

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Йордан Стефанов Денев

**Проектиране и строителство на кораба в
условията на корабостроително малко и
средно предприятие**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за получаване на
образователна и научна степен
“доктор”**

**по докторска програма „Корабостроене и кораборемонт“
към професионално направление
5.5. Транспорт , корабоплаване и авиация**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Петър Георгиев

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Румен Кишев
2. доц. д-р инж. Георги Парашкевов

Варна, 2021

Дисертационният труд е обсъден на 02.12.2021 в катедра “Корабостроене, корабни машини и механизми“ и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра “Корабостроене, корабни машини и механизми”.

Автор: Йордан Стефанов Денев

Заглавие: Проектиране и строителство на кораба в условията на корабостроително малко и средно предприятие

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ ВАРНА

инж. Йордан Стефанов Денев

**Проектиране и строителство на кораба в
условията на корабостроително малко и
средно предприятие**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна
и научна степен, „доктор“**

Варна, 2021

Дисертационния труд съдържа 137 страници, включително 92.фигури, 32 таблици оформени в пет глави, общи изводи и списък с използвана литература от 139 заглавия, от които 27 на кирилица 115 на латиница и 7 интернет сайта.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на от ч. в на открито заседание на жури (или в електронна среда) формирано със заповед на Ректора No.....

Материалите по защитата (автореферат, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се на интернет сайта на Докторантски център.

Характеристика на дисертационния труд.

Актуалност на проблема

Дисертационният труд разглежда две от стратегическите направления на Европейския Съюз (ЕС), които са във фокуса на Европейската комисия (ЕК): развитието на морския транспорт на къси разстояния (МТКР) и подкрепата за малките и средни предприятия (МСП) в Европа.

До 2050 МТКР има сериозна роля за постигането на транспортната цел на ЕС за намаляване с 60 % на емисиите на парникови газове, генерирани от транспорта, и до 2030 прехвърлянето на 30 % от автомобилния товарен превоз на разстояние над 300 км към други видове транспорт¹.

За да възвърне своите традиции в корабостроенето, Европа разчита на МСП. Законодателният акт за малкия бизнес „Мисли първо за малките!“²: от 2008 е стъпка в посока изграждането на Европа на предприемачите, с по-малко забрани и по-голямо зачитане на желанията на 23-те милиона МСП. Публикуваната през 2020 „Стратегия за мястото на МСП в устойчива и цифрова Европа“³ дефинира действия основани на три стълба: изграждане на капацитет и подкрепа за прехода към устойчиво развитие и цифровизация; намаляване на регулаторната тежест и подобряване на достъпа до пазара; по-добър достъп до финансиране.

Непрекъснато повишаващата се конкуренция е основна характеристика на корабостроенето от години. Макар, че центърът за строителство на транспортните кораби се измести в Азия, корабостроенето остава стратегически сектор за Европа и през следващите години. Стремехът на Европа е да се дадат нови технологии и иновативни решения за корабостроителници от типа МСП, които да дадат настояще за голям брой млади хора и възстановят позициите на Европа в сектора.

С развитието на съвременните софтуерни продукти, задачата свързана с проектирането и строителството на кораба не изисква съществен ресурс от време. Процеси като прототипиране, поддържане на база от данни за характеристики на кораби, използване на триизмерни модели и симулационна техника, използването на подизпълнители са в основата на съвременното проектиране и строителство.

През последните години, към класическите оптимизационни методи за търсене на проектни решение за удовлетворяване на технически и икономически критерии, се добавиха и такива, свързани с енергийната-ефективност на корабите и намаляване емисиите на парникови газове в атмосферата.

Цел и задачи на изследването.

Цел на дисертационния труд: *Да се предложи методика за ефективно проектиране и технологични схеми за строителство на кораби за морски транспорт на къси разстояния в условията на МСП, чрез отчитане възможни ограничения в съоръженията за строителство, с прилагане на елементи на унификация и многокритериално вземане на решение.*

Задачи, с решаването на които да се постигне целта са:

¹ https://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/short_sea_shipping_en

² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/bg/IP_08_1003

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0103&from=EN>

- да се разработи методика отчитаща ограничения свързани с параметри на съоръженията за строителство на кораби;
- методиката да се тества чрез концептуален проект на група многоцелеви транспортни кораби (МТК);
- да се анализират експлоатационните качества на корабите от двете групи и са направят изводи относно влияние на ограниченията в оборудването на МСП;
- да се изследва ефекта от унифициране на главни размери и раздели от натоварването за групата МТК;
- да се изследва възможността за прилагане на различни технологични схеми за постройка на серията кораби, адаптирани към конкретните производствени условия на МСП;
- да се дефинират критерии и извърши многокритериален анализ на проектно-технологичните решения на групата МТК;

Обект на изследването.

Обект на изследване в дисертационния труд са проектно-технологичните и функционални характеристики на кораба отнесени към производствените условия на малко и средно корабостроително предприятие.

Място на изследването.

Изследванията са направени в катедра „Корабостроене, корабни машини и механизми“ към Корабостроителен факултет на Технически университет- Варна

Методи на изследването.

За решаване на поставените задачи са използвани:

- многокритериални методи за оценка на проектно-технологичните решения в етапа на концептуално проектиране на кораба;
- статистическа обработка на информацията;
- системата за концептуално проектиране „*Expert*“ ;
- софтуер за моделиране на конструкциите на кораба „*MARS 2000*“;
- софтуер за генериране на корабната форма „*PolyCAD*“ и *FREEShip!*

Научна и практична новост.

За научна новост се отчитат направените изследвания и анализи за влиянието на ограниченията в производствените условия на МСП, които да допълнят изследвания от други автори за класически корабостроителни предприятия.

Апробация на резултатите

Резултатите са публикувани в издания както следва:

- Две статии в издания реферирани в SCOPUS: *Progress in Maritime Engineering and Technology* – Guedes Soares & Santos (Eds.) и *Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies*, - P. Georgiev & C. Guedes Soares (Eds);

- Две статии в издания в България - *Strategy of Quality in Industry and Education*- ISBN 978-617-7433-81-0 и „Известия на Съюза на учените - Варна”, Секция, „Технически науки” ISSN 1310-5833

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В Първа глава са анализирани аспектите, които имат връзка с посочените две стратегически направления, които са и мотивацията за провеждане на изследванията.

Разгледано е състоянието на МТКР от няколко страни: обем на превозваните чрез МТКР товари за последните 15 години; техническото състояние на използвания флот от около 4,300 кораба; изменението в посока на постоянно покачване на товарните ставки за последната година и половина; потенциала на корабостроителната индустрия в района на Източното Средиземноморие и Черно море. Потенциалът е описан чрез производствените мощности на 46 корабостроителни и кораборемонтни предприятия, от 6 държави: България, Гърция, Румъния, Русия, Турция, Украйна с общо 117 производствените мощности: наливни докове, плаващи докове; релсови стапели.

Съвременното корабостроене и корабоплаване трябва да отговаря на нови екологични изисквания, свързани с намаляване на емисиите на парникови газове от морския транспорт. Това е обширна тема и изследванията и търсенето на нови решения се извършва при концептуалното проектиране на кораба, въвеждането на нови технологии и видове горива за корабните силови уредби и практични решения за съществуващите кораби. Изложени са принципните положения според които можем да говорим за промяна на парадигмата при проектирането на кораба. Към традиционните технически и икономически критерии се добавят и екологични, които могат да имат определящо влияние, особено за корабите от МТКР.

Малките и средни предприятия са гръбнакът на европейската и българската икономика. Те представляват 99% от бизнеса в ЕС с около 100 милиона заети лица . МСП осигуряват повече от половината брутен вътрешен продукт на Европа и имат важна роля в редица икономически сектори. Представени са дефиниции - включително и за страни извън ЕС и са структурирани основните проблеми пред МСП. Описанието е допълнено с характеристиките на МСП за строителство на среднотонажни кораби. От регистъра на МСП в България е установено, че в областта на проектирането и строителство на кораби в България има около 32 предприятия с дейност свързана с отрасъла. Представени са секторите, разделите и класовете от КИД-2008, характерни за корабостроителната и кораборемонтна дейност.

Описани са съвременни подходи за повишаване на ефективността при проектиране и строителство на кораба. Понастоящем, проектирането на кораба се дефинира като „*Design for X*”, като „X“ е специфичен фокус от същността на проектирания продукт. „X” може да бъде: производство, монтаж, разходи, простота, поддръжка, околна среда, безопасност, здравина, шест сигма и др. Разгледани и анализирани са аспектите на „*Проектиране съобразено с производството*“ (*Design for Manufacturing*)

Един от методите за повишаване на ефективността при проектиране и строителство на кораба е модулното корабостроене. Модуларизацията води до

простота и улеснява производствения процес. Направен е преглед на приложенията в различни области на корабостроенето, като са отбелязани и успехите в това направление и в България.

При анализа на проблемите на МСП, като жизнена необходимост за тях е посочено внедряване и използване на специализиран софтуер за бърза оценка на решенията, както и специализиран софтуер пряко касаещ производството. В тази връзка е изследвано използването на многокритериалните методи за вземане на решения (ММВР) свързани с кораба. Този подход има естествено приложение в корабостроенето, което по своята същност представлява избор на една от много алтернативи, най-често съпроводен с неопределеност от различно естество.

Изводи към глава първа:

От анализът на съвременното състояние на проблема относно приетите стратегически за Европа направления – морски транспорт на къси разстояния и възможностите за развитие на малките и средни предприятия са направени следните изводи:

1. Общото бруто тегло на превозени чрез МТКР товари след 2009 година (годината на световната икономическа криза) непрекъснато се увеличава;
2. Флотът от кораби за насипни и генерални товари с общ дедукт над 19 млн. тона използван в Европа за МТКР е на значителна възраст, като 10% от тонажа са кораби регистрирани в рискови администрации с класификационни организации с лоша репутация. Тенденцията за високи стойности на товарните ставки и увеличаване на количеството превозвани стоки от една страна и ниски цени на горивата, предполагат въвеждане в експлоатация на нови кораби;
3. При проектирането на новите кораби трябва да се изпълнят новите международни изисквания за екологични и енергийно-ефективни кораби. Това е от значение за корабите от МТКР, които оперират в защитени от емисии зони, където се използва по-скъпо гориво с ниско съдържание на сяра и корабните оператори имат нужда от евтини и с нисък разход на гориво кораби;
4. В района на Източното Средиземноморие и Черно море са анализирани 117 производствени мощности в корабостроителни предприятия, което води до заключението, че е налице капацитет за ново строителство на кораби за МТКР. Такъв капацитет има и в България със своите общо 9 действащи съоръжения, и въпросът е има ли място за такова строителство в условията на МСП в България;
5. Отчетена е непрекъснатата дейност на ЕК по отношение на стимулиране на МСП, като са изяснени и трудностите пред тях. Наред с организационните - свързани с мащаба, МСП имат и ограничения от гледна точка на геометрични и функционални характеристики на производствените участъци. Те се нуждаят от прилагането на различни подходи за увеличаване на производителността при проектирането и строителството на кораба;

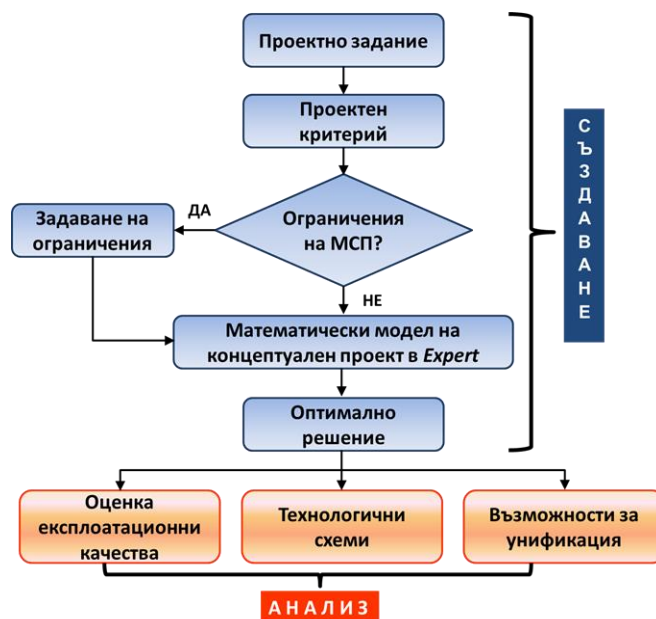
6. Направена е класификационна разбивка на малките и средния предприятия в България, занимаващи се със строителство, ремонт и проектиране на плавателни съдове;
7. Прилагането на подхода *Design for Manufacturing* и модулното строителство на кораба предоставят различни принципни решения, които да се приложат при разработване на нови технологични схеми за строителство на кораба в условията на МСП;
8. Методите за многокритериално вземане на решения се прилагат в етапите от жизнения цикъл на кораба. Тези методи следва да се част от практиката на МСП. При отсъствие на специализирани отдели за анализи и стратегии решенията трябва да се вземат бързо, при наличната информация и чрез не скъпо струващи изчислителни средства.

Глава 2. ПРОЕКТИРАНЕ НА КОРАБА В УСЛОВИЯТА НА МСП

2.1. Основни елементи на методиката

В изпълнение на една от задачите на дисертационния труд е предложена методика за проектиране съобразена с МСП със следните стъпки (

Фиг. 1):



Фиг. 1. Схема на методиката за проектиране на кораба в условията на МСП (Фиг.20)⁴

Проектно задание: Разработва се от клиента и съдържа минимум следните данни: тип на кораба; дедуейт; скорост на кораба; далечина на плаване; брой на екипажа; район и автономност на плаване. Поради съвременните екологични изисквания, проектното задание може да съдържа изисквания за: нов тип на енергетичната уредба; тип на горивото; системата за третиране на баластните води и др.

Проектен критерий и ограничения: За целева функция при проектирането на кораба се използва един от икономическите показатели: Приведени разходи за

⁴ В скоби след надписа на фигурата е даден съответния номер от дисертационния труд

превозване на 1 тон товар (*Required Freight Rate -RFR*, €/t), Годишна печалба (*Pr*), €/t, Рентабилност (*Re*), %. Към тези критерии трябва да се добавят във вид на ограничения и изискванията за енергийна ефективност. Проектните ограничения условно се разделят на:

- Вътрешни - ограничения подложени на непрекъснато уточняване;
- Външни- наложени от външната среда с относителна стабилност.

Последните ограничения са и обект на представените изследвания.

Математически модел и оптимално решение: Използва се количествен системен анализ, приложим при концептуалното проектиране следвайки алгоритъм, предложен от *Wagner*⁵ и реализиран в компютърната система *Expert* при следните етапи: Формулиране и анализ на проектното задание; Разработване на математическия модел на обекта; Определяне на ограничителните условия на задачата; Избор на критерий за оценка на проектното решение; Процедура за търсене на проектно решение; Оценка и анализ на проектното решение. Програмната система *Expert* е създадена в катедра „Корабостроене“ на Технически университет – Варна⁶.

Анализ. В МСП при наложени ограничения от наличното оборудване е важно да се съпоставят качествата на кораби проектирани при отчитане и без отчитане на ограниченията. Анализът на две групи кораби ще покаже възможността в МСП да се строят кораби с необходимите за експлоатацията качества въпреки съществуващи ограничения, да се съпоставят технологични схеми, както и да се оцени ефекта от приложената унификация. Това е в отговор на поставените в дисертационния труд задачи.

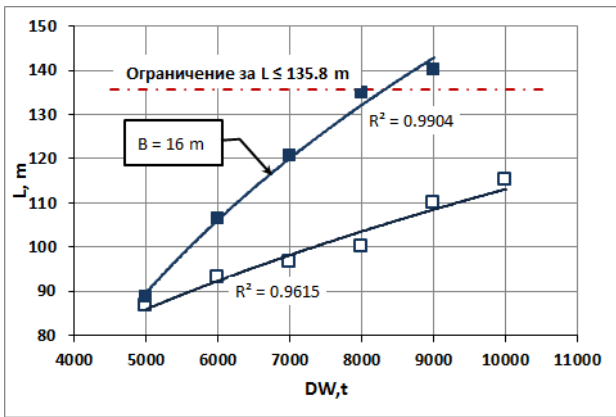
2.2. Концептуален проект на група МТК

Чрез предложената методика са разработени две групи МТК, с дедеуейт в диапазона 5,000–8,000 tDW. Управляеми параметри при оптимизацията са: дължина между перпендикулярите (*L*); широчина (*B*); височина на борда (*D*); газене (*d*) и коефициент на обща пълнота (*Cb*). За целева функция е прието минимални приведени разходи за 1 тон товар (*RFR*). Ограничението е в широчината на кораба $B=16$ m, продиктувано от параметрите на построечно-спусковото съоръжение (ПСС). Проектните решения за двете групи са представени на Фиг. 2 до Фиг. 6. След определяне на главните размери са развити и следващи стъпки от проекта.

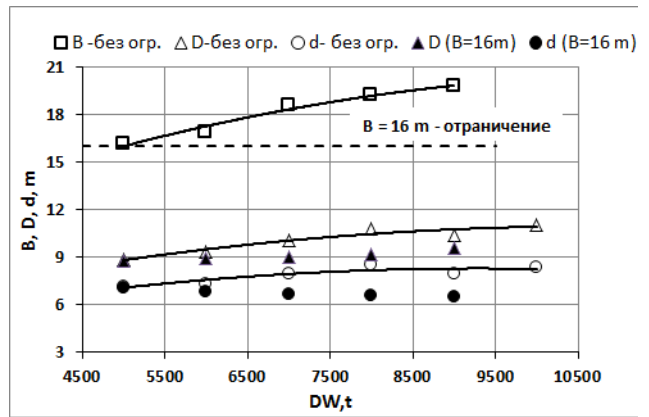
Корабна форма. Оценката на експлоатационните качества се базира на трансформирана съществуваща корабна форма. Приложена е дву-стъпкова трансформация по Метода на мащабирането и Метода на *Lackenby* чрез програма *FREE!Ship*. В първата стъпка, се прави трансформация на главните размери, а във втората се достига до проектната стойност на коефициента на обща пълнота (Фиг. 7 и Фиг. 8)

⁵ Колев П.Н., Методи за оптимизация в началните стадии на проектиране на кораба, Корабостроене и корабоплаване, №7, Варна, 1972

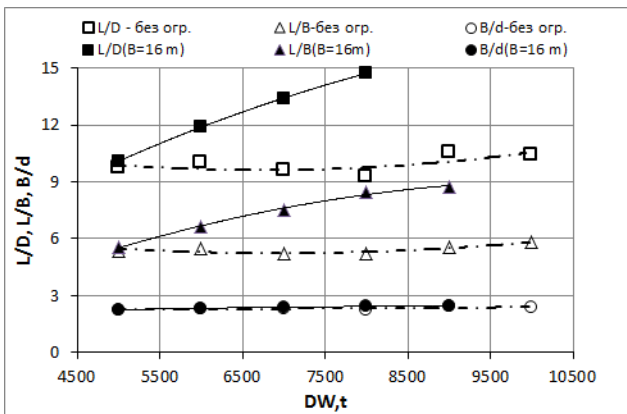
⁶ В използваната версия на системата не са въведени екологичните ограничения



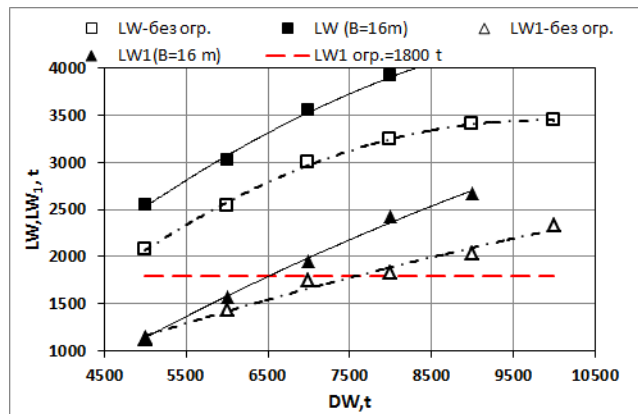
Фиг. 2. Изменение на дължината (L) за двете групи (23)



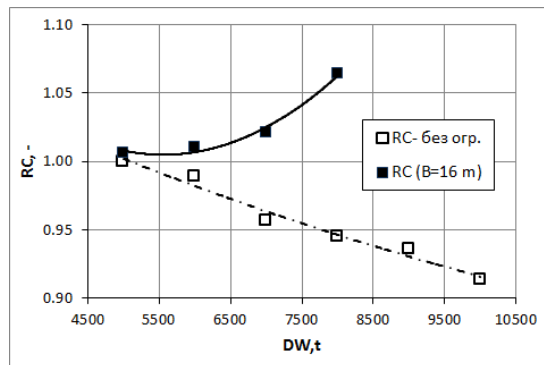
Фиг. 3. Изменение на широчината (B), височината на борда (D) и газенето (d) за двете групи (26)



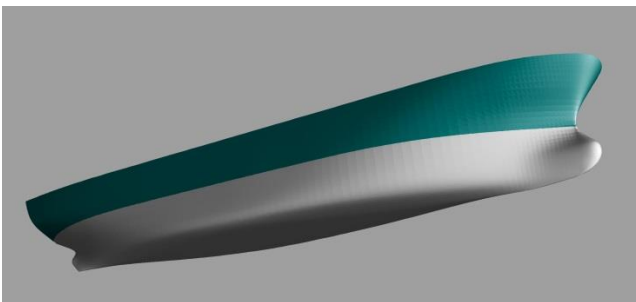
Фиг. 4. Изменение на относителните главни размери (27)



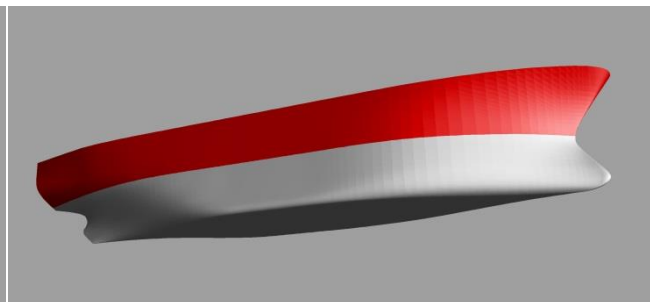
Фиг. 5. Изменение на масата на кораба празен (LW) и спусковото тегло (LW₁) (28)



Фиг. 6. Относителни CAPEX за двете групи кораби (29)



Фиг. 7. Корабна форма на 5,000 DWT кораб с ограничена широчина (28)



Фиг. 8. Корабна форма на 8,000 DWT кораб без ограничение в широчината (29)

Общо разположение на корабите. За корабите от двете групи е възприета еднаква схема на напречното сечение и на страничния вид. Корабите са с машинно отделение (МО) в кърмата, височината на двойното дъно 1,450 mm и ширина на двойния борд 1,700 mm.

Надводен борд. Извършена е проверка за минимален надводен борд съгласно Международна конвенция за товарните линии (ICLL 66). За всички кораби е изпълнено изискването, като при получените оптимални главни размери има излишен надводен борд в границите от 12 до 30 cm.

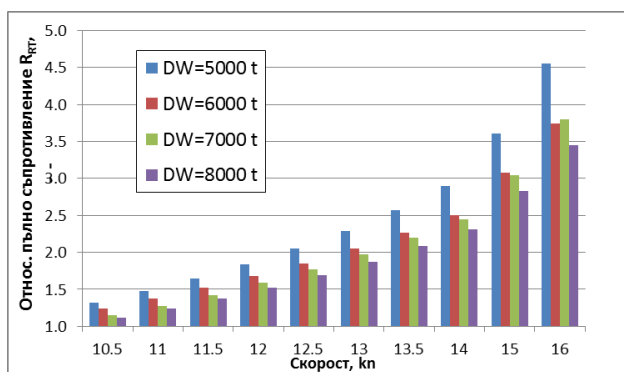
2.3. Анализ на качествата на двете групи МТК

За оценка влиянието на ограниченията наложени от оборудването на МСП са съпоставени основни експлоатационни характеристики на корабите: пълно съпротивление на кораба при три различни скорости; начална устойчивост съгласно *Intact Stability Code*; обем на товарните помещения без да се отчита обема на люковете; контейнерни места на главна палуба.

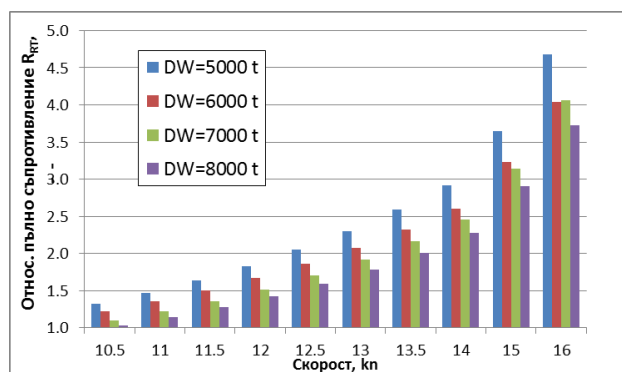
Пълно съпротивление. Пълното съпротивление (R_T , kN) е пресметнато по метода на *Holtrop & Mennen* за скорости в диапазона (10.5-16.0). Сравнява се относителното пълно съпротивление (R_{RT}), определено чрез:

$$R_{RT} = \frac{RT}{\gamma \nabla}$$

където: γ е специфичното тегло на морската вода (10.055, kN/m³); ∇ - потопения обем на кораба, m³. Резултатите са съпоставени на Фиг. 9 и Фиг. 10.



Фиг. 9. Относително пълно съпротивление за корабите с ограничена ширина (32)

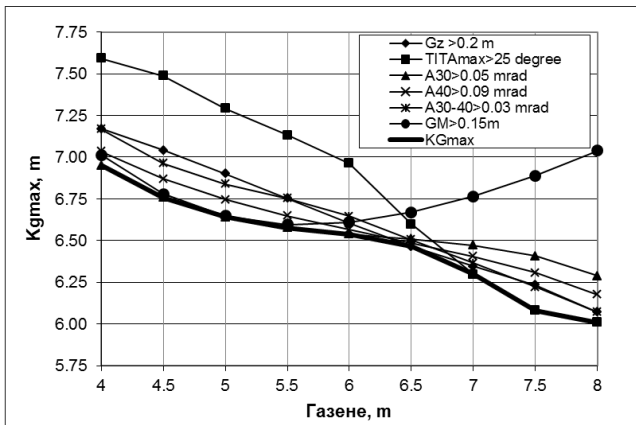


Фиг. 10. Относително пълно съпротивление за корабите без ограничение (33)

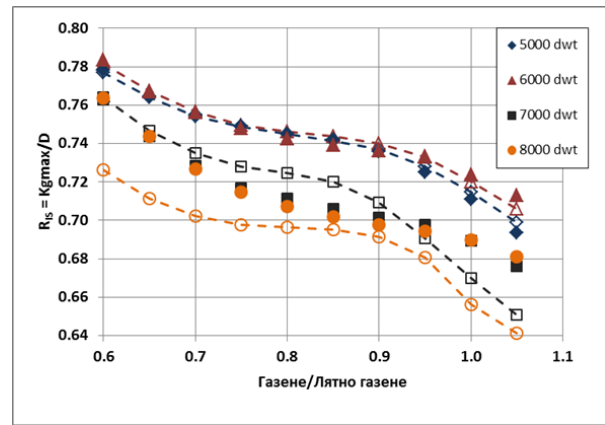
Начална устойчивост. Тя се оценява чрез максимално допустимата аплика на ЦТ – KG_{max} , пресметната в съответствие с критериите на Part A, Chapter 2.2.2 от *Intact Stability Code* за няколко стойности на газенето в диапазона от (0.6 - 1.05) от лятното газене. Съпоставя относителната величина за устойчивостта, при която KG_{max} е отнесена към височината на борда D.

$$R_{IS} = \frac{KG_{max}}{D}$$

Стойностите за KG_{max} за един от корабите и сравнение на относителните величини за серията е показано на Фиг. 11 и Фиг. 12.



Фиг. 11. KG_{max} за отделните критерии и за кораба S1R като цяло във функция от газенето (34)



Фиг. 12. Съпоставка на R_{15} за двете групи кораби (35)

Товарен обем и брой контейнери. Товарното пространство (CV) е пресметнато при няколко допускания:

- широчината на двойния борд в цилиндричната част е еднаква за всички кораби 1,700 mm;
- товарното пространство е разположено между преградата на машинното отделение и таранната преграда и това е 70% от дължината на кораба ;
- в краищата на товарното пространство не е отчетен двоен борд.

Относителната товарна вместимост (R_{CV}) се определя от обема на товарното пространство и кубичния модул за всеки от корабите, а относителната контейнеровместимост (R_{CC}) чрез брой на 2 реда контейнери на капаците на люковете (N_c) и дължината и широчината на кораба:

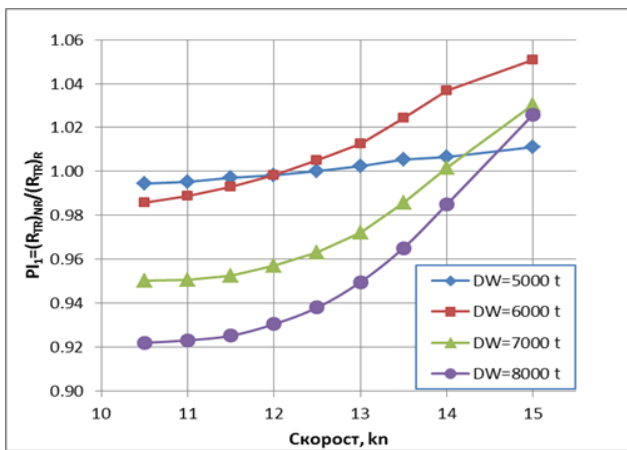
$$R_{CV} = \frac{CV}{LBD} ; \quad R_{CC} = \frac{N_c}{LB} , m^{-2}$$

Комплексен анализ. За комплексна оценка за качествата на корабите, е приет *качествен индекс* – PI_{ij} , съпоставящ показателите на корабите с един и същ дедуейт от двете групи.

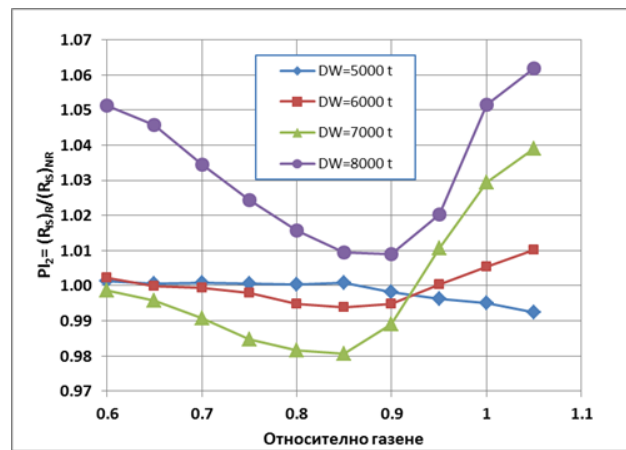
$$PI_{ij} = \left(\frac{V_R}{V_{NR}} \right)_j \quad - \text{ако за качеството } i \text{ се изисква max}$$

$$PI_{ij} = \left(\frac{V_{NR}}{V_R} \right)_j \quad - \text{ако за качеството } i \text{ се изисква min}$$

където: $i \in [1,4]$ - изследваните качества; $j \in [1,4]$ – дедуейт (5,000, 6,000, 7,000, 8,000 t); V_R – безразмерен показател за кораба с ограничена широчина; V_{NR} – безразмерен показател за кораба без ограничение. В съответствие с приетия качествен индекс той ще бъде по-голям от 1.0 в случаите, когато показателя за качество на кораба с ограничение на широчината, превъзхожда този без ограничение.



Фиг. 13. Качествен индекс PI_1 (пълно съпротивление) за анализираниите кораби (36)



Фиг. 14. Качествен индекс PI_2 (начална устойчивост) за анализираниите кораби (37)

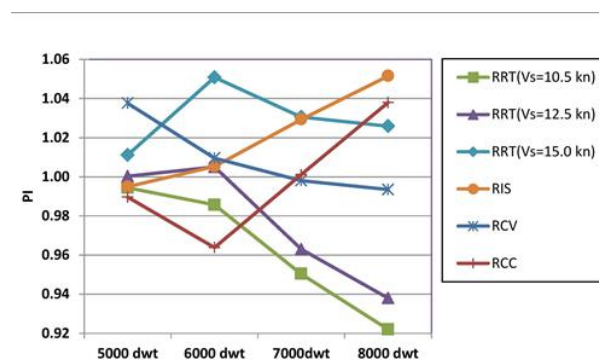
По отношение на съпротивлението, по голямото относителното удължение, води до намаляване на интензивността на генерираните от кораба вълни и на вълновото съпротивление. Ето защо, корабите с ограничение имат по висок качествен индекс PI_1 за скорости по-големи от 12 kn (Фиг. 13). Обратно, по високият с 20% коефициент S_b (при 8000 tDW) води до по-голямо общо съпротивление на корабите със 7000 и 8000 tDW, почти в целия диапазон на скоростта.

Качественият индекс PI_2 за началната устойчивост е представен на Фиг. 14. За газене близко до лятното, стойностите за 5,000 и 6,000 tDW са около 1.0. За корабите с дедуейт 7,000 и 8,000 t показателят R_{IS} на корабите с ограничение е с 3% - 5% по-добър, сравнен с останалите. Това се дължи на по-голямото отношение B/d и по-големия коефициента на пълнота на водолинията C_w .

Обобщена картина на съпоставката на корабите с ограничена ширина и без ограничения за съответния дедуейт е представена Фиг. 15 и Табл. 1. Индексите с удебелен шрифт и маркирани в зелено показват случаите, когато корабът с ограничения превъзхожда в съответното качество кораба без ограничение. Това са повече от половината случаи.

Табл. 1. Обобщена таблица с качествен индекс PI_i на корабите

Качествен индекс	DW, t	Качествен индекс			
		5,000	6,000	7,000	8,000
PI_1 Vs=10.5 kn		0.9944	0.9857	0.9503	0.9220
PI_1 Vs=12.5 kn		1.0003	1.0051	0.9630	0.9380
PI_1 Vs=15.0 kn		1.0111	1.0508	1.0306	1.0259
PI_2		0.9950	1.0053	1.0293	1.0515
PI_3		1.0376	1.0096	0.9980	0.9935
PI_4		0.9896	0.9638	1.0011	1.0380



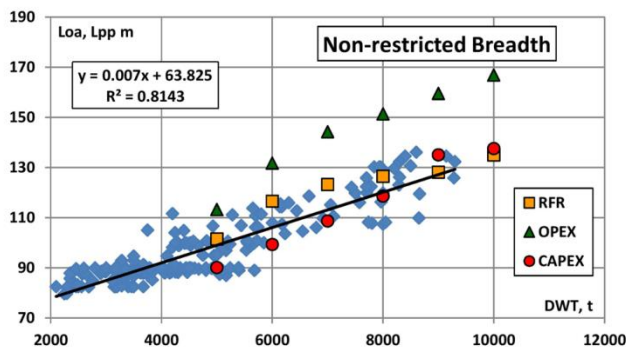
Фиг. 15. Графично сравнение на качествените индекси PI в зависимост от DW (38)

2.4. Съпоставка с характеристики на съществуващи кораби

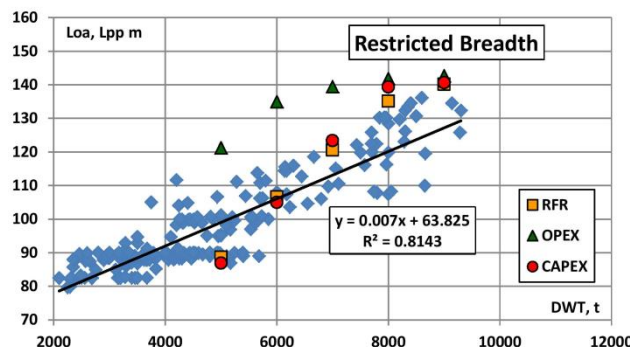
Извършена е и допълнителна оценка за двете групи МНК, като са съпоставени главните размери и основни характеристики с тези на около 200 съществуващи кораба

в диапазона от 2,100 до 9,300 tDW, използвани за МТКР. Допълнително са определени характеристиките на корабите и за два други критерия – минимални стойности на CAPEX и OPEX.

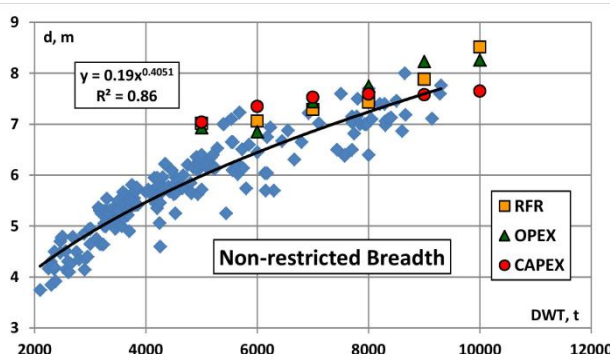
Дължината на кораба, при RFR и CAPEX като целева функция, е близо до тази на съществуващи кораби (Фиг. 16 и Фиг. 17). Критерий CAPEX води до намалена дължина, а при OPEX тя е чувствително по-голяма.



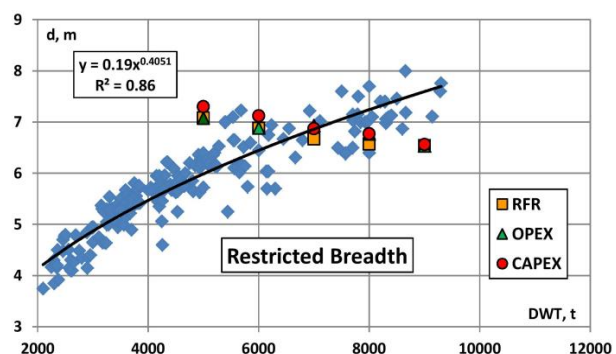
Фиг. 16. Зависимост на дължината L (Loa, Lpp) от DWT на кораби за МТКР с нанесени стойности за проектираните кораби без ограничение (39)



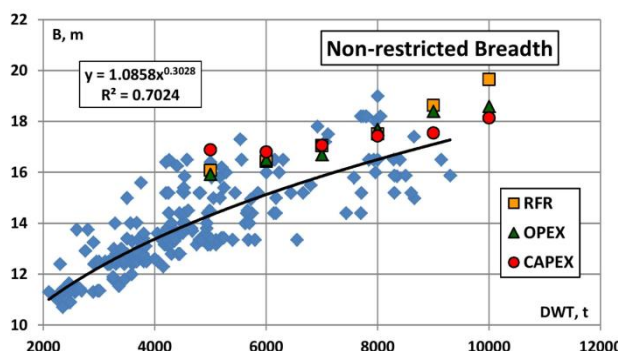
Фиг. 17. Зависимост на дължината L (Loa, Lpp) от DWT на кораби за МТКР с нанесени стойности на корабите с ограничение (40)



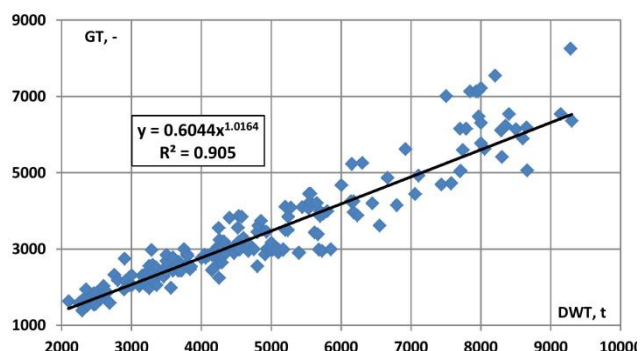
Фиг. 18. Зависимост на газенето (d) от DWT на кораби за МТКР с нанесени стойности за проектираните кораби без ограничение (41)



Фиг. 19. Зависимост на газенето (d) от DWT на кораби за МТКР с нанесени стойности за проектираните кораби с ограничение (42)



Фиг. 20. Зависимост на широчината (B) от DWT на кораби за МТКР с нанесени стойности за проектираните кораби без ограничение(43)



Фиг. 21. Зависимост на бруто тонажа (GT) от DWT на кораби за МТКР(44)

В случай на ограничена широчина, с увеличаване на дедуета дължината на кораба при критерии CAPEX и RFR расте, но с по-голям градиент от този при корабите в експлоатация (Фиг. 17).

Проектните решения за газенето са силно повлияни от ограничението, наложено на широчината на корабите (Фиг. 19). С увеличаването на DWT газенето намалява при всички критерии. Обратно, независимо от критерия, за корабите без ограничение газенето следва зависимостта за вече построените кораби (Фиг. 18).

По отношение на широчината, оптималните решения за проектираните кораби, по трите критерия CAPEX, OPEX и RFR са близки и малко по-големи до тези на вече построените кораби (Фиг. 20)

По отношение на бруто (GT) (Фиг. 21) и нето тонажа (NT) и товарния обем (CC) получените регресионни зависимости от дедуейта са с много висок коефициент на детерминация (R^2) и те могат да се използват в началните етапи от проектирането на кораба.

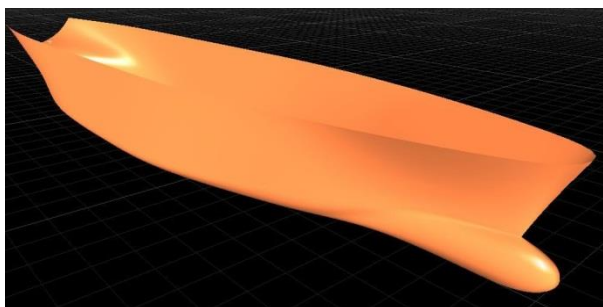
Резултати от изследванията в глава втора

1. Разработена е методика за проектиране на кораба с отчитане условията на МСП, включваща основните етапи от процеса на проектиране с отчитане производствените условия и ограничения;
2. Чрез методиката са разработени две групи МТК с дедуейт: 5,000, 6,000, 7,000 и 8,000 t. Едната група е без наложени производствени ограничения, а втората с еднаква широчина от 16.0 m поради ограничение в ПСС;
3. Проведен е сравнителен анализ (елемент от методиката) между двете групи кораби чрез експлоатационните качества: пълно съпротивление, начална устойчивост, товарна вместимост и контейнерни места на палубата. Изводът е, че корабите с ограничения поради строителното оборудване на МСП нямат по-лоши експлоатационни качества, а в някои случаи те превъзхождат тези със същия дедуейт, но без ограничения. Това дава отговор на една от поставените задачи и показва възможността за строителство на кораби в МСП, с отчитане на конкретните ограниченията в оборудването;
4. При корабите с ограничена широчина, с увеличаването на DW намалява газенето и се увеличава относителната (отнесена към кораба с най-малък DW в групата) величина на строителните разходи;
5. Анализирани са главните размери на около 200 кораба за сухи товари, използвани за МТКР с дедуейт в границите 2,100 до 9,300 tDW. Получени са регресионни зависимости за главните размери от дедуейта с много висок коефициент на детерминация R^2 . Характеристиките на двете групи проектирани кораби са съпоставяни с тези на съществуващите и са направени съответни изводи;
6. Зависимостите за тонажа (GT, NT) и товарния обем във функция от дедуейта, могат директно да се използват в началните етапи на проектиране за оценка на тези величини.

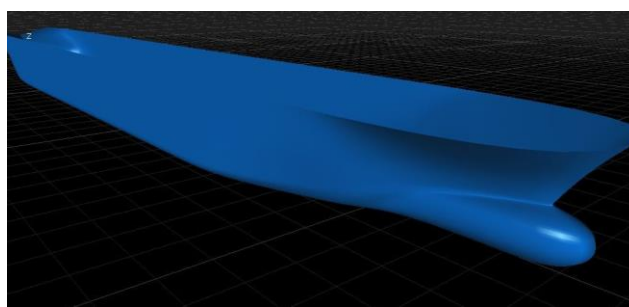
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧНИ ОСОБЕНОСТ ПРИ СТРОИТЕЛСТВОТО НА ТРАНСПОРТНИ КОРАБИ В УСЛОВИЯТА НА МСП

За групата кораби с ограничение са анализирани възможности за унификация, както на главните размери, така и на оборудването на кораба. Представена е същността

на типоразмерната унификация на кораба, разглеждана в три аспекта: геометрична; конструктивна, геометрична и конструктивна.



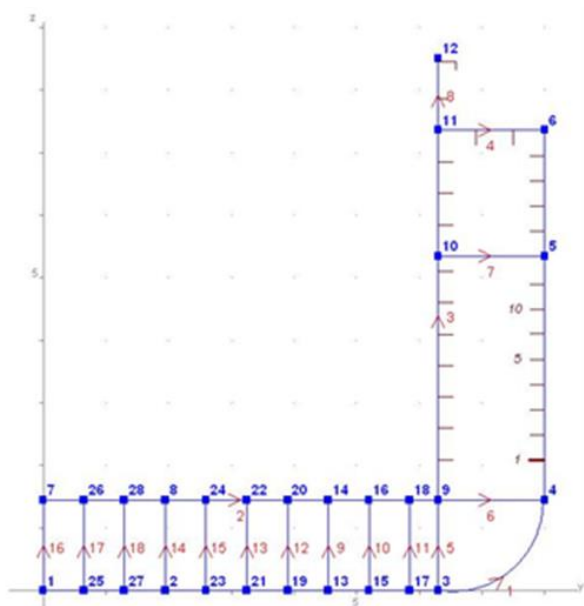
Фиг. 22. Форма на кораб с DW=5,000 t (64)



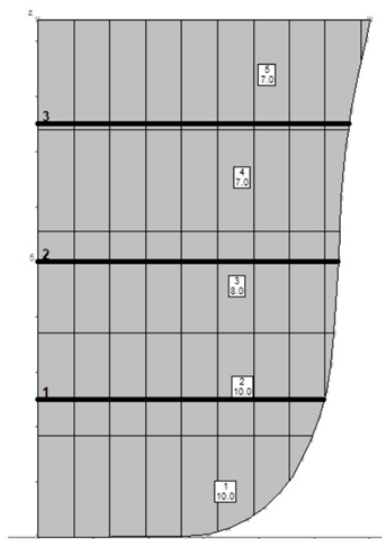
Фиг. 23. Форма на кораб с DW=8,000 t (65)

За провеждане на анализите, чрез програмата PolyCAD⁷ са генерирани корабните форми на четирите кораби с ограничена ширина. Софтуерът използва параметрично описание на корабната повърхнина, като коефициентът на обща пълнота се постига чрез съответна дължина на цилиндричната част. На Фиг. 22 и Фиг. 23 е представена корабната форма на два от корабите.

Конструкция на корпуса. За да се изготвят оценки свързани с конструкцията на кораба, са оразмерени напречното сечение и напречните прегради за корабите чрез програмата на BV (*Bureau Veritas*) MARS2000. В софтуерът са заложили *Правилата на BV* по отношение на корабните конструкции, както и *Общите правила за конструкцията на танкери и кораби за насипни товари (Common Structural Rules)*. Освен еднаквата височина на двойното дъно (ДД) и двойния борд (ДБ), за корабите са възприети и еднакви геометрични параметри на набора като: надлъжна щпация в ДД; напречна щпация в ДД; надлъжна щпация в ДБ. На Фиг. 24 и Фиг. 25 са представени набора на напречното сечение и таранната преграда, моделирани чрез MARS2000.



Фиг. 24. Напречно сечение моделирано в MARS2000 (47)



Фиг. 25. Таранна преграда, моделирана в MARS2000 (48)

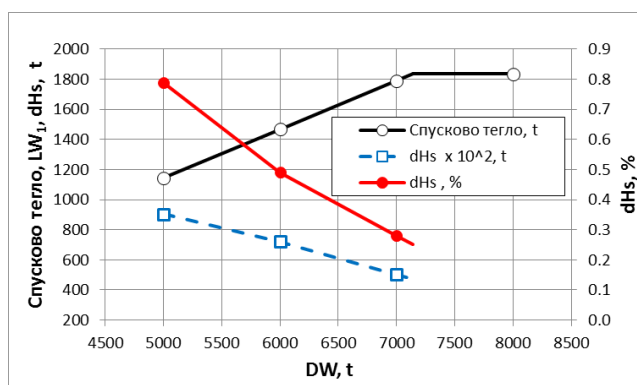
⁷ <https://www.polycad.co.uk/>

3.1. Унификацията на височината на борда

Излишен надводен борд. При унификация на височината на борда и приемайки височината на най-големия кораб в серията, останалите ще бъдат с излишен надводен борд. Първоначалният излишен надводен борд dFb_0 , е приспаднал от пресметнатият по Конвенцията за товарната марка излишен надводен борд dFb_1 . Резултатите са представени в Табл. 2, като излишният надводен борд е около 4% за най-малкия кораб.

Табл. 2. Резултати за надводния борд при унифицирана височина на борда

Величина	Стойности			
Дедуейт, t	5000	6000	7000	8000
Първоначална височина на борда (D_0), m	8.81	8.93	9.03	9.17
Дължина на кораба съгл. ICLL (L_{ICLL}), m	90.046	107.924	121.312	136.573
Излишен надводен борд (<i>Expert</i>), dFb_0 , m	0.084	0.138	0.229	0.267
Излишен надводен борд по ICLL66, dFb_1 m	0.444	0.378	0.369	0.267
Действително излишен надводен борд $\delta F = dFb_1 - dFb_0$, m	0.360	0.240	0.140	0.000
Излишен надводен борд, като % от D_0	4.09%	2.69%	1.55%	0.00%



Фиг. 26. Изменение на масата на стоманения корпус dHs , [t] при унификация на височината на борда (49)

Табл. 3. Резултати от оценка на товарния обем

DW, t	5,000	6,000	7,000
CV0, m ³	5855.6	7176.9	8427.8
CV ₁ , m ³	6131.4	7390.3	8570.8
ZG ₀ , m	5.360	5.443	5.420
ZG ₁ , m	5.540	5.557	5.487
XG ₀ , m	50.788	61.158	70.121
XG ₁ , m	50.788	61.119	70.092
Увеличение CV, %	4.71%	2.97%	1.70%
Увеличение ZG, %	3.36%	2.09%	1.24%

Ефект върху стоманените конструкции. Еднаквият надводен борд води до увеличение на масата, което е представено на Фиг. 26 в абсолютни стойности за различните кораби (лява скала) и като процент от спусковото тегло (дясна скала). На графиката е изобразено и спусковото тегло, като максимално допустимото е 1,835 t - допълнително ограничение в МСП.

При унификацията на височината на борда процентния дял на листовите конструктивни елементи е 55-56%, а на гредовите 44-45%. Увеличението на масата с промяна на височината на борда е в границите 0.8-0.3 % (Фиг. 26) и това увеличение не оказва влияние върху товароподемността на кораба.

Ефект върху товарния обем. Влиянието на увеличаване надводен борд върху товарния обем (CV) е положително. Обемът се увеличава, без да се променя броят на контейнерните места. Обемът се простира между второто дъно и главна палуба, от таранната преграда до тази на МО и между двойните бордове. Не е отчетено стесняването в носовата и кърмова част на двойния борд. Увеличението на обема на товара е в диапазона от 1,2% до 4,7%, а увеличението за вертикалния център на тежестта (ZG) е от 1,2% - 3,4% (Табл. 3). Това увеличение касае само превозване на

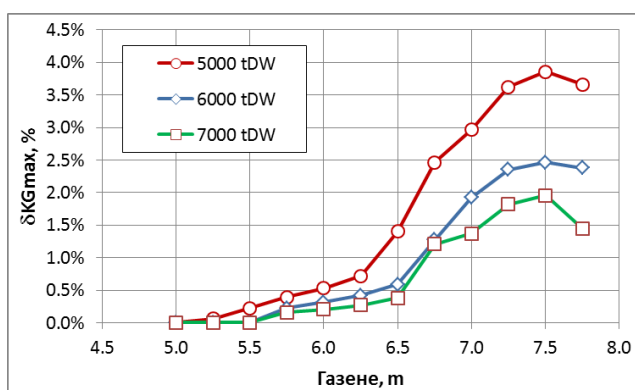
„леки“ товари ($SF > 1.2 \text{ m}^3/\text{t}$). Промяната на обема няма да се отрази на броя на превозваните контейнери в трюма.

Ефект върху началната устойчивост. Известно е, че увеличаването на височината на борда има положителен ефект върху допълнителната плавателност и параметрите на диаграмата на статична устойчивост. Този ефект се удостоверява чрез увеличаване на ъгъла на влизане на палубата във водата (θ_{de}) и кривата на максимално допустимия аплика на центъра на тежестта (KG_{max}). Увеличението на ъгъла θ_{de} за кораба с 5,000 tDW при лятното газене е около 20%, но става въпрос за номинално увеличение на ъгъла от около 2.5° .

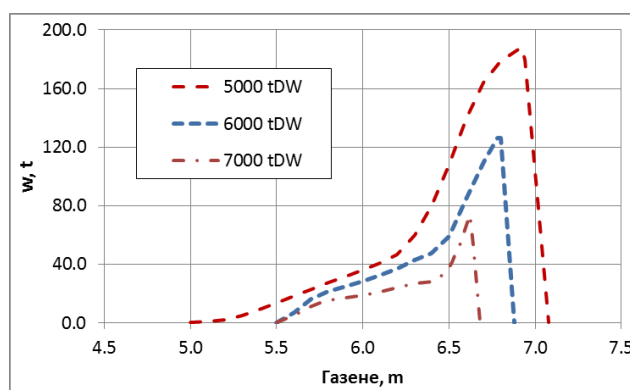
С увеличаването на височината на борда се променя и максимално допустимата аплика на ЦТ с величината δKG_{max} . Изменението в проценти за трите кораба (Фиг. 27) се представя като,

$$\delta KG_{max} = \left(\frac{KG_{max1}}{KG_{max0}} - 1 \right) \cdot 100 \text{ [%]}$$

където: с индекс 1 и 0 са съответно новата и старата стойност.



Фиг. 27. Процентно увеличение на KG_{max} в зависимост от газенето (53)



Фиг. 28. Допълнителен товар w [t] вследствие увеличена KG_{max} (54)

Увеличението δKG_{max} позволява превозването на допълнително количество товар w , на първия ред контейнери на палубата. Товарът w се пресмята от зависимостта:

$$KG_{max1} = \frac{KG_{max0} \cdot \Delta_0 + w \cdot Z_c}{\Delta_0 + w}$$

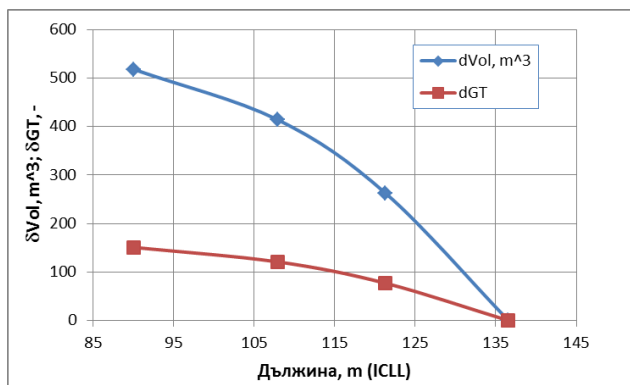
където: KG_{max0} , KG_{max1} - максимално допустима аплика на ЦТ преди и след унификацията на височината на борда, m; Δ_0 – изходно водоизместване, t; Z_c – аплика на ЦТ на първия ред контейнери на палубата, приета 12.37 m.

На Фиг. 28 са представени резултатите за трите кораба. Масата на допълнителния товар w варира с изменение на газенето от 5.0 m до лятното газене и има ярко изразен максимум за всеки кораб. При лятното газене – товарът w е 0. За корабите, допълнителният товар изразен чрез брой 14 тонни контейнери TEU е 13, 9 и 5 съответно.

Ефект от изменението на бруто тонажа. Анализът показва, че бруто тонажът на кораба не се влияе от допълнителен обем дори при промяна с 22,5% от обема на

корпуса. Увеличението на затворения обем (δVol) и GT (δGT) поради увеличената височина на борда са представени на Фиг. 29, за съответната дължина на кораба.

Ако се разгледа хипотетичен рейс по маршрута Гданск – Барселона - Гданск при скорост от 14 kn за една година максималните допълнителни разходи от пристанищни такси (Фиг. 30) за най-малкия кораб ще бъдат 2175 €, което е еквивалентно на 5.3 t гориво (IFO380) или 4.1 t (VLSFO) или 3.7 t (MGO) по цени за бункерване в пристанище Ротердам, което можем да оценим като незначителен разход.



Фиг. 29. Изменение на δVol и δGT за различни дължини на кораба (57)

Ship type	Fee 1 PLN/1 GT	Euro/1 GT
Tankers, gas carriers (GT) > 38,000	2.91	0.67
Tankers, gas carriers (GT) < 38,000	2.70	0.62
Bulk carriers (GT) > 38,000	2.40	0.55
Bulk carriers (GT) < 38,000	2.30	0.53
Reefer carrier	2.30	0.53
Towing and pushing vessels	2.14	0.49
General cargo vessel	2.08	0.48
Other seagoing ships	2.08	0.48
Container vessel	1.07	0.25
"Ro-Ro" ship	0.95	0.22
Car carrier	0.75	0.17
Passenger ship	0.61	0.14
Ferries	0.45	0.10
Passenger - cargo ship	0.45	0.10

Фиг. 30. Тарифи за услугите в пристанище Гданск (58)

3.2. Унификация на конструкциите на корабния корпус.

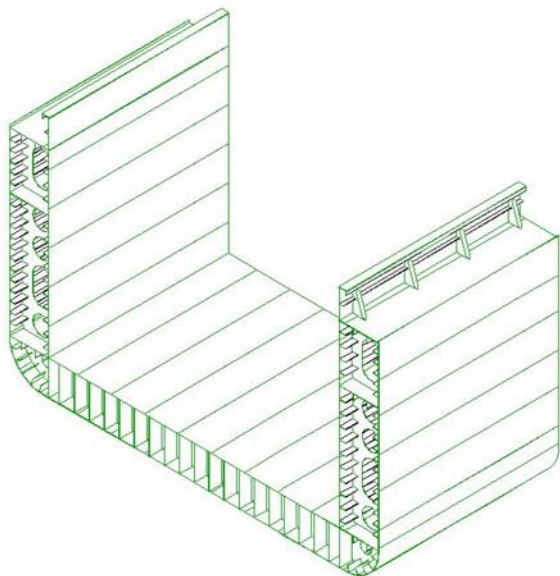
Унификация на надлъжната и напречната шпация. Наред с прецизиране на шпацията за дънната конструкция, за групата МТК са приети следните характеристики: напречна шпация - 650 mm; надлъжна шпация в товарната част - 750 mm, надлъжна шпация в носовата и кърмовата част- 700 mm, шпация на рамовия набор- 2,250 mm, широчината на използваните листи за изработката на дъното и настила на двойното дъно - $b = 1,500$ mm, скулови радиус - $R_b = 1,450$ mm;

Конструктивна унификация на дънна и бордова секция. При еднаквата широчина на корабите от групата и унифициране на напречната шпация, то и броят на гредите от главно направление е еднакъв. Разположението на водоплътните стрингери, определящи баластните танкове също е еднакво. Оразмеряването на конструктивните елементи и проектирането на дънната конструкция в товарната част и проектирането на бордовата конструкция е извършено индивидуално. Разликата е, че при унификация и на височината на борда ще има разлика, която е максимална при най-малкия кораб и е $\Delta D = 0.36$ m. Геометрична разлика от такъв порядък не се счита за голяма.

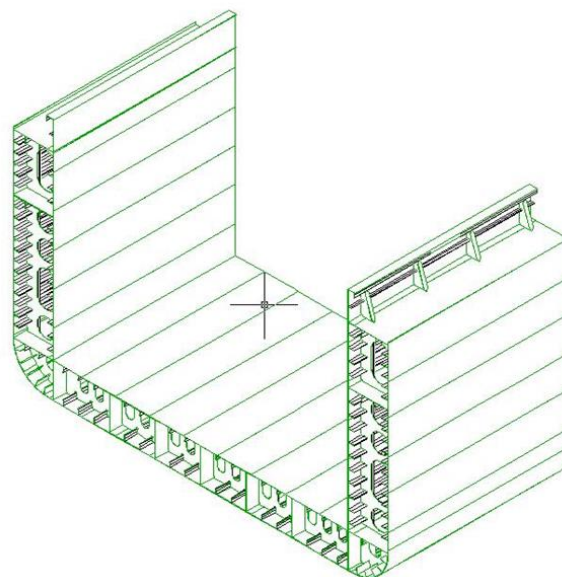
Унификация на конструктивни елементи в цилиндричната част. При анализиранияте кораби са разгледани следните сценарии: унифициране на типа на набора в дънните, бордовите напречните прегради от състава на корабния корпус; проектиране на конструктивните елементи на секциите в състава на корабния корпус без промяна на набора от главно направление; проектиране на конструктивните елементи на секциите в състава на корабния корпус с промяна на дебелините на листовите черупки от външна обшивка. Съгласно предложените сценарии за унификация са разработени три варианта за напречното сечение на корабния корпус с използване на различни конструктивни елементи:

- вариант 1- стрингерна система в дъното и плоска шина в двойния борд;
- вариант 2- булбови профили по дъното и двойното дъно и плоска шина в двойния борд;
- вариант 3- булбови профили в дъното и в двойния борда.

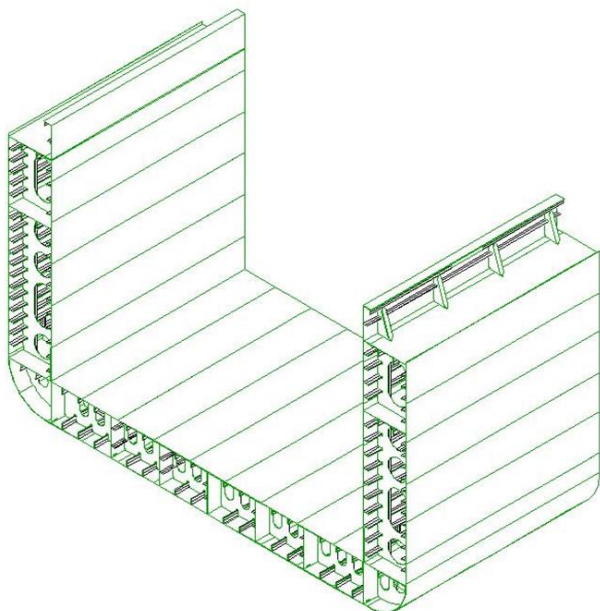
Чрез изградения 3D модел в AVEVA Marine са пресметнати дължината на рязане и заваряване, както и масата на блок от цилиндричната част с дължина 7.8 m. Резултатите за трите варианта са представени на Фиг. 31 - Фиг. 33 и в Табл. 4. Най-приемлива е конструктивната схема по Вариант 3 и тя е използвана за следващите анализи.



Фиг. 31. Вариант 1 на напречно сечение (61)



Фиг. 32. Вариант 2 на напречно сечение (62)



Фиг. 33. Вариант 3 на напречно сечение (63)

Табл. 4. Основни характеристики на блок от цилиндричната част

Характеристика	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Дължина на рязане, m	1505.56	1067.80	1041.41
Дължина на заварки, m	2041.02	1552.59	1087.52
Маса, t	108.68	105.14	97.67

3.3. Унификация на корабни устройства

Унификация на котвено- вързално устройство. При изборът на елементите на

котвеното и вързалното устройство са разгледани два варианта – само еднаква широчина и унифицирана широчина и височина на борда.

Резултатите за елементите на котвеното устройство за двете групи кораби са представени в Табл. 5.

Табл. 5. Параметри на елементите на котвеното устройство

Първоначална височина на борда					Унифицирана височина на борда				
DW,t	5000	6000	7000	8000	DW,t	5000	6000	7000	8000
Z	748	821	879	955	Z	762	831	910	955
N _a	2	2	2	2	N _a	2	2	2	2
L _{ch} , m	467.5	467.5	467.5	495	L _{ch} , m	467.5	467.5	495	495
G _a , kg	2280	2460	2640	2850	G _a , kg	2280	2460	2850	2850
d _{ch} , mm	36	38	40	42	d _{ch} , mm	36	38	42	42

където: Z - характеристиката на снабдяване; N_a – брой на котвите; L_{ch}- дължина на веригата, m; G_a - маса на котвите, kg; d_{ch} – диаметър на котвената верига, mm.

Броят и дължината на вързалните въжета също се определя от характеристиката на снабдяване, която за корабите от групата е в интервала от 760-955 и се изискват 4 броя вързални въжета, всяко с дължина 170 m;

Спасително устройство. То е еднакво за цялата група МТК поради факта, че броят на екипажа е еднакъв. Разположението и типа на лодбалките, спасителните лодки, салове и спасителни кръгове е еднакъв за всички кораби в серията.

3.4. Оценка на необходимата мощност за серията многоцелеви кораби

Оценка на необходимата мощност е извършено при зададена скорост от 15 kn. За проектирането на ГВ е използвана класическа проектна задача, при която за зададен брой лопатки, дисково отношение и диаметър на винта, се определят обороти *n* и крачково отношение P/D, при които к.п.д. на винта в свободна вода (η_0) е максимален. Съпротивлението на кораба е пресметнато по заложения в PolyCAD алгоритъм на метода на Holtrop & Mennen за зададен диапазон от скорости.

Минимално дисково отношение и диаметър на (ГВ). Минималното дисково отношение е определено от условието за отсъствие на кавитация по формулата на Keller. Максималният диаметър на ГВ е определен по зависимостта на Kristensen и Lutzen валидна за контейнеровози и многоцелеви кораби:

$$D = 0.623T \max - 0.16, m$$

Коефициентите на влияние и характеристиките на гребните винтове за корабите в групата са определени с полиномите на серията гребни винтове на Вагениген. Входните данни и получените резултати са представени в Табл. 5 и Табл. 6.

В таблиците е прието: η_0 - к.п.д. на винта в свободна вода; P/D- крачково отношение; K_t- коефициент на упора на гребния винт; K_{q0} – коефициент на момента на винта в свободна вода; K_q- коефициент на момента на винта; Q – въртящ момент на винта, kNm; P_d - Мощност, подведена към ГВ, kW; P_{b0} – Ефективна мощност на ГД, kW; P_b – Контракта мощност на ГД, kW.

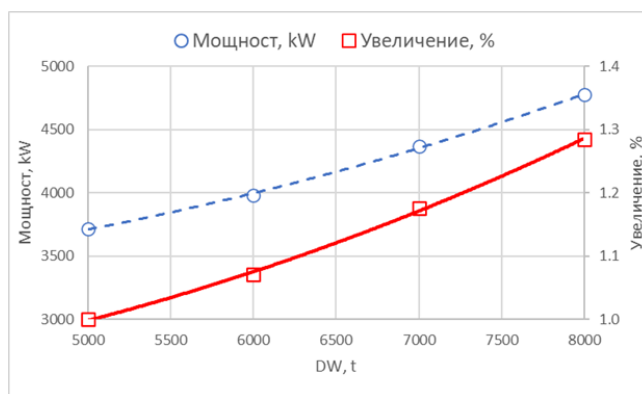
Табл. 6 Входни данни при проектиране на ГВ

X-ки \DW,t	5000	6000	7000	8000
T, kN	357.24	375.07	406.57	443.38
w	0.325	0.334	0.385	0.431
Ae/Ao	0.586	0.630	0.706	0.756
D,m	4.25	4.15	4.00	4.00

Табл. 7. Характеристики на ГВ за корабите в групата

X-ки \DW,t	5000	6000	7000	8000
J	0.524	0.499	0.441	0.402
η_0 (Max)	0.570	0.550	0.502	0.464
P/D	0.871	0.859	0.837	0.827
n (s ⁻¹)	2.338	2.482	2.690	2.733
n_s , rpm	140	149	161	164
Kt	0.195	0.200	0.214	0.226
Kq ₀	0.029	0.029	0.030	0.031
η_R	1.007	1.008	1.008	1.007
Kq	0.028	0.029	0.030	0.031
Q, kNm	220.80	222.72	225.74	242.73
Pd, kW	3244.4	3473.9	3815.5	4167.6
Pb ₀ , kW	3379.2	3618.7	3974.4	4341.3
Pb, kW	3717.1	3980.6	4371.9	4775.4

Увеличението на необходимата мощност за най-големия кораб в групата достига до 30%. За оценка на влиянието на изискванията за енергийна ефективност са необходими изследвания, които са извън обема на този дисертационен труд.



Фиг. 34. Изменение (лява скала) и процентно увеличение (дясна скала) на необходимата мощност в зависимост от дедеуейта за серията многоцелеви кораби (66)

3.5. Икономически и технологичен ефект от процеса на унификацията

В дисертационния труд са описани всички ефекти от прилагането на унификацията. Всеки от тях следва да се анализира отделно, като целта е да се получат количествени оценки за този ефект. Това следва да бъде една от посоките за развитие на изследванията.

3.6. Показатели за оценка на технологичността

В етапа на концептуално проектиране е целесъобразно да се използват приблизителни показатели за оценка на решенията по отношение на технологичността. В Дисертационния труд са представени част от записки от непубликувани преди смъртта на Филип Стоянов изследвания, базирани на значителен по обем статистически материал за родното корабостроене и предоставени в лична кореспонденция. Резултатите са публикувани, в памет на Филип Стоянов.

Като показатели за технологичност са предложени: избраната конструктивна шпация, приемственост на конструкциите, унификация на конструкциите и показател за цилиндрична част.

Резултати от изследванията в трета глава

1. За количествени оценки, свързани с масата на корпуса е разработен модел на средното сечение и преградите на анализирания кораб чрез софтуера MARS2000 на BV;
2. Разгледани са различни възможности за унификация приложена към групата многоцелеви кораби с ограничена широчина с цел повишаване на производителността на МСП;
3. Количествено е оценена унификацията на височината на борда по отношение увеличаване на масата на стоманения корпус, товарната вместимост, началната устойчивост и увеличения бруто тонаж;
4. Увеличението на масата на стоманения корпус е с 0.3 – 0.8 %, което не се отразява на товароподемността на корабите;
5. Увеличението на товарния обем е в диапазона 1,2% - 4,7%, а увеличението на апликацията на ЦТ на този обем е 1,2% - 3,4%;
6. Увеличението на надводния борд води до подобряване на устойчивостта и увеличаване на максимално допустимата апликация на ЦТ KG_{max} . Това се изразява в допълнително приемане на от 5 до 14 броя 14 тонни контейнери TEU на първия ред върху капаците на люковете;
7. Увеличението на разходите за пристанищни такси, вследствие увеличението на бруто тонажа е оценено на около 2,200 € за една година, което е незначителен разход, равняващ се на няколко тона гориво;
8. Като цяло отрицателните ефекти от еднаква височина на борда за групата кораби са пренебрежими, и прилагането на тази унификация ще доведе до подобряване на производителността на МСП;
9. Дефинирани са технологични изисквания и критерии за геометрична и конструктивна унификация на корабите в групата, като са разгледани три варианта на напречното сечение. Конструкциите са разработени детайлно в средата на AVEVA Marine и са пресметнати дължините на рязане, заварки и масата на блок с дължина 7.8 m от цилиндричната част;
10. Варианта на напречно сечение с булбови профили в двойното дъно и в двойния борда, е за предпочитане по всички разгледани характеристики;
11. Количествено е оценен ефекта от унификацията на котвеното, вързалното и спасително устройство на корабите;
12. За корабите от серията е избран главен двигател. Въпреки, че той може да бъде един и същ, този извод се нуждае от по-обстойно изследване, което в светлината на новите екологични изисквания вероятно няма да се приеме за ефективно

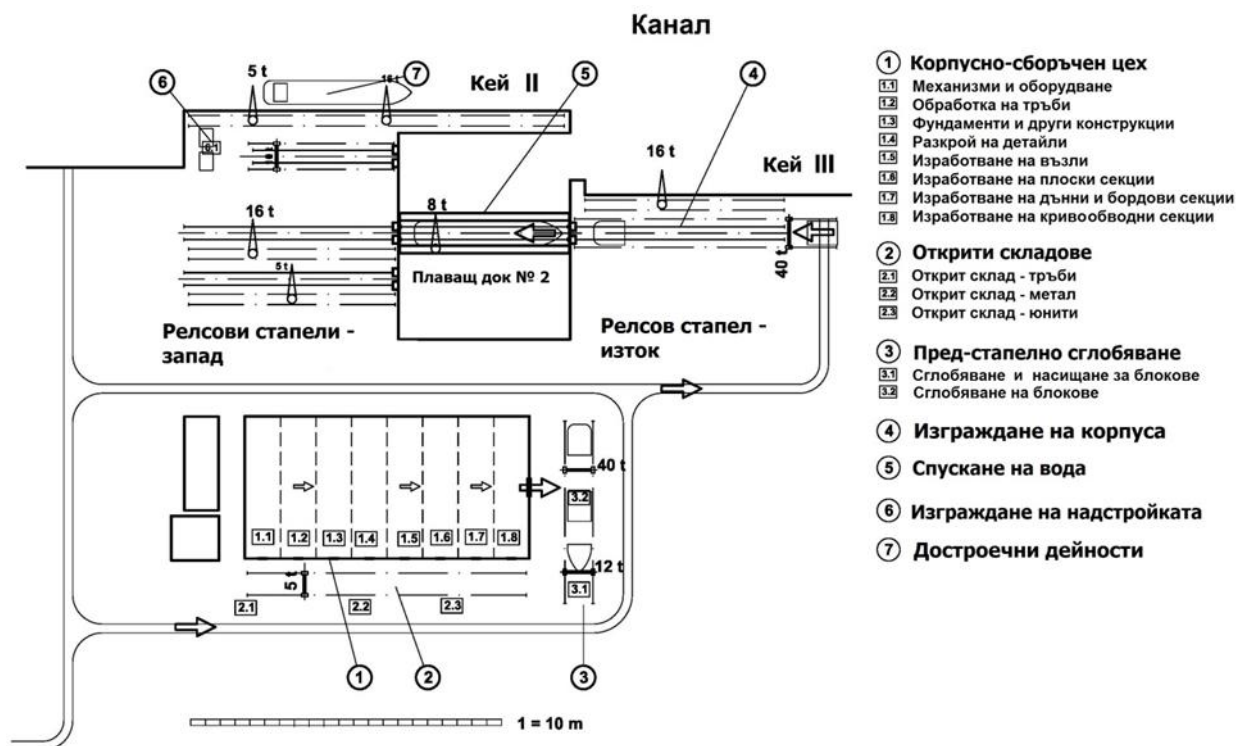
Глава 4 ТЕХНИКО- ОРГАНИЗАЦИОННИ СХЕМИ ЗА СТРОИТЕЛСТВО НА ГРУПА МНОГОЦЕЛЕВИ КОРАБИ

В тази част от дисертационния труд са представени изследвания на технико-организационната схема за строителството на група МТК. Представен е генералния план на МСП, организационната и производствената схема, принципни технологии за изработка на секции от корабния корпус и строителство на кораба. На базата на

получените в етапа на концептуално проектиране разпределение на масите е направена оценка на производственото време.

4.1. Генерален план и основни производствени участъци в МСП.

Разглеждания в изследванията съществуващо МСП има три ПСС, обслужвани от един плаващ док. Плаващият док обслужва ПСС като към този комплекс има съществуващо производствено хале (Фиг. 35).



Фиг. 35. Генерален план на МСП (67)

4.2. Етапи от производствения процес.

Броят на етапите е различен при различните заводи, но зависи от типа на кораба и неговата геометрия. Техническите и технологичните етапи при строителството на кораба най-общо се групират в три основни. Класическата схема и тази в МСП се различават по съдържанието на Етап 2 (Фиг. 36).

4.3. Технологични и организационни мероприятия и принципна окрупнена технологична схема при строителство на кораби в МСП

Технологичните и организационни мероприятия се свеждат до дефиниране на типа на производството в корабостроителното предприятие, организационната схема и метод за строителство на транспортни кораби.

За строителен метод в условията на МСП са възможни следните варианти:

- вариант 1- зонално изграждане на корабния корпус. Това е модификация на секционния метод. Подходящо е разделянето на зони, формиращи райони от корпуса: носова и кърмова зона, преходна зона, цилиндрична зона, зона на надстройката. Методът е приложим за кораби с габаритни размери и тегло на корпуса близки до тези на ПСС;



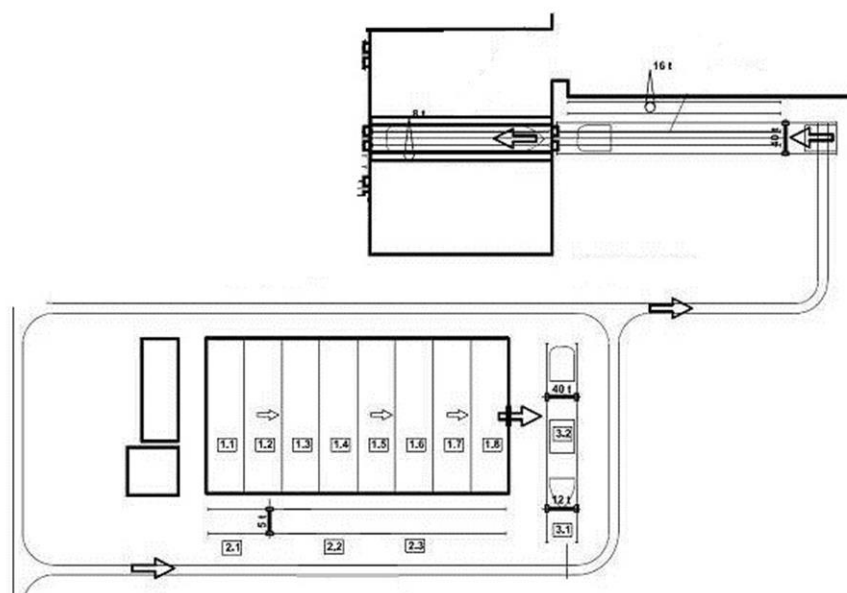
Фиг. 36. Етап 2 от строителството на кораба. Класическа схема (в ляво) и приложима за МСП (в дясно)

- вариант 2- зонално- блочен метод. Подходящ е за среднотонажни кораби с тегло на корпуса до около 1800 тона. Обособяват се зони от корабния корпус - зона на цилиндричната част, преходни зони към носовата и кърмовата част. Носовата и кърмовата част се обособяват като отделни блокове. Модифициран вариант на този метод е носовата и кърмовата част да се изградят зонално, а товарната част - блочно.

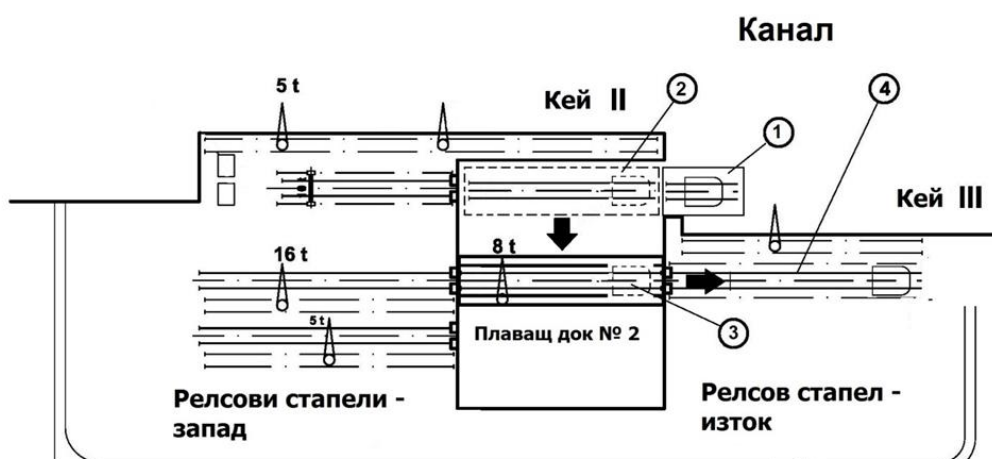
Окрупнена принципна схема по двата варианта е представена на Фиг. 37 и Фиг. 38.

Монтирането на блоковете от носовата и кърмовата част на кораба при зонално-блочния метод се извършва преди да бъдат монтирани части от товарната зона на кораба. Транспортирането им става със специализиран транспорт от друг завод, от друг район на завода, а също и по вода. Последователността на операциите по преместване на блоковете върху ПСС по вода е следната (виж Фиг. 38):

- доближаване на баржата до плаващия док и изравняване на нивата между тях- етап ①;
- поставяне на преходни релси между баржата и релсовия път на плаващия док;
- преместване на транспортно- монтажните колички от баржата в дока- етап ②;
- преместване на дока заедно с монтажно-транспортните колички до ПСС- етап ③ ;
- преместване на транспортно-монтажните колички от дока на ПСС;
- първо се премества носовия блок в единия край а след това в другия край на ПСС се позиционира кърмовия блок- етап ④.



Фиг. 37. Принципна схема за строителство на корабния корпус по зонален метод (74)



Фиг. 38. Принципна схема за строителство на корабния корпус по зонално-блочния метод (76)

4.4. Технологични показатели за оценка на производственото време

Важен показател за нивото на реализираните и овладени техники и технологии в МСП е производителността му. Тя се характеризира с количеството продукция за определено време. За МСП, където броят на работния персонал е ограничен, е важно да се намери връзката между времето за постройката на кораба и неговите технико-експлоатационни характеристики.

Значителен брой последни публикации разглеждат факторите определящи производителността - брой на заетите, производствен рейтинг, брой кораби построени за период от три години към броя на корабите, които ще се построят през следващите три години отнесени към компенсиран бруто тонаж на кораба (CGT). Производителността (Pd) на компенсиран бруто тонаж също се представя и с отношението на производственото време към CGT.

$$Pd = \frac{M_H}{CGT}, \text{ ч.ч./cgt}$$

където: M_H - необходими човеко-часове за строителството на кораба; CGT - компенсиран брутен тонаж.

При еднаква височина на борда на групата МТК, се увеличава незначително масата на стоманения корпус, човеко-часовете Mh_1 за изработване на допълнителните конструкции и CGT . Производителността преди (Pd_0) и след увеличаване (Pd_1) на височината на борда са представени в Табл. 8 и на Фиг. 39. Градиентът на увеличение на CGT за серията е по-голям и това води до увеличение на производителността при малките кораби.

Дължината на цилиндричната част (L_p) влияе върху общата трудоемкост при строителството на кораба. След унификацията на размерите, топологията на напречното сечение остава непроменена, при различна цилиндрична част. Ако се разглежда строителство на няколко кораба от групата, то при изработването на цилиндричната част има определена серийност, за която може да се приложи коефициент за серийност fs .

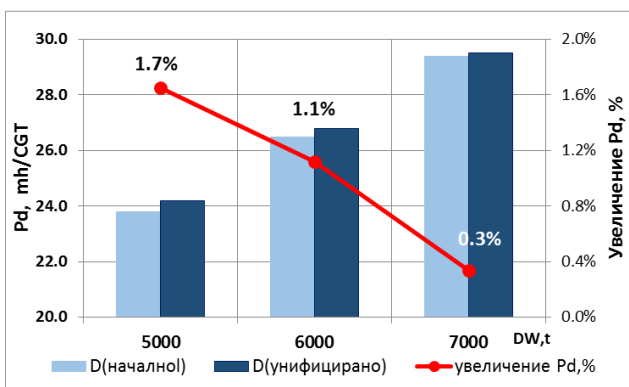
$$fs = -0.1483Ln(n) + 0.9995$$

където: n – поредния номер на кораба в серията.

За оценка на този ефект е проведен анализ на базата на разработените 3D модели на формата и конструкциите (чрез PolyCAD и AVEVA Marine). Дължината на цилиндричната част (L_p), масата (Wp) и човеко-часовете (Mh_p) са представени в Табл. 9. За определяне на човеко-часовете е приет коефициент $k = 120$ mh/t.

Табл. 8. Параметри за оценка на производителността

DW, t	5000	6000	7000	8000
GT_0 , -	3707	4688	5468	6540
GT_1 , -	3857	4809	5545	6540
CGT_0 , -	5194	6037	6662	7470
CGT_1 , -	5328	6136	6721	7470
$Mh_0 \cdot 10^{-3}$, h	125.91	161.52	196.86	201.85
$Mh_1 \cdot 10^{-3}$, h	126.90	162.32	197.41	201.85
Pd_0 , mh/cgt	24.2	26.8	29.5	27.0
Pd_1 mh/cgt	23.8	26.5	29.4	27.0
δPd %	1.7%	1.1%	0.3%	-



Фиг. 39. Промяна на производителността при унификация на височината на борда (77)

Табл. 9. Параметри за цилиндричната частта на корабите от групата

No	DW, t	L_p , m	Wp , t	$Mh_p \cdot 10^{-3}$ mh
1	5000	3.00	36.626	4.395
2	6000	7.70	94.007	11.281
3	7000	33.00	402.889	48.347
4	8000	61.70	753.280	90.394

За пресмятане на човеко-часовете за изработване на цилиндричната част, с отчитане на серийност на изделието, се предлагат следните зависимости:

- Отклонение в дължината на цилиндричната част $\Delta L_p = L_p - L_p^0$

където: L_p - дължина на цилиндричната част за разглеждания кораб; L_p^0 - дължина на цилиндричната част на първия построен кораб.

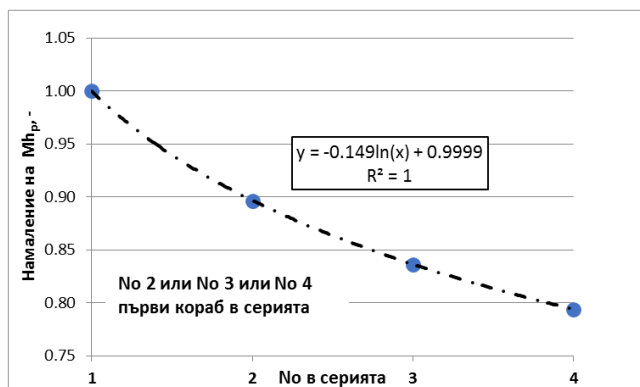
- Човеко-часове за изработване на цилиндричната част:

$$\text{if } \Delta L_p \leq 0 \text{ then } Mh_p^{(S)} = Mh_p^{(i)} \cdot fs(r) \quad , r > 1$$

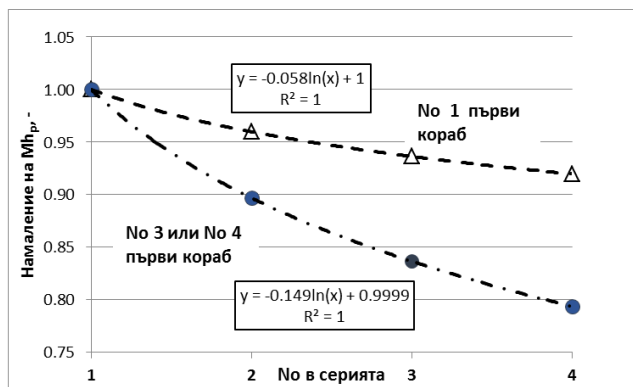
$$\text{if } \Delta L_p > 0 \text{ then } Mh_p^{(S)} = Mh_p^{(0)} \cdot fs(r) + k(W_p - W_p^{(0)}) \quad , r > 1$$

където: $Mh_p^{(S)}$ - човекочасове за изработване на цилиндричната част за разглеждания като серийен кораб; $Mh_p^{(i)}$ - човекочасове за разглеждан като индивидуална постройка (последната колона от Табл. 9); $fs(r)$ - коефициент за серийност за номер r ; $Mh_p^{(0)}$ - 'човекочасове за цилиндричната част на първия кораб от серията; W_p и $W_p^{(0)}$ - маса на цилиндричната част за актуалния и за първи кораб от серията.

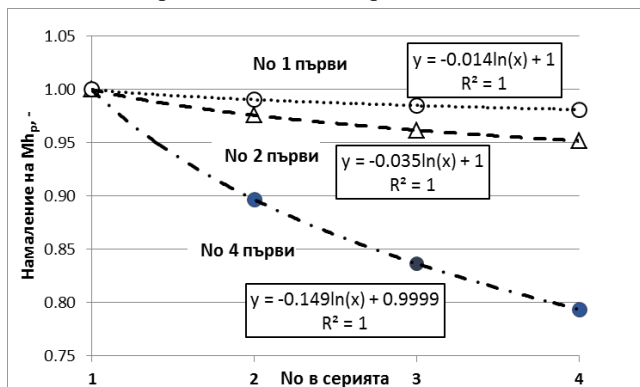
Със зависимостите е пресметнато намалението на човекочасовете за цилиндричната част при различни сценарии в строителната програма на МСП. От значение е, кой е първият кораб в серията. Резултатите са представени на Фиг. 40 - Фиг. 43.



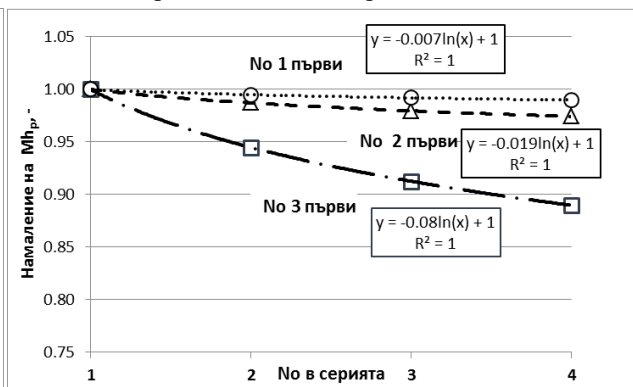
Фиг. 40. Намаление на Mh_p , за изработване на цилиндричната част на кораб 5000 tDW (78)



Фиг. 41. Намаление на Mh_p , за изработване на цилиндричната част на кораб 6000 tDW (79)



Фиг. 42. Намаление на Mh_p , за изработване на цилиндричната част на кораб 7000 tDW (80)



Фиг. 43. Намаление на Mh_p , за изработване на цилиндричната част на кораб 8000 tDW (81)

Резултати от изследванията в четвърта глава:

1. Схематично са представени разликите между класическа схема за строителство на кораба и такава, приложима за МСП;

2. Дефинирани и адаптирани към МСП са два строителни метода за строителство на среднотонажни многоцелеви кораби и отчитане на производствените условия и ограничения;
3. Разписани са принципни технологии, адаптирани към производствените условия и ограничения на МСП за изработката на секции в отделните участъци на корпусо-сборъчния цех;
4. Описани са окупирани принципни технологии за строителство на група многоцелеви транспортни кораби по два различни метода- зонален и зонално-блочен;
5. Направен е анализ на производителността на МСП преди и след двумерната унификация на корабния корпус. Нарастването на компенсирания брутен тонаж (CGT) е по-голямо и това води до повишаване на производителността – разглеждана като вложени човечески ресурси отнесени към CGT, с близо 2% за най-малкия кораб от групата;
6. Към положителната оценка за ефекта от еднаквата височина на борда по отношение на експлоатационните качества, се добавя и такъв по отношение на производителността в условията на МСП;
7. Поради еднаквото напречно сечение на корабите от групата, които се различават по дължината на цилиндричната част, е оценен ефекта от серийност при изработване на конструкциите в цилиндричната част. Ефектът за серийност зависи от строителната програма на МСП и поредността на отделен кораб, но намалението в човеческите ресурси може да достигне до 20%;
8. Повишаването на производителността и поддържане на еднакъв брой работен персонал води до повишаване на печалбата и конкурентоспособността на МСП.

Глава 5 АНАЛИЗ НА ПРОЕКТНО - ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ РЕШЕНИЯ

5.1. Многокритериална оценка на проектни алтернативи

За разработената група МТК с DW 5,000 - 8,000 t е приложена многокритериална оценка за вариантите с ограничение и без ограничение на широчината. Към дефинираните 8 алтернативи са приложени 6 критерия: Товарна вместимост за насипни товари (ВСС), Контейнеровместимост (СС), Начална устойчивост (IS), Индекс на вертикални ускорения в носа (VBAI), Индекс на потапяне на винта (PEI), Индекс на допълнително вълново съпротивление (WIWRI). Последните индекси представляват вероятността да се превишат пределни нива, за съответното мореходно качество при значима височината на вълната 2 m⁸.

Оценени са четири сценарии, с различни тегловни коефициенти на критериите съгласно Табл. 10: (1) – Мултифункционалност (MF); (2) – Товарна ефективност (CE); (3) – Безопасност при плаване (SN); (4) - Комфорт при плаване (CN).

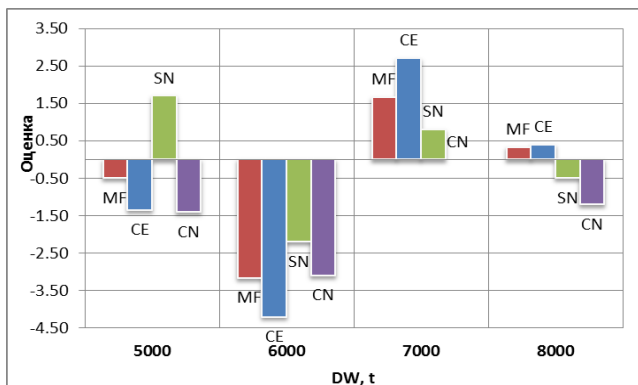
Пресмятанията са извършени по метода PROMETHEE II и TOPSIS. За първият е използван алгоритъм включен в *Интегрирана система за подпомагане вземането на*

⁸ Подходът е предложен и пресмятания са извършени от проф. Йордан Гърбатов от Университета в Лисабон.

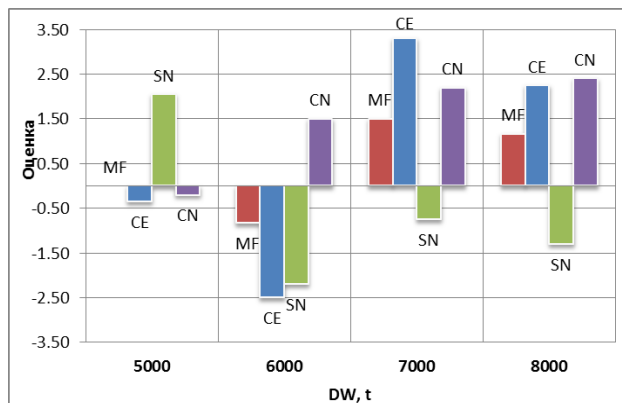
решения МКА-2⁹. Резултати графично са представени на Фиг. 44 и Фиг. 45. И тук ясно се вижда ниският ранг на кораба с дедует 6,000 t от една страна, и положителните стойности по повечето сценарии за кораба с дедует от 7,000 t при неограничената и ограничена широчина. От разгледаните кораби този с 5,000 DWT и ограничена широчина е с най- добър показател безопасност при плаване. Оценките на кораба с 7,000 DWT зависят от сценария.

Табл. 10. Сценарии и съответните тегловни коефициенти

Критерий	Сценарий1 MF	Сценарий 2 CE	Сценарий 3 SN	Сценарий 4 CN
BCC	0.160	0.300	0.025	0.050
CC	0.160	0.300	0.025	0.050
IS	0.170	0.200	0.300	0.300
VBAI	0.170	0.050	0.050	0.300
PEI	0.170	0.050	0.300	0.200
WIWRI	0.170	0.100	0.300	0.100



Фиг. 44. Оценки на проектите без ограничение в широчината за различните сценарии (85)



Фиг. 45. Оценки на проектите с ограничение в широчината за различните сценарии (86)

Извършена съпоставка на оценките по методите PROMETEE II и TOPSIS (Фиг. 46). По метода TOPSIS, за всеки от сценариите за предпочитане е кораб с ограничена широчина. За първите два сценария, най-ниски оценки и по двата метода получава корабът с DW 6,000 t. По критерии товароподемност и безопасност двата метода имат почти еднакви оценки.

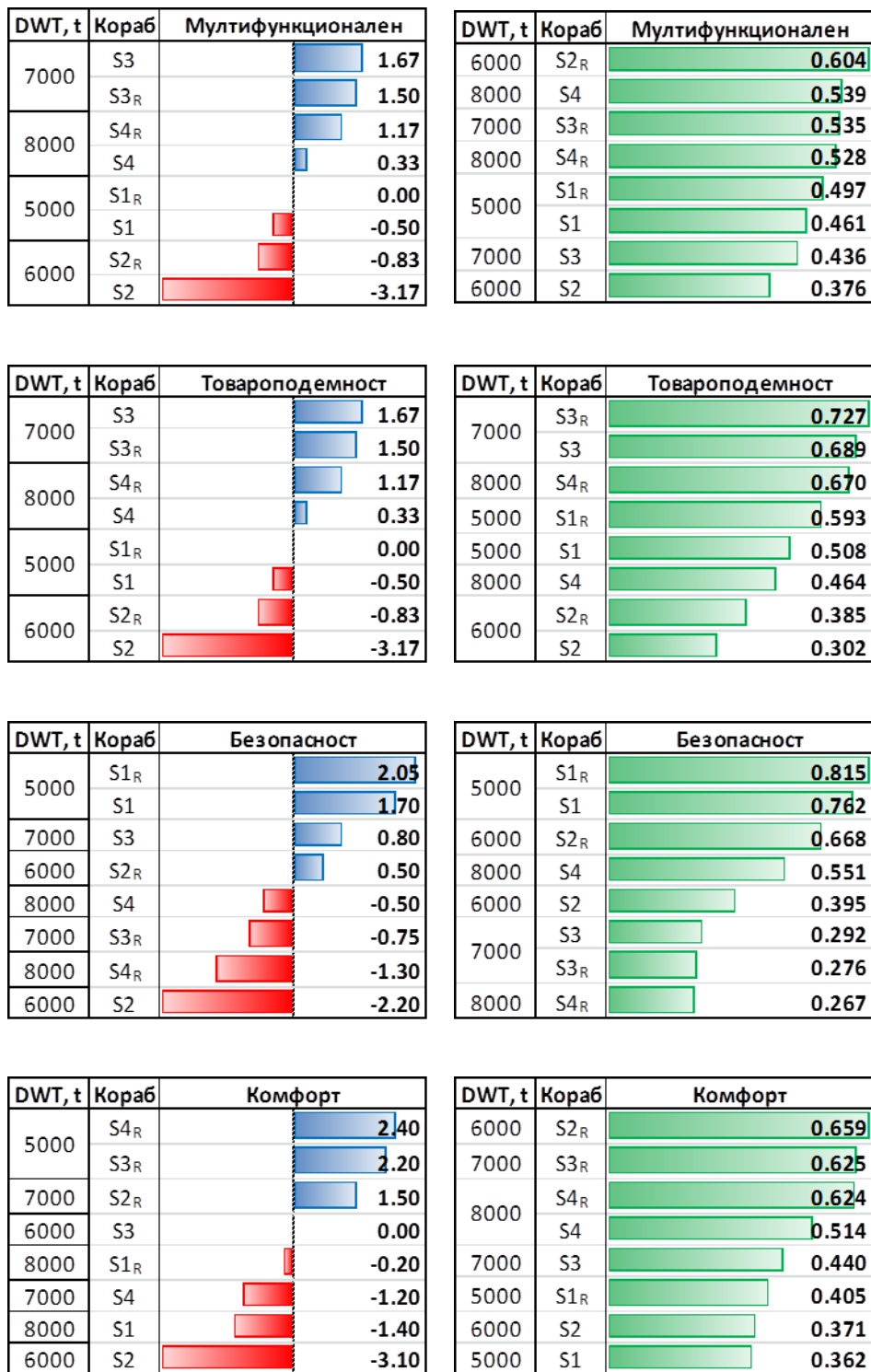
Като цяло, подреждането на алтернативите е различно за двата метода. Това е известен резултат в теорията и практика на методите за многокритериалното вземане на решения. Причината е в различните алгоритми на методите, базирани на различни теоретични постановки. Тези разлики ще намаляват, ако се увеличава броя на критериите използвани за оценка т.е. ако сме по-близо до пълната оценка на качествата на едно изделие то и оценките трябва да се сходят.

5.3. Многокритериална оценка на технологични схеми.

Многокритериална оценка е приложена и при разглеждане на двата варианта на строителни методи в условията на МСП описани в предходната глава: Вариант 1 – зонално изграждане на корабния корпус; Вариант 2 – зонално-блочен метод.

⁹ Разработена в Институт по информационни и комуникационни технологии – БАН, Секция: Информационни процеси и системи за вземане на решения

Използван е метода TOPSIS, като са приети няколко критерия: време за изработка на стоманения корпус, разходи, използване на подизпълнители и допълнителни разходи и други разходи и капиталовложения.



Фиг. 46. Съпоставка оценката на алтернативите по методите PROMETHEE II (ляво) и TOPSIS (дясно) (87)

Време за изработка на стоманения корпус. Човекочасовете за израждане на стоманения корпус MN_h в зависимост от главните размери се представени като:

$$MH_h = \frac{W_h^{0.281} L^{1.347} B^{1.142}}{D^{0.274} Cb^{0.487} i^{0.102}}$$

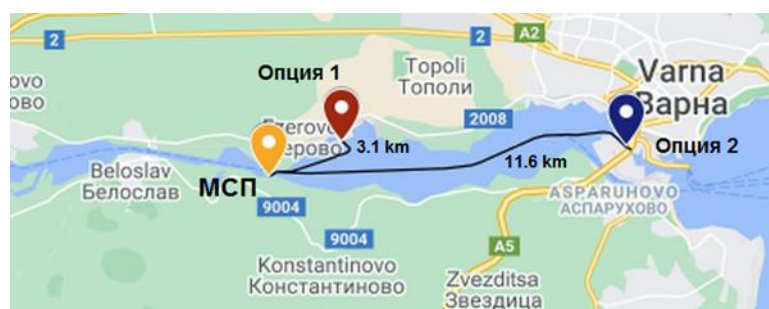
където: MH_h – човекочасове за изработката на стоманения корпус; W_h – маса на стоманения корпус, t; i – пореден номер на кораба в серията.

Чрез класическа схема на разположението на масата на стоманения корпус по дължина и коефициент за сложност на изработка на носова, кърмова и цилиндрична част е определена трудоемкостта за отделните части на корпуса

Разходи. Основните разходи са за материали, заплати и обезщетения, режимни и калкулирана печалба. В изследването са приети следните стойности: цена на стоманата 615 USD/t (507.3 €/t по курс от декември 2020); работна часова ставка 10 €; режимните разходи са 25% от разходите за заплатата, а печалбата е 5% върху разходите за материали, заплати и режимни.

Подизпълнители и допълнителни разходи. Използването на подизпълнители вместо разширяване на собствените мощности е широко използвана стратегия в корабостроенето. В конкретния случай са разгледани Опция 1 и Опция 2 като са отчетени и разстоянията по вода до МСП (Фиг. 47).

При оценката на технологичната схема с подизпълнител са отчетени и разходите за провлачването на блоковете до МСП, на база на актуалната тарифа на услугата предлагана от Параходство БМФ.



Фиг. 47. Разположение на възможни подизпълнители в района на МСП (собствена разработка в Google Maps) (89)

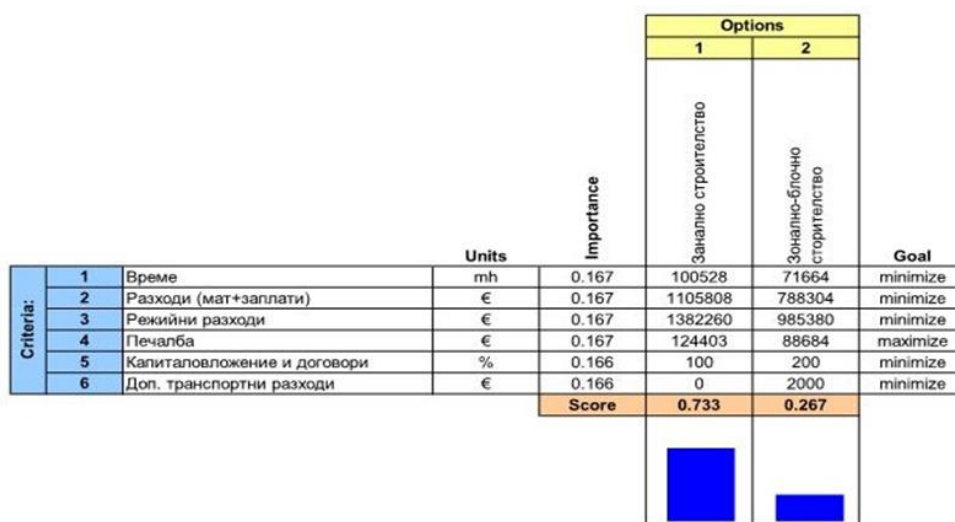
Други разходи и капиталовложения. Други разходи на МСП са свързани и с наемането на допълнителен персонал, който да отговори на по-големия брой човекочасове, необходими за изграждане на корпуса по първата технологична схема.

Към необходимите капиталовложения при зонално-блочния метод е добавено и строителството или наемането на баржа с адекватна товароподемност, която да е оборудвана с релсов път, за транспортиране на кърмовия и носови блок от предприятието - подизпълнител.

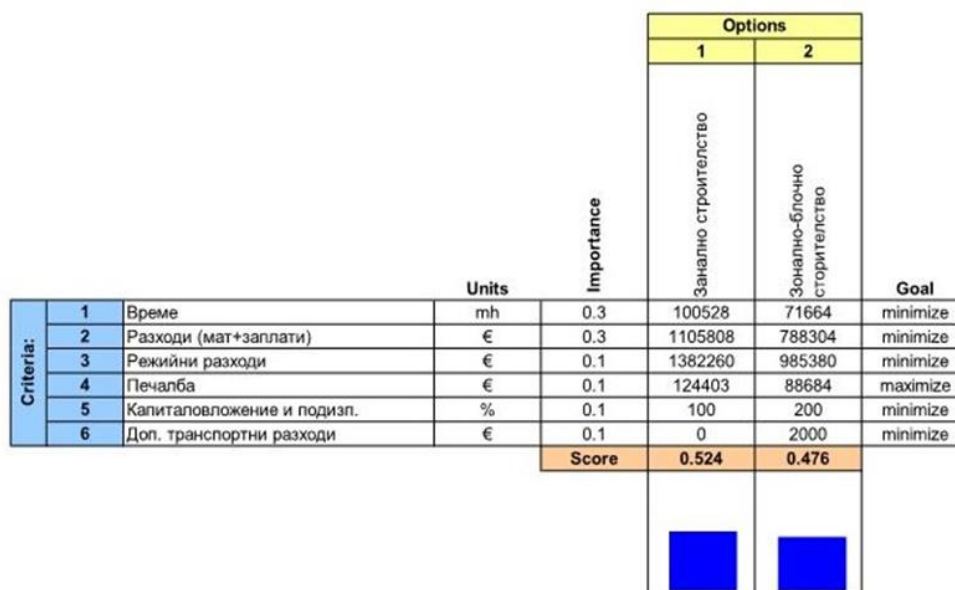
На Фиг. 48 е представена оценката на алтернативите при еднаква значимост на критериите. В този случай, силно предпочитана е зоналната технология за строителство. При задаване на приоритет за първите два критерия - време и разходи (материали + заплати) с тегло 0.3 и 0.1 за останалите, то двете технологични схеми са приближават значително по своите оценки (Фиг. 49).

При различни тегловни коефициенти, с увеличение за капиталовложенията и разходите за подизпълнители при зонално-блочната технология оценката ѝ спада (Фиг.

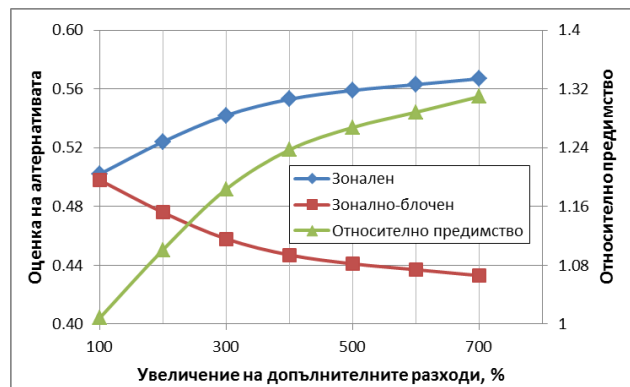
50) за сметка на зоналната схема. На фигурата е показана и степента на превъзходство с увеличаване на допълнителните разходи при зонално-блочната схема. Така например, при седемкратно увеличение на допълнителните разходи при зонално-блочния методи предимството на секционния метод е близо 30% по-голямо. Това може да бъде добър ориентир, при прецизна оценка на допълнителните разходи и съпоставка с алтернативния метод за строителство на кораба.



Фиг. 48. Оценка на алтернативите чрез TOPSIS при еднаква значимост на критериите (90)



Фиг. 49. Оценка на алтернативите чрез TOPSIS при зададени приоритетни критерии (91)



Фиг. 50 Изменение на оценката за зонално-блочната технология в зависимост от увеличението на разходите за капиталовложение и подизпълнителство (92).

Резултати от изследванията в пета глава:

1. В тази глава в изпълнение на поставената задача са представени различни методи за многокритериално вземане на решения (ММВР) чрез техните математически апарати;
2. За реализиране на частта „анализ“ в предложената методика са подбрани критерии и алтернативи за многокритериална оценка на проектните и технологични решения в етапа на концептуално проектиране на група МТК;
3. Чрез ММВР - PROMETHEE II и TOPSIS, са сравнени проектните алтернативи за двете групи МТК – с и без ограничение в широчината на кораба. Потвърждава се оценката, че корабите с ограничена широчина съобразена с условията за строителство в МСП нямат по-лоши комплексни качества, при различни проектни сценарии и приоритет на отделни функционални качества;
4. Предложени са критерии за оценка и многокритериален анализ на технологичните схеми. Анализът чрез TOPSIS позволява бърза оценка между технологии, която се влияе адекватно от зададените условия. Оценките на анализиранияте технологии са чувствителни към значимостта на избраните критерии. От силно предимство на зоналната технология за строителство при еднаква значимост на критериите, до почти еднаква оценка между зоналната и блочно-зоналната при приоритет на времето и разходите за строителство.
5. Демонстрираният подход за многокритериално вземане на решение позволява бързо, без необходимост от значителен изчислителен ресурс и използване на сложни софтуерни продукти да се направи оценка на алтернативите, както по отношение на проектните решения, така и за използваната технологична схема. Възможно е да се оценят технологичните схеми и при различен приоритет на критериите и във функция от значението на един или два критерия.

Основни изводи:

1. Разработена е методика отчитаща ограничения свързани с параметри на съоръженията за строителство на кораби в условията на МСП;
2. Методиката е тествана чрез разработване на концептуален проект на две групи МТК с дедуейт: 5,000; 6,000; 7,000 и 8,000 t с и без отчитане на

- ограниченията в широчината на кораба породени от условията на ПСС в МСП;
3. Анализът на експлоатационните качества на двете групи показва, че корабите с еднаква широчина поради наложените ограничения, нямат по-лоши, а в някои случаи и значително превъзхождат по експлоатационни качества, съответните кораби без ограничения. Като най-подходящ за условията на разгледаното МСП се оказва кораба с дедуейт около 7,000 t;
 4. Изследван и доказан е положителният ефект от унификация и на височината на борда на групата МТК. Този ефект е както по отношение експлоатационните качества, така и за повишаване на производителността на МСП;
 5. На базата на детайлно проектиране на блок от цилиндричната част на корабите са оценени три варианта на корпусната конструкция. Вариантът с булбови профили в двойното дъно и двойния борд е за предпочитане по отношение на важни характеристики, като дължина на рязане и заваряване и маса;
 6. Демонстрирано е прилагане на коефициента на серийност при изработване на конструкцията на цилиндричната част на корабите от анализираната гама. В зависимост от строителната програма и поредността на конкретен кораб, намалението на трудоемкостта за цилиндричната част може да достигне до 20%;
 7. Описани са етапите от два строителни метода - зонален и зонално-блочен, съобразени с условията на МСП, като са посочени предимствата и недостатъците на всеки от тях;
 8. Представена е процедура за многокритериално вземане на решения по отношение, както на проектните, така и на технологичните характеристики. Комплексно са оценени двете групи кораби по: товарна вместимост за насипни товари; контейнеровместимост; начална устойчивост; индекс на вертикални ускорения в носа; индекс на потапяне на винта; индекс на допълнително вълново съпротивление. Анализът показва, че корабите с ограничена широчина имат в някои случаи по-високи комплексни показатели, в зависимост от проектен сценарий или при превес на един или друг критерий;
 9. Многокритериално вземане на решение е демонстрирано и по отношение на технологичните схеми за строителство, като са използвани критериите: време; разходи (материали+заплати); режимни разходи; капиталовложения и подизпълнители; допълнителни транспортни разходи. Създадена е процедура, чрез която могат да се анализират предимствата на всяка от технологичните схеми при различни теглови коефициенти на критериите и вариране на техните показатели.

Приноси в дисертационния труд

Научно-приложни приноси:

1. Предложена е методика за проектиране и анализ на концептуалния проект на кораб с отчитане на условията за строителство в корабостроително МСП;

2. Доказано е, че корабите с ограничение в широчината поради характеристика на ПСС в МСП не отстъпват по експлоатационни качества от корабите със същия дедуейт, но без ограничения;
3. Установено е, че в допълнение към еднаквата широчина, унифицирането на височината на борда за група среднотонажни многоцелеви транспортни кораби, води до положителен ефект, като в експлоатационните качества, така и по отношение на подобряване на производителността на МСП;
4. Въведени са методите за многокритериално вземане на решения при обосновка на проектните характеристики и са формулирани критерии за оценка на технологични схеми с отчитане условията на МСП.

Приложни:

1. Предложени са регресионни зависимости за връзката между главните размери и дедуейта за сухотоварни кораби използвани за морски транспорт на къси разстояния. Зависимостите за тонажа и товарната вместимост от дедуейта могат да се използват директно в етапите на начално проектиране на кораба;
2. Разкрита е възможност за отчитане серийността при изработване на корпусните конструкции от цилиндричната част на корабите в зависимост от строителната програма и поредността в серията, като е установено до 20% намаление на трудоемкостта при определени условия;
3. Анализирани са ефекта от геометрична и конструктивна унификация на напречното сечение, чрез моделиране на три варианта на напречното сечение чрез MARS2000 и детайлно моделиране на блок от цилиндричната част чрез AVEVA Marine. Установено е, че предимство има варианта с булбов профил за надлъжните елементи в двойното дъно и двойния борд.

Списък на публикуваните работи по темата на дисертацията.

1. **Denev, Y., Georgiev, P. Garbatov, Y.**(2018). Analysis of multipurpose ship performance accounting for SME shipyard building limitations, Progress in Maritime Engineering and Technology – Guedes Soares & Santos (Eds.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-58539-3, pp 165-171 (**SCOPUS**)
2. **Денев, Й.**, Многокритериално вземане на решения в корабостроенето”, 2018, сп., Известия” секция,, Технически науки” ISSN 1310-5833 към съюза на учените гр. Варна;
3. **Denev, Y.**, ПОВИШАВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО В КОРАБОСТРОИТЕЛНО МСП ЧРЕЗ *DESIGN FOR 'X'* “, Strategy of Quality in Industry and Education, С. Т. Хохлова, О. Ю. Ступак, Варна 2019, р. 502-507, ISBN 978-617-7433-81-0;
4. Georgiev. P, Garbatov, Y., Kirilov, L., **Denev, Y.** (2020) Multi attribute design decision solution of MPV accounting for shipyards building constraints”, Sustainable Development AND Innovations in Marine Technologies, Eds. P.Georgiev & C. Guedes Soares, Taylor&Francis, London, 2020, p. 354-361 (**SCOPUS**).

Design and construction of a ship in SME shipyard

(Abstract)

The goal of the thesis is to analyse the possibilities for increasing efficiency in design and construction of ships in SME shipyard. The study is motivated by two strategies in Europe – promotion of short sea shipping (SSS) and increasing the efficiency of SMEs in shipbuilding in order to restore Europe's position in the industry and provide employment for young people.

Chapter one presents current state in SSS and attention is paid to the new environmental requirements for maritime transport, which impose serious restrictions on the SSS that has taken place in the emission control areas. The condition of the fleet and the possibilities for shipbuilding potential in the Eastern Mediterranean and the Black Sea region are analysed. The “Design for Manufacturing” approach and modularization are presented to look for opportunities for their application in SMEs. Finally, the multi criteria decision making methods and their application in shipbuilding industry are summarised.

Chapter two deals with the definition of design methodology taking into account the limitations due to the shipyard equipment. Two groups of MPV in the range of 5000 – 8000 tDW were designed and compared by their performance characteristics.

Chapter three considers the geometrical – equal breadth and depth of the ships in the series and structural unification of hull structure, and other equipment - anchor, mooring and lifesaving equipment. The propeller design and corresponding evaluation of the break power showed an increase of the last for the largest ship by about 30%.

Chapter four is focused in technological scheme for ship hull building in SME. Two shipbuilding methods – zone construction and zone-block construction are described and analysed for technological equipment in SME.

In chapter five, the applied MCDM methods prove that the ships designed taking into account the limitations in the equipment of SMEs do not have worse characteristics than those without restrictions and can be built in the conditions of SMEs with the application of the considered unification and technological schemes.