на вълново съпротивление и неговото положение по оста F_n , зависят от кривината на водолинията на тиха вода. Логиката зад тази хипотеза е, че с колкото по-малка кривина е формата на булба, толкова по интензивно ще бъде вълноразбиването и ще продължи до по-високи скорости.

Като индикатор за кривината на водолинията на булба беше приет радиусът на закръгление на водолинията при различните газения и диференти.

Фигури 3.2.10 и 3.2.11 показват зависимостите на местния максимум на вълновото съпротивление (CW_{peak}) и на числото на Фруд, при което възниква (F_n_{max}) и относителният радиус на закръгление на водолинията (R_{wl}/L_{wl}).



Фигура 3.2.10: Зависимост между локалния максимум на C_w и относителния радиус на закръгление на водолинията



Фигура 3.2.11: Зависимост между числото на Фруд на локалния максимум на C_w от радиуса на закръгление на водолинията

Графиките показват, че очакваната корелация е задоволителна – коефициент на детерминация над 0.9.

3.3. Влияние на диферента върху вискозното съпротивление.

Вискозното съпротивление се влияе от диферента в две посоки. Първо, намокрената дължина (числото на Рейнолдс) и мократа повърхност се променят с диферента, оттам съпротивлението от триене. Това обаче е по-незначителен ефект, както и изменението на фронталната площ и въздушното съпротивление.

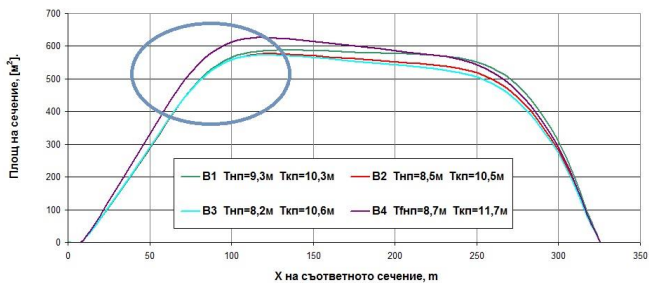
По-важният ефект на диферента е върху вискозното съпротивление от налягане (съпротивление на формата), т.е. форм-фактора.

Анализирани са експериментални данни за 318000t дедуейт супер танкер за четири диферента, несистематично вариращи и 50000t дедуейт за четири диферента.

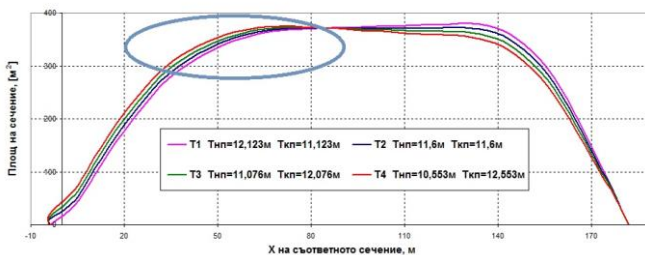
След изпробване на зависимост на форм-фактора от различни геометрични параметри, най-силна корелация (коефициент на определеност > 0,9) беше установена между форм-фактора и кривината на прехода към кърмовото заостряне на строевата по ребра.

Фигура 3.3.1 и 3.3.2 показват строевите по ребра за двата изследвани кораба. Кривината на строевата по ребра в областта, маркирана на фигурата, е изчислена за еднакви стойности на абсцисата:

$$k = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}}, \quad (3.3.1)$$

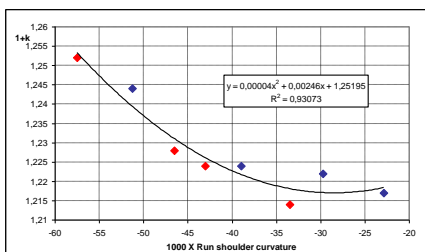


Фигура 3.3.1: Строева по ребра за изследваните диференти на 318000т дедуейт супер танкер.



Фигура 3.3.2: Строева по ребра за изследваните диференти на 50000 дедуейт танкер.

Тези стойности са корелирани със съответните стойности на 1+k (фигура 3.3.3).



Фигура 3.3.3: Връзка между форм-фактора и кривината към кърмовото заостряне на строевата по ребра

Фигурата показва отлична корелация между двете променливи и за двата изследвани кораба.

ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА 3

На базата на изследваните случаи относно физиката на явленията, свързани с изменението на диферента, обтичането на корпуса и компонентите на съпротивлението на кораба, може да се направят следните изводи:

- Промяната на диферента оказва най-голямо влияние върху пълното съпротивление на кораба (приблизително 85% от ефекта).

- Най-силно влияние върху съпротивлението има изменението на остатъчното съпротивление, много по-малко изменението на мократа повърхност и най-незначително изменението на дължината по водолиния.

- Влиянието върху мощността на изменението на факторите, формиращи пропульсивния коефициент, с диферента е достатъчно значимо, за да се пренебрегне.

- Най-силно е влиянието на коефициента на попътен поток и коефициента на засмукване, а по-незначително на коефициента на неравномерност на скоростното поле и на к.п.д. на винта.

- При кораби с носови булб, пресичащ свободната повърхност, вълноразбиването е следвано от единична преобръщаща се разходяща вълна, тези специфични характеристики се отразяват като локален максимум и локален минимум в кривата на вълновото съпротивление. От проведените изследвания е установено, че положението им по F_n зависи от потапянето на булба при тиха вода и кривината на водолинията пресичаща булба във форщевена.

- Вискозното съпротивление, по-специално форм-факторът, зависи от формата на кърмата. За изследваните случаи форм-факторът корелира силно с кривината на прехода към кърмовото заостряне на строевата по ребра.

Глава 4: Глобални съображения при оптимизацията на диферента

Основните хидродинамични оценки (независимо дали са експериментални или числени) са най-трудоемки и времеемки. Затова е логично да се дефинират общопроектните и експлоатационни изисквания, свързани с газенето и диферента, като ограничения при минимизиране на консумацията на мощност.

Към гореспоменатите изисквания спадат:

4.1 Реализуемост и допустимост за баластиране до конкретно натоварване (газене и диферент)

Евентуални оптимални газене и диферент от гледна точка на ефективната мощност трябва да бъдат практически реализуеми при конкретно натоварване, устройство и капацитет на баластната система, както и допустими от гледна точка на якост, плавателност, устойчивост, и аварийна устойчивост, укрепване на товара, управление на баластните води и пр.

Затова са разработени множество бордови компютърни системи, които използват 3-D модел на корабната форма като основа за изчисляване на условията на натоварване, плавателност и устойчивост и надлъжната обща якост.

Логично е, че регулирането на газенето и диферента е свързано директно с управление на баластирането.

4.2 Ограничения на газенето в носа за избягване на слеминг

Подходът на динамичните слемингови натоварвания се състои в избор на критични условия за прогноза на слеминговите натоварвания. Тези условия отчитат скоростта на кораба, направлението на вълнението и условията на натоварване.

Критичните условия на натоварване трябва да се определят на базата на податливостта на корпусните конструкции към слеминговите налягания с отчитане на носовата и кърмова форма на корпуса, както и местните газения.

4.3 Потопяне на гребния винт

Гребен винт на кораб плаващ на силно вълнение може да изпитва големи вертикални колебания относно свободната повърхност поради вълните и клатенето на кораба. Това може да доведе до големи и рязки загуби на упор.

Загубите се отдават на два ефекта: загуба на ефективна площ на диска на винта и вентилация.

Упорът, при загуба на ефективна площ на диска на винта може да се намери с прости геометрични изчисления, приемайки, че упорът е пропорционален на потопената площ на диска на винта.

Вентилация може да възникне, когато винтът работи в близост до свободната повърхност. При достатъчно голямо натоварване на винта, ниското налягане по лопатките може да създаде вихър, през който се засмуква въздух от свободната повърхност. Напълно вентилиран гребен винт може да загуби до 70-80% от своите упор и момент.

4.4 Видимост от мостика

Според конвенцията SOLAS 1974 и ограниченията за Панамския канал, трябва да се спазват определени изисквания за видимостта от мостика.

Изгледът към морската повърхност от позицията на рулевия не трябва да бъде закрит повече от две дължини на кораба или 500 м (което е по-малко) пред носа до 10° към всеки борд при всички условия на газене, диферент и палубен товар.

4.5 Надводен борд

Според единственото изискване, свързано с диферента, е корекция за минимална височина на борда на форщевена. Има изискване за местния надводен борд при носовия перпендикуляр (вкл. диферента). При зададени размери и форма на корпуса на кораба, това ограничение води до постоянна максимална стойност на T_{FR} .

4.6 Огъващи моменти и срязващи сили

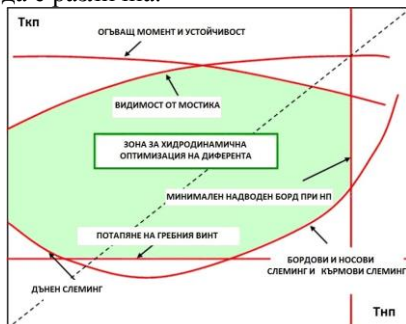
Определянето на силовите натоварвания е една от най-важните стъпки в общия анализ на якостта на кораба. Изследват се систематично няколко проектни състояния на морето с различни височини, дължини и направления на вълните, за да се симулират реалистично натоварванията.

В някои изследвания на конкретни случаи благоприятен се оказва диферент към кърма, въпреки, че нито в един от случаите не се надхвърлят допустимите моменти и сили. Все пак, проблемът е многокритериален и не може да се твърди в кои случаи се реализира благоприятният диферент.

ИЗВОДИ НА ГЛАВА 4

От направения анализ е видно, че има различни други ограничения за оптимизацията на диферента, които трябва да се вземат предвид преди прилагане на мерките за икономия на енергия.

Фигура 4.7.1 по-долу илюстрира всички ограничения, които трябва да се вземат предвид. Това е качествена картина. Във всеки конкретен случай, картината може да е различна.



Фигура 4.7.1: Ограничения при оптимизация на диферента

Всичко гореспоменато трябва да се има предвид преди началото на оптимизацията на диферента (експериментално или с CFD).

Глава 5: Сбор и анализ на данни от осъществени моделни изпитвания на кораби

Събрани са и анализирани данни за модели, изпитвани в ЦХА - Варна за различни диференти. Събрани са данни от буксировъчни и пропульсивни изпитвания за 5 модела:

- **Модел 1** Танкер с 19000 т дедуейт (19000t Tanker)
- **Модел 2** Многоцелеви кораб с около 11720 т дедуейт - (11720t Multi Purpose Vessel)
- **Модел 3** Супер танкер с 318000 т дедуейт (318000 t Very Large Crude Carrier)
- **Модел 4** Танкер с 50000 т дедуейт (50000t Product Carrier)
- **Модел 5** Танкер с 15000 т дедуейт (15000t Tanker)

ИЗВОДИ НА ГЛАВА 5

От събраните данни може да се види, че при кораби с различни размери и най-вече форми, влиянието на диферента върху пропульсивните характеристики на кораба е различно и зависи също от скоростта на движение.

Това се обяснява с физиката на обтичането на корпуса, изследвана по-подробно и представена в Глава 3. По-конкретно:

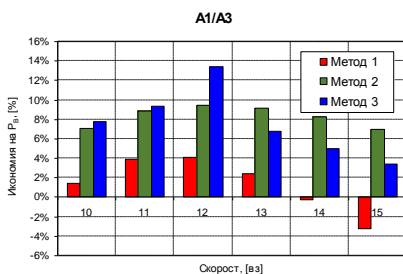
- Носовата форма, в частност носовия булб, и влиянието ѝ върху вълнообразуването и вълновото съпротивление;
- Влиянието на кърмовата форма и влиянието ѝ върху съпротивлението на формата (вискозно съпротивление от налягане) и коефициентите на взаимодействие;
- Наличието и потапянето/изплаването на транцева кърма.

Глава 6: Експериментални методи за изследване на влиянието на диферента върху ходовите му качества

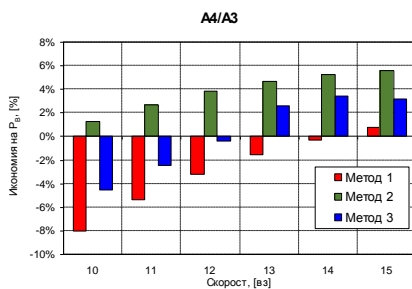
Имайки предвид разгледаната в Глава 3 физика на явленията, свързани с влиянието на диферента, за експерименталното определянето на оптималния диферент могат да бъдат използвани няколко метода. В тази глава са представени и сравнени **три експериментални метода** за изследване ходкостта на кораб при променлив диферент, като за целта използваните данни са от проведени моделни изпитвания на модел на 19К танкер при три различни водоизмествания. Всички изследвани случаи и резултатите от проведените моделни изпитвания са представени в табличен и графичен вид в Приложение 1, точка 1. За всяко газене е проведен експеримент при вариране на диферента, съответно диферент на кърма, равен кил и диферент на нос.

Методите на определяне на оптималния диферент са както следва:

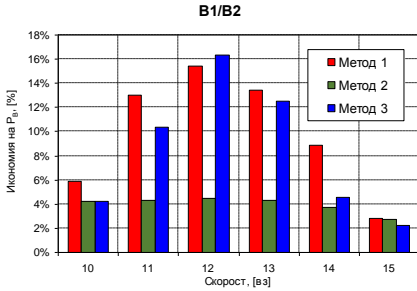
натоварване \ вид изпитване	Метод 1			Метод 2			Метод 3		
	диферент на нос	равен кил	диферент на кърма	диферент на нос	равен кил	диферент на кърма	диферент на нос	равен кил	диферент на кърма
Винт в свободна вода		√			√			-	
Буксировъчно изпитване	√	√	√	-	√	-	-	-	-
Пропулсивно изпитване	√	√	√	√	√	√	√	√	√



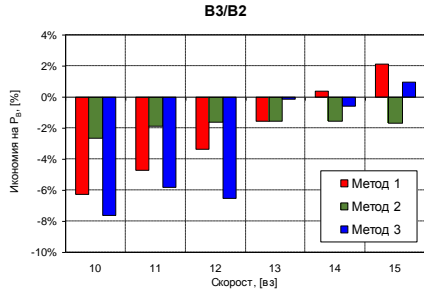
Фигура 6.3.10: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване A1



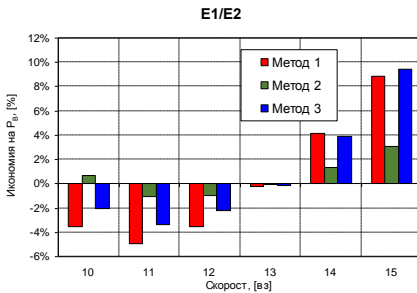
Фигура 6.3.12: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване A4



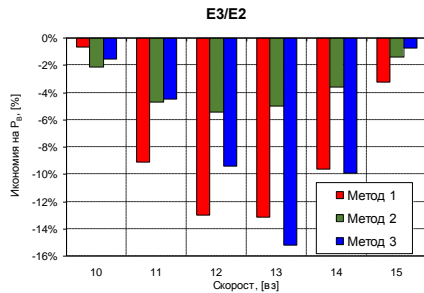
Фигура 6.3.13: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване В1



Фигура 6.3.14: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване В3



Фигура 6.3.15: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване Е1



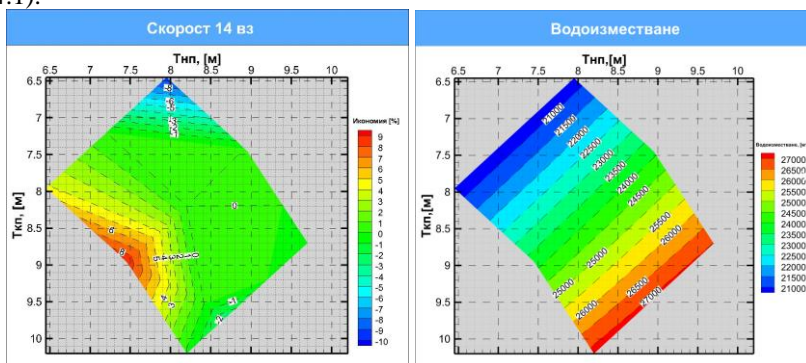
Фигура 6.3.16: Икономия на прогнозирана необходима мощност при случай на натоварване Е3

Фигури 6.3.10 - 6.3.16, представят графично сравнение на получените икономии на мощност при прилагането на трите метода за оптимизация на диферента. От данните може да се направи заключението, че оптималният диферент е в една и съща посока, като това е в сила за методи 1 и 3 при случаи на натоварване В и Е. Оптималният диферент получен по Метод 2 се различава за някои скорости от получените по другите два метода.

6.4. Представяне на данните във вид удобен за практическо ползване.

При наличие на данни за матрица от диференти (експериментално или числено получени) се предлагат два начина за представянето им, позволяващи по-лесна и бърза оценка на влиянието на диферента и оптимизирането му.

Единицата е изготвяне на контурни карти на икономииите на необходимата мощност при различни скорости, които да се ползват паралелно (или насложени) с подобни диаграми за промяна на водоизместването във функция от газенията в носа и кърмата. (фигура 6.4.1).



Фигура 6.4.1: Контурни карти на икономииите на необходимата мощност получени по Метод 1 за скорост 14 възела и на водоизместването във функция от газенията в нос и кърма

Същите данни могат да се ползват и в цифров вид за разработване на програма за определяне на оптимален диферент от гледна точка на необходимата мощност.

Тук е показано едно разработено в EXCEL приложение за оптимизация на диферента. За управляеми променливи в приложението, са приети средното газене и диферента на съответното натоварване. Входни величини, за които се търси оптимален диферент, са скорост на плаване и желано водоизместване. Получените изходни величини са средно газене, разлика в газенията в носа и кърмата, газене в носа, газене в кърмата, крайно водоизместване (равно на зададеното) и минимална необходима мощност.

Икономията на мощност се изчислява с интерполация на получените от моделни изпитвания резултати. За оптимизация се използва добавката на EXCEL Solver.

Фигури 6.4.2 представлява началния прозорец на приложението.

Намиране на оптимално газене и диферент		помощ
Входни величини		
Скорост	15	вз
Желано водоизместване	24000	м ³
Минимум 20625,0 Максимум 27074,0 <i>Тср и ΔТ са управляемите променливи</i> <i>В клетките се задават начални стойности</i> <i>и се връщат оптималните</i>		
Тср	8,261	м
ΔТ	0,042	м
Тп	8,282	м
Ткп	8,240	м
Крайно водоизместване	24000	
РВ мин	4766,3	кВ
Намери		
Ограничения 7,2 и 9,2 Ограничения -1,5 и 1,5		

Фигура 6.4.2. Начален прозорец на разработеното приложение.

Това приложение на EXCEL е дадено само като пример. Подобно може да се разработи във всяка друга платформа.

ИЗВОДИ ОТ ГЛАВА 6

При експерименталните методи за изследване влиянието на диферента, най-достоверни могат да се считат резултатите от Метод 1 (пълни изпитвания за всички варианти), доколкото отчитат влиянието на диферента върху всички компоненти на ходкостта.

Почти във всички случаи прогнозата за снижаване на необходимата мощност по Метод 1 е „най-консервативна“, т.е прогнозира се най-малък ефект.

Метод 2 (буксировъчни само за равен кил, пропульсивни са всички диференти и приемане на форм-фактора и засмукването от изпитвания на равен кил и за другите диференти) и Метод 3 (директна оценка на изменението на мощността само с пропульсивни изпитвания) са по-икономични, но в различна степен negliжират изменението на някои компоненти на ходкостта. Очаквано директният трети метод е най-бърз, но проблемът е, че дава оценка само на относителните ползи/загуби от промяна на диферента в проценти.

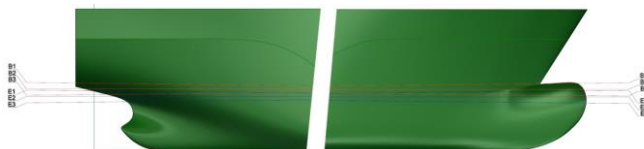
Предложени са два начина за ползване на данните в практиката – графичен и числен, каквито могат да се прилагат за всеки кораб, за който има проведени моделни или числени изследвания за изследване на оптималния диферент на кораба.

Глава 7: Изследване на влиянието на диферента на кораба върху съпротивлението с числени методи (CFD)

Избран като тестов случай за числените симулации е модел 1 на танкер с 19000 т дедвейт. Всички изследвани случаи и резултатите от проведените моделни изпитвания са представени в табличен и графичен вид в Приложение 1, точка 1. Тези данни са използвани като база за сравнение с получените от числените изследвания резултати, тъй като, за спестяване на изчислително време, тестовият случай е в моделен мащаб при числените симулации. Изследваните случаи на диферент са показани в таблица 7.4.2 и фигура 7.4.2, за скорости 10,11 и 14 възела.

Таблица 7.4.2: Случаи на натоварване

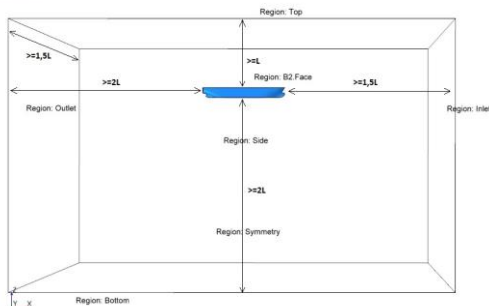
Случай	Диферент		$T_{кп}$	$T_{ин}$	$T_{средно}$
		[м]	[м]	[м]	[м]
B1	1.5	Диферент на кърма	8.95	7.45	8.2
B2	0	Равен кил	8.2	8.2	8.2
B3	-1.5	Диферент на нос	7.45	8.95	8.2
E1	1.5	Диферент на кърма	7.95	6.45	7.2
E2	0	Равен кил	7.2	7.2	7.2
E3	-1.5	Диферент на нос	6.45	7.95	7.2



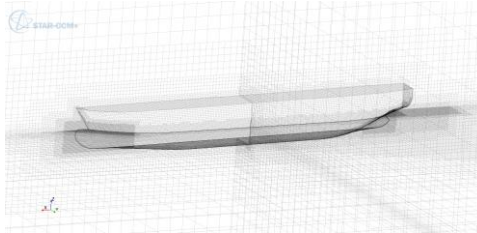
Фигура 7.4.2: Изследвани газене и диференти на кораба

Постановка на модела за числени симулации.

Фигура 7.3.1 показва дефинираната флуидна област, а фигура 7.3.3 - генерираната мрежа. Сравнени са резултатите от прилагане на два турбулентни модела $k-\epsilon$ и $k-\omega$.



Фигура 7.3.1: Изчислителна флуидна област



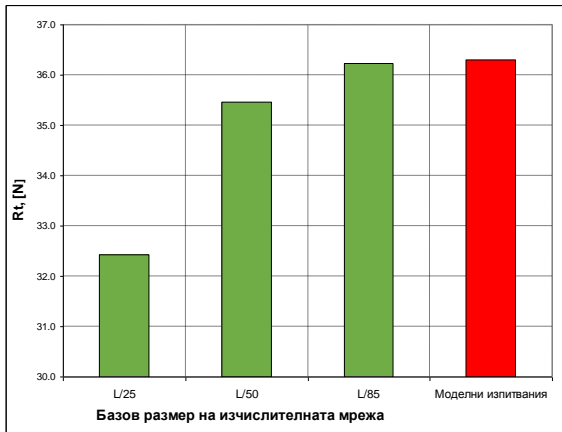
Фигура 7.3.3: Генерирана мрежа в близост до корпуса

Предварително е изследвана сходимостта на численото решение по отношение на гъстотата на изчислителната мрежа. За целта случая E2 при скорост 14 взела е изчислен с различни размери на клетките (флуидните обеми). В STAR-CCM+ гъстотата на мрежата се управлява глобално със задаване на „базов размер на клетката“ (base size), спрямо който се определят размерите на клетките в различните райони на изчислителната област. Базовият размер се задава като част от дължината на кораба. Тествани са три базови размера (таблица 7.4.1):

Таблица 7.4.1: Резултати от тестваните случаи на различни базови размери

Базов размер		RT, [N]	Брой клетки
L/25	0.2366	32.435	349 444
L/50	0.1230	35.462	1 335 554
L/85	0.0696	36.238	5 557 832
Моделни изпитвания		36.311	

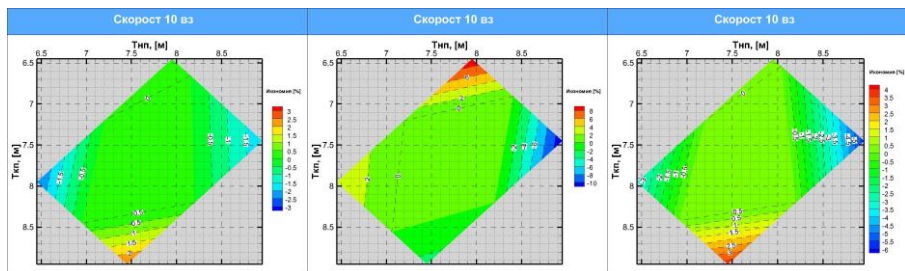
Резултатите са илюстрирани на следващата фигура:



Фигура 7.4.1: Резултати от тестваните случаи на различни базови размери и моделни изпитвания

Като компромис между адекватност на прогнозата и икономия на компютърно време в проведените изследвания е ползвана мрежа с базов размер $L/50$.

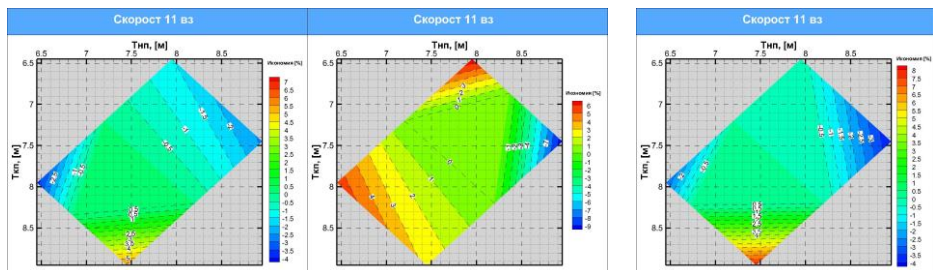
Сравнения на моделните резултати за ефекта на диферента върху съпротивлението и резултатите от числените симулации с изследваните турбулентни модели са представени графично в контурни графики на фигури 7.4.9, 7.4.10, 7.4.11 - за 10 възела , фигури 7.4.12, 7.4.13, 7.4.14 - за 11 възела и фигури 7.4.15, 7.4.16, 7.4.17 - за 14 възела.



Фигура 7.4.9: Икономия на буксировъчна мощност получена от моделни изпитвания - 10 въз

Фигура 7.4.10: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Epsilon) - 10 въз

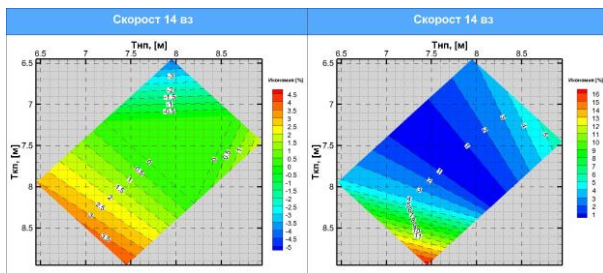
Фигура 7.4.11: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Omega) - 10 въз



Фигура 7.4.12: Икономия на буксировъчна мощност получена от моделни изпитвания - 11 въз

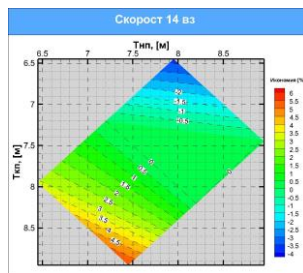
Фигура 7.4.13: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Epsilon) - 11 въз

Фигура 7.4.14: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Omega) - 11 въз



Фигура 7.4.15: Икономия на буксировъчна мощност получена от моделни изпитвания - 14 въз

Фигура 7.4.16: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Epsilon) - 14 въз

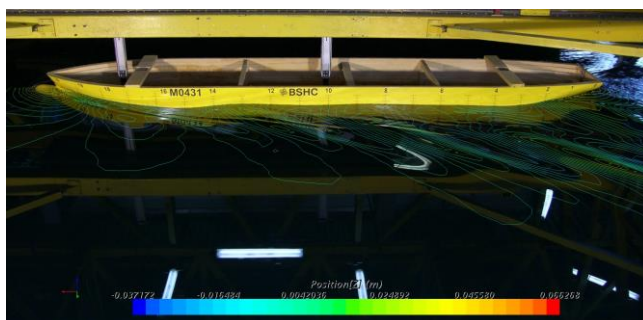


Фигура 7.4.17: Икономия на буксировъчна мощност получена от числени симулации (модел -k-Omega) - 14 въз

Визуализация на вълновата картина за случай на натоварване B2 и скорост 14 възела от моделните изпитвания и проведените числени симулации е представена на фигури 7.4.18, 7.4.19 и 7.4.20. Визуализация на носовата вълнова картина за всички изследвани случаи е представена в Приложение 3. На фигура 7.4.18 е сравнена вълновата картина от моделните изпитвания и числените симулации.

В Приложение 3 са приведени фигури, показващи детайли от характерната област на потока около носовия булб. Фигура 7.4.21 е една такава илюстрация.

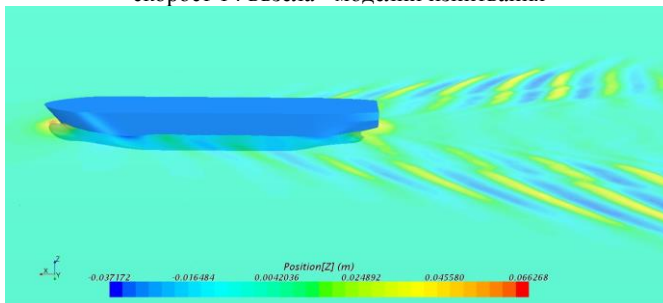
На всички фигури, визуализиращи вълнообразуването на кораба, се вижда, че то се моделира адекватно.



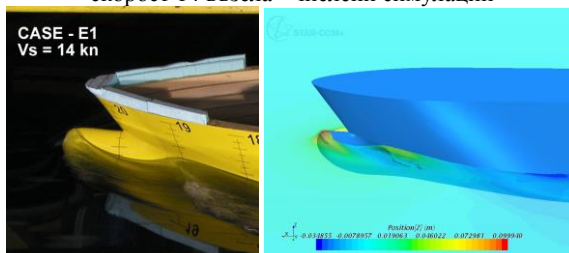
Фигура 7.4.18: Визуализация на вълновата картина за случай на натоварване B2 при скорост 14 възела - от моделни изпитвания и числени симулации



Фигура 7.4.19: Визуализация на вълновата картина за случай на натоварване B2 при скорост 14 възела - моделни изпитвания



Фигура 7.4.20: Визуализация на вълновата картина за случай на натоварване B2 при скорост 14 възела - числени симулации



Фигура 7.4.21: Визуализация на вълновата картина за случай на натоварване E1 при скорост 14 възела

ИЗВОДИ НА ГЛАВА 7

От получените резултати представени в табличен и графичен вид за изследваните случаи на диферент и скорости, се забелязва значителна количествена разлика в крайния резултат между резултатите получени от моделни изпитвания и числени симулации с приложение на турбулентен модел k-Epsilon (до -16,4 % разлика в буксировъчна мощност при 14 възела). Докато количествените разлики между моделните изпитвания и числените симулации с приложение на турбулентен модел k-Omega са от 0,45% за скорост 14 възела до 7,92% за скорост 10 възела. Според изводите на симпозиума в Гьотеборг през 2010, при изчислителна мрежа с по-малко от 3 милиона клетки допустимата грешка от числените симулации е около $\pm 4\%$ спрямо резултатите от моделни изпитвания, а за мрежи с брой клетки като изследваните, допустимата грешка е $\pm 8\%$.

В изследваните случаи на диферент числените симулации с турбулентен модел k-Omega дават по-адекватни количествени и качествени резултати за изменението на икономииите на буксировъчна мощност, получено от моделните изпитвания, отколкото числените симулации с турбулентен модел k-Epsilon.

Получените числени резултати с приложение на двата турбулентни модела по отношение на буксировъчното съпротивление могат да се считат за приемливи, когато става въпрос за прогноза на съпротивлението в отделен случай (корабна форма и газене). Когато се касае, обаче, до отразяване на влиянието на малки изменения на някой параметър върху съпротивлението, количествено и качествено по-адекватни резултати се получават с приложение на турбулентен модел k-Omega. Което означава, че получените резултати с тази методика, могат да предоставят реална оценка на редуцираните разходи.

Вълнообразуването на кораба се моделира адекватно от приложения числен модел и софтуер.

Основни изводи и приложения за практиката

- В дисертационния труд е направен сбор на данни от моделни изпитвания за оптимизация на диферента за 5 кораба налични от базата на ЦХА - Варна. Резултатите са обобщени и анализирани, откъдето се установява, че при кораби с различни размери и най-вече форми, влиянието на диферента върху ходовите характеристика на кораба е различно и зависи от скоростта на движение.

- Влиянието на диферента се обяснява с физиката на обтичането на корпуса, която е изследвана в дисертацията. На базата на изследванията, свързани с изменението на диферента, обтичането на корпуса и компонентите на съпротивлението на кораба, могат да се направят изводи, че:

- Промяната на диферента оказва най-голямо влияние върху пълното съпротивление на кораба (приблизително 85% от ефекта). Изменението на остатъчното съпротивление оказва най-съществено влияние върху промяната на съпротивлението на кораба. Значимо влияние върху мощността имат и факторите формиращи пропульсивния коефициент. Най-силно влияние оказват коефициента на попътен поток и коефициентът на засмукване.

- При кораби с носови булб пресичащ свободната повърхност, вълнообразуването има специфични характеристики, които се отразяват като локален минимум и локален максимум в кривата на вълновото съпротивление. От проведените изследвания е установено, че положението им по F_n зависи от потапянето на булба при тиха вода и кривината на водолинията пресичаща булба във форщевена.

- Изследвано е също и влиянието на диферента върху вискозното съпротивление и по-специално форм-факторът, стига се до извода, че вискозното съпротивление зависи от формата на кърмата. За изследваните случаи форм-факторът корелира силно с кривината на прехода към кърмово заостряне на строевата по ребра

- От направения анализ на глобалните ограничения върху оптимизацията на диферента следва, че преди началото на оптимизация на диферента, експериментално или числено, те трябва да се вземат под внимание. Глобалните съображения се изразяват в:

- реализуемост и допустимост за баластиране до конкретно натоварване;

- избягване на слеминг;
- потапяне на гребния винт;
- видимост от мостика;
- надводен борд и
- огъващи моменти и срязващи сили.

- С цел намаляване на времето за моделни изпитвания са анализирани три експериментални метода. Най-достоверни могат да се считат резултатите получени от Метод 1 - с пълни буксировъчни и пропульсивни изпитвания за всички изследвани диференти, при който прогнозата за снижаване на необходимата мощност е най-консервативна. Метод 2 - с провеждане на буксировъчно изпитване само за равен кил при всяко натоварване и пропульсивни изпитвания за всички случаи на диферент и Метод 3 - с директна оценка на изменението на мощността само с пропульсивни изпитвания, са по-икономични, но в различна степен negliжират изменението на някои компоненти на ходността. Очаквано директният метод е най-бърз, но проблемът е, че дава оценка само на относителните ползи/загуби от промяната на диферента.

- Проведени са числени изследвания с приложение на два турбулентни модела за изследване на влиянието на диферента върху ходовите качества на кораба. От получените резултати за изследване на случаи на диферент при различни скорости, се забелязва значителна количествена разлика между резултатите получени от моделни изпитвания и числените симулации с приложение на турбулентен модел k- ϵ (до -16,4% разлика в буксировъчна мощност при скорост 14 възела). Допустимите грешки при числени симулации с използваната изчислителна мрежа с размер под 3 милиона клетки са $\pm 8\%$, в които влизат разликите между моделните резултати и числените симулации с приложение на турбулентен модел k- ω (максимална разлика от 7,92% при скорост 10 възела).

- По отношение на буксировъчното съпротивление и двата модела се считат за приемливи за прогноза на съпротивлението, когато се отнасят за отделна корабна форма или за конкретно газене на кораба.

- Когато се касае, обаче, до отразяване на влиянието на малки изменение на диферента върху съпротивлението, числените симулации с турбулентен модел k- Ω дават по-адекватни количествени и качествени резултати за изменението на икономии на буксировъчна мощност, получено от моделните изпитвания, отколкото числените симулации с турбулентен модел k-Epsilon.

- Получените разлики между резултатите от експерименталните и числените методи на изследване с приложение на турбулентен модел k- Ω , са в допустимите граници, което означава, че с тази методика могат да се предостави реална оценка на редуцираните разходи и да заместят експерименталните методи с цел икономия на разходи и време.

- Вълнообразуването на кораба се моделира адекватно от приложения числен модел и софтуер.

- В дисертационния труд са предложени и два начина за ползване на получените данни от експериментални или числени изследвания в практиката - графичен и числен, каквито могат да се прилагат за всеки кораб.

Приноси по дисертационния труд

- *Научни приноси*
 - Изследване на физиката на явленията свързани с изменението на диферента на кораба и извличане на зависимости от геометрични параметри на корпуса.
 - Изследване на влиянието на числената мрежа, турбулентните модели и други настройки на CFD алгоритъма при численото определяне на съпротивлението при променлив диферент.
- *Научно-приложни приноси*
 - Систематизиране и обобщаване на общопроектните ограничения върху оптимизация на диферента.
 - Систематизиране и оценка на експерименталните методи за определяне на ефекта на диферента върху ходкостта.
 - Предлагане и разработване на способности за представяне и практическо ползване на данни от систематични изчисления или моделни изпитания на кораб с променлив диферент.
- *Приложни приноси*
 - Сбор и обобщаване на експериментални данни от изпитания с вариране на газенето и диферента.
 - Очертаване на насоки за бъдещи изследвания по темата

Насоки за по-нататъшни изследвания и разработки по темата

- Числено изследване на влиянието на диферента върху скоростното поле зад корпуса и валидация на резултатите с експериментални данни от измерване на скоростното поле в диска на винта и коефициента на попятния поток от пропульсивни изпитания.
- Числено изследване на влиянието на диферента върху засмукването при работещ гребен винт и валидация на резултатите с експериментални данни от пропульсивни изпитания.
- Проучване на структурата и организацията на бордовите системи за управление на кораба и начините за интегриране в тях на оптимизатор на диферента.
- Изследване на влиянието на потапянето на транцева кърма върху съпротивлението на кораба.

ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ

Декларирам, че настоящата дисертация е авторски продукт.

Чужди публикации и разработки не са ползвани в нарушение на авторски права и е положено старание да се цитират добросъвестно.

При разработването, оформлението и отпечатването на дисертационния труд са използвани лицензирани комерсиални програмни продукти на Microsoft® и други програмни продукти лицензирани за ползване от ИМСТЦХА-Варна.

Числените симулации на течения на вискозна течност със свободна повърхност при високи числа на Рейнолдс са реализирани със софтуера STAR CCM+® и добавката към него за оценка на ходовите качества на кораба – ЕНР. Контурните графики на влиянието на диферента върху съпротивлението са построени с програмата TecPlot®.

Ползваните експериментални данни естествено са дело на голям колектив от ИМСТЦХА-Варна, а само систематизирането и анализът им са мое дело.

Публикации по дисертационния труд

1. Vasileva A. Trim optimization of ship using model tests and CFD calculations, - "Engineering sciences" LIII, 2016, No.4, pp 52-62, ISSN 1312-5702
2. Vasileva A. Study of the Effect of Trim on Ship Powering Performance, International Journal of Machines, Technologies, Materials, Year IX, Issue 7/2015, pp.21-24, 2015 ISSN 1313-0226
3. Vasileva A. Study of the Effect of Trim on Ship Powering Performance, International Conference Trans&MOTAUTO'15, 24-27.06.2015 - Varna-Bulgaria, Proc. of the Conference, vol.3, pp.(151-154), ISSN:1310-3946
4. Kyulevcheliev S., Vasileva A., Georgiev S., Features of Resistance and Flow Around Ships at Varied Draft and Trim, 12-th International Conference Black Sea 2014, 25-27 September, Varna, Bulgaria, ISSN 1314-0957, pp. 120 – 123

5. Kyulevcheliev S., Vasileva A., Multi-Objective Consideration of Ship Trim Optimization, 12-th International Conference Black Sea 2014, 25-27 September, Varna, Bulgaria, ISSN 1314-0957, pp. 99 – 103

6. Кюлевчелиев С., Василева А., ТУ-Варна, Георгиев С., ЦХА-БАН, Хидродинамични средства за повишаване на енергийната ефективност на корабите, Известия на СУБ – Варна, Серия "Технически науки" 2013, ISSN 1310-5833-1'2013

7. Kyulevcheliev S., Vasileva A., Features of Ship Flow and Resistance in Case of Bow bulb Close to or Intersecting the Free Surface, Годишник на ТУ – Варна, Том 3, ISSN:1311-896X, Vol. 3, 2013

Благодарности

Изразявам своята сърдечна благодарност на ръководството на ЦХА-Варна за предоставения достъп до експериментални данни и ползването на програмни продукти, собственост на Центъра.

Благодаря и на всички сътрудници (вече колеги и приятели) на ЦХА за оказаната помощ при анализа на експерименталните данни и в усвояването на използваните софтуерни продукти.

Благодаря на Българската Академия на Науките за предоставената ми възможност за развитие чрез участие в „Програмата за подпомагане на младите учени в БАН“ с проект „Числено изследване на влиянието на диферента върху ходовите качества на кораба“.

Благодарности на Технически Университет Варна за възможността за развитие, чрез участи е Проект - BG051PO001-3.3.06-0005: “Развитие потенциала на докторанти, постдокторанти, млади учени и специализанти от инженерните науки в ТУ Варна и техния принос за развитие на икономика, базирана на знанието” към Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“.

Специални благодарности за безценната помощ и подкрепа на ръководителя ми доц. Стефан Кюлевчелиев.

Study of the effect of trim on the powering performance of ships

Abstract

The thesis is dedicated to the effect of trim and draft on ship powering performance as one of the means of increasing its energy efficiency. The investigations comprise collection and analysis of model tests data, evaluation of the experimental procedures for estimating trim effect on powering, and numerical simulations by CFD.

Chapter One reviews the methods for increasing ship energy efficiency gaining renewed attention with the implementation of the measures for reducing GHG emissions by shipping. Trim optimization is one of the operational measures. The methods for studying the effects of trim are summarized. The objective and tasks of the thesis are formulated.

The physics of the trim hydrodynamic effects are analyzed in Chapter Three using model test data acquired at BSHC. It has been established that the effect of trim on ship resistance is the greatest (about 85% of the total effect) but influence on the propulsive factors is not to be neglected.

Experimental observations and measurements of some features of the flow around the hull with trim variation have been analyzed and correlated to certain geometrical parameters of the hull form.

In case of ships with bow bulb close to or intersecting the free surface there are some specific features of the wave making, and wave-resistance consecutively. These are found to correlate well with the submergence of the bulb and the curvature of the bulb waterline.

The change of the viscous form-factor with trim has been correlated with the curvature of the prismatic curve at the junction between parallel mid-body and run.

The trim optimization is done, experimentally or computationally, basically with respect to powering performance. There are, however, additional considerations related to ship operation, which have to be taken into account as constraints: feasibility and admissibility of trimming, slamming, propeller immersion, bridge visibility, free board requirements, bending moments and shear forces. These factors are discussed and summarized in Chapter Four.

Chapter Five gives general presentation of the collected model test data of BSHC. They are given in details in Appendix 1.

Three possible experimental procedures for investigating the effect of trim on powering performance are analyzed in Chapter Six with respect to prediction accuracy and time consumption. The comparison of the results of the three procedures for a specific tested ship is given in Appendix 2.

The results obtained from complete resistance and self-propulsion tests with all investigated drafts and trims can be considered most reliable. In this case the prediction of the energy savings by trim optimization turns out to be most conservative. The procedure involving resistance tests at even keel only and self-propulsion tests for all trims, as well as the direct method of self-propulsion tests only, are more economical but to different extents neglect the variation of some of the powering components.

This chapter also proposes two ways of using experimental or numerical results in navigation practice – a graphical and numerical one, applicable to every ship.

Chapter Seven is dedicated to the application of CFD for investigation and optimization of trim. The objective of this approach to the problem is to replace or complement the experiments saving time and resources.

The CFD simulations carried out in the thesis are focused on ship resistance, which is the basic element of powering and the most strongly affected by trim.

The software product STAR CCM+, including the add-in EHP (Estimating Hull Performance), is used for the numerical simulation.

The influence of mesh size and turbulent model on the results has been investigated. Regarding the prediction of resistance both turbulent models can be considered acceptable according to today's standards when a specific hull form and trim is concerned. When, however, it goes about estimating the effect of trim variation on resistance, the application of k- ω turbulence model gives more adequate results most qualitatively and quantitatively,

The comparison of experimental and numerical results shows that the discrepancies are within acceptable limits. This means that CFD can give realistic estimation of the energy savings by trim optimization and complement model testing for economy of time and resources.