

АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА КОРАБИ ЗА ОБСЛУЖВАНЕ НА ДЕЙНОСТИ В ШЕЛФА

STABILITY ANALYSIS OF OFFSHORE SUPPORT VESSELS

Петър Георгиев, Костадин Колев, Христо Георгиев

Abstract: *In recent years there has been an increase in orders for construction of offshore support vessels (OSV). This is related to the increased number of commissioned platforms for drilling and production of oil and gas. There is some experience of the successful operation of such a vessel in Bulgaria. The OSV vessel “Enterprise” has been nominated by EMSA to combat spills in accidents in the Black Sea. Stability is an important quality for each vessel, but it must be with a particular attention to the OSV due to various operations being carried out by those vessels. The analysis is performed by evaluating the maximum permissible KG for different ship hulls obtained by affine transformation of parent hull form..*

Keywords: *Affine transformations, maximum permissible KG, OSV, stability.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Търсенето и добиването на суровини се премества с бързи темпове от сушата към крайбрежните зони, а в наши дни - на значителни разстояния от брега. Тези дейности са немислими без чернороботниците в офшорната индустрия - снабдителните кораби (OSV - *Offshore Support Vessels*). Макар и не големи като размери, те са натоварени с множество функции, които ги правят сложни както за проектиране така и постройка и експлоатация.

Офшорната дейност в шелфа на България не е особено богата и се изразява с работата на платформа „Галата“ за добив на газ, предстоящите проучвания за нефт и газ в българските сектори на Черно море и прокарането на тръбопровода “Южен поток”. Всички дейности в шелфа на България в момента се обслужват от кораба "Ентърпрайз" собственост на фирмата “Бон Марин Интернешънъл”. Корабът е номиниран от EMSA (European Maritime Safety Agency) за борба с разливи при аварии в Черно море, за което той е съответно преоборудван.

От специфичните качества на корабите, е избрана и анализирана устойчивостта - важно качество за всеки кораб, но от особено значение отчитайки разнообразните операции, извършвани от OSV. Анализът на устойчивостта се изразява в оценка на изменението на максимално допустимата

апликацията на ЦТ при предварително задаване на безразмерни отношения на главните размери и афинни преобразования на корабната форма.

2. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА OSV

Абревиатурата OSV е станала нарицателна в специализираната литература. Тя може да означава *Offshore Supply Vessel*, но и по-често използваното *Offshore Support Vessel*. На български е популярно наименованието “*снабдителен кораб*”. В текста на изложението ще се използва съкращението OSV, като универсално.

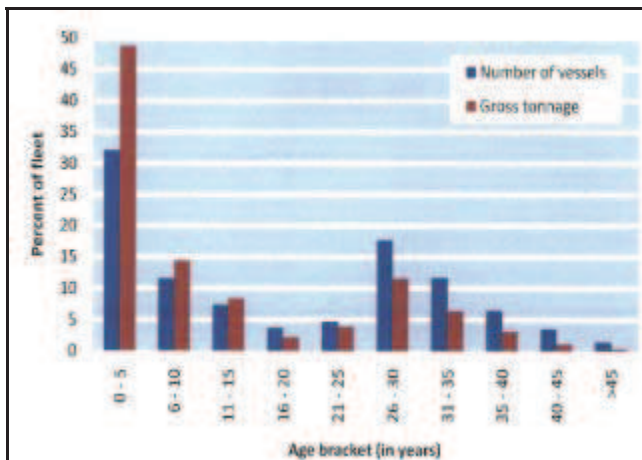
Съществуват няколко типа кораби за обслужване на различни дейности в офшорната зона, като част от тях са представени накратко в следващото изложение.

2.1. Възраст на корабите

Подробно изследване на структурата на флота към 2011 е представено в [1]. В този анализ корабите са групирани в четири категории: 1) AHTS (*Anchor handling tug supply*); 2) PSV (*Platform Supply Vessels*); 3) Crewboats; 4) MPCV (*Multi-purpose construction vessels*). Последната група е многоцелеви кораб с различни възможности за инсталация, обслужване и ремонт на морски съоръжения.

Средната възраст на корабите от анализиранияте категории е малко под 18 години, която е почти 5 години по-малка от

възрастта през 2005. Данните са обобщени на Фиг. 1.



Фигура 1. Разпределение на корабите по възраст [1]

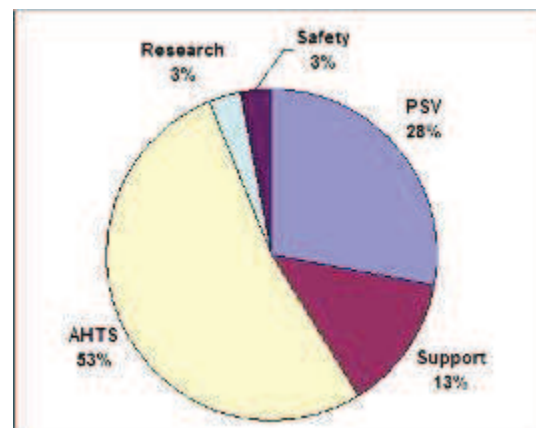
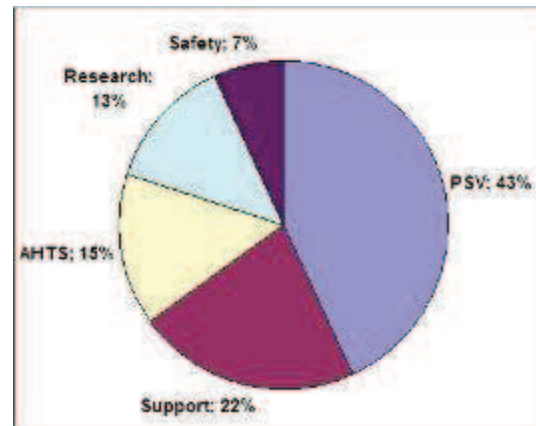
Първият извод е, че около 50% от флота по отношение на тонажа е под 5 години, и около половината от общия брой кораби е на възраст под 18 години. Авторът в [1] разделя флота на “нов” и “стар” и прави заключението, че старият флот се състои от голям брой кораби, който не води до значителен процент от тонажа, както това е валидно за новите кораби. Причината е старите кораби не са проектирани за сегашните нужди на дълбоководни сондажи, отдалечени на по-големи разстояния от брега.

2.2. Структура на флота

Съвременния флот от OSV наброява над 8000 кораба с общ GT над 10 млн. [2] Разпределението по брой между съществуващите и поръчани кораби от всеки тип са представени на Фиг. 2. Най-голям дял имат PCV и AHTS както при наличния флот така и при поръчките.

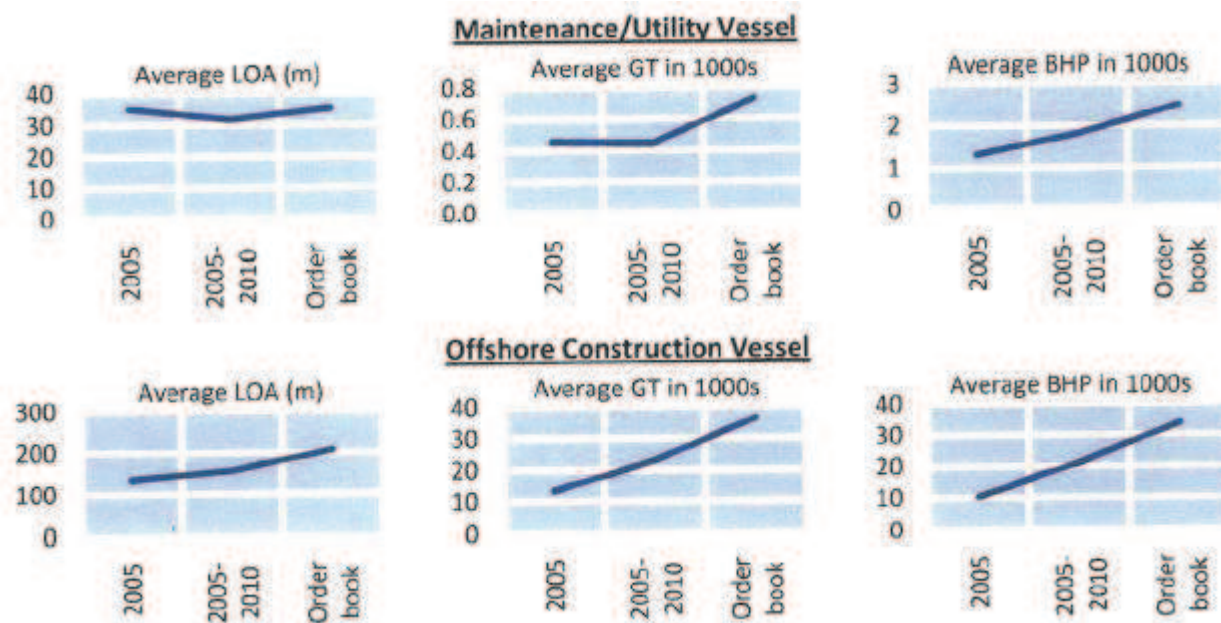
2.3. Тенденции при различните групи кораби

За да се добие представа за тенденциите и при други типове кораби, са представени данните от [2], където графично са показани тенденциите в изменението на: максималната дължина – LOA; средния бруто тонаж – GT и мощността на двигателя – ВНР. Графиките очертават следните тенденции:



Фиг. 2. Процентно разпределение на съществуващия флот (горе) и направените поръчки (долу) по типове към юни 2010 [2]

- Докато поръчките за АНТ/salvage корабите са за такива с по-малка дължина, и значително намалена мощност, то поръчаните АНТ и АНТС кораби са с по-голяма дължина, по-голям тонаж, без да се увеличава мощността.
- За *Offshore construction* и *Offshore maintenance* кораби тенденциите и за трите показатели са нагоре, което е свързано вероятно с увеличените изисквания към товароподемността при проектите в шелфа на по-голяма дълбочина.
- При OSV корабите тенденциите са за запазване на показателите при новите поръчки.



Фиг.3. Тенденции в LOA, GT и BHP от 2005 до 2011 и при поръчките за различни типове кораби [2]

Според [3] бъдещото развитие на OSV се заключава в следното:

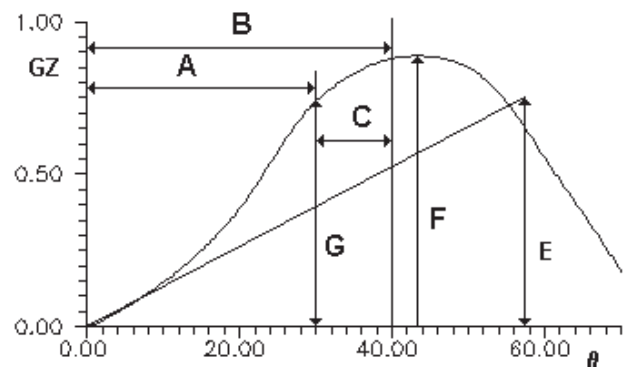
- Ще продължат да се строят по-големи и многофункционални кораби, което може да доведе до скок в предлагането в сравнение с търсенето;
- Повече офшорни кораби за доставка, ще имат системи за динамично позициониране, а много от тях ще бъдат модернизирани с монтирането на такива от по-висок клас;
- Очаква се фокусиране на усилията на ИМО за прилагане на енергийната ефективност чрез EEDI (*Energy Efficiency Design Index*) към снабдителните кораби. Тези правила са задължителни за търговските кораби от 1 януари 2013 година;
- Независимо от ИМО наемателите на OSV ще търсят високо ефективни кораби;
- Новите офшорни кораби, ще имат по-големи, по-тихи жилищни помещения, които да отговарят на изискванията на Правилата и нуждите на екипажите;
- Очаква да се увеличи броят на лицата, които могат да бъдат на борда на кораба след финализиране на разработваните Правила от ИМО.

3. АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА

Отчитайки особеностите в експлоатацията на OSV - разполагане на палубен товар; едновременно превозване и на течни товари с възможна свободна повърхност; стремеж за универсалност и изпълняване на няколко функции; изпълнение на спешни операции, без достатъчно време за планиране, се поставя като актуален въпроса за устойчивостта на тези кораби.

3.1. Критерии за устойчивост на OSV

Критериите за устойчивостта на OSV са дадени в *Intact Stability Code* (IS Code [4]). Тези критерии са дефинирани в Part B Ch. 2.4. Там се прави препратка към Ch. 2.2, които правила са приложими за всички търговски кораби (Фиг.4).



Фиг. 4. Схема на изискванията към устойчивостта

Разгледани са следните критерии:

- Площта под диаграмата на статична устойчивост (GZ крива) не трябва да бъде по-малка от 0.055 mrad до ъгъл на крен $\theta = 30^\circ$ (А), и не по-малка от 0.09 mrad до ъгъл на крен $\theta = 40^\circ$ или ъгълът на заливане θ_f ако той и по-малък (В). В допълнение, площта под диаграмата между ъглите на крен 30° и 40° или между 30° и друг ъгъл θ_f , ако този ъгъл е по-малък от 40° , трябва да бъде не по-малка от 0.03 mrad (С).
- Началната метацентрична височина GM, трябва да бъде не по-малко от 0.15 m. (Е)
- Рамото на устойчивост трябва да бъде най-малко 0.20 m при ъгъл на крен равен или по-голям от 30° (F) ;
- Максималната стойност на рамото на статична устойчивост GZ_{max} , трябва да бъде при ъгъл не по-малък от 25° ;

Ако характеристиките на кораба са такива, че не могат да се удовлетворят изброените критерии се допуска използването на алтернативни критерии (Ch. 2.4.5 [4]). Те се прилагат за кораби с дължина до 100 m . Тези алтернативни критерии са:

- Площта под диаграмата на статична устойчивост (GZ крива) не трябва да бъде по-малка от 0.07 mrad до ъгъл на крен $\theta = 15^\circ$, когато максималното рамо се намира при 15° и не по-малка от 0.055 mrad до ъгъл на крен $\theta = 30^\circ$, когато максималното рамо е при ъгъл на крен 30° и по-голям. Когато максималното рамо на диаграмата е между 15° и 30° , то площта под диаграмата трябва да бъде: $0.055 + 0.001(30^\circ - \theta_{max})$, mrad, където θ_{max} – ъгълът на максималното рамо.
- Критерии F, E (виж по-горе)
- Максималната стойност на рамото на статична устойчивост GZ_{max} , трябва да бъде при ъгъл не по-малък от 15° .

3.2. Максимално допустима апликаата на ЦТ-KG_{max}

Анализът на устойчивостта е извършен по отношение на критериите А, В, С и Е. За всеки от тях е определена максимално

допустимата апликаата на ЦТ – KG_{max} , при която критерият се изпълнява точно. Стойностите на KG_{max} свързани с диаграмата на статична устойчивост се пресмятат от

$$GZ(\theta) = KN(\theta) - KG \cdot \sin \theta \quad (1)$$

където: KN – рамо на устойчивост на формата; KG – апликаата на ЦТ; θ – ъгъл на крен. Например, за критерий А максимално допустимата апликаата ще удовлетворява равенството

$$A_{30} = \int_0^{30} GZ(\theta) d\theta = \int_0^{30} [KN(\theta) - KG \sin \theta] d\theta = \int_0^{30} KN(\theta) - KG \int_0^{30} \sin \theta d\theta = 0.055 \quad (2)$$

От израз подобен на (2) и аналогични разсъждения за останалите критерии се получава:

$$KG_{max}^{(A)} = \frac{0.055 - I_{30}}{(\cos 30 - \cos 0)} \quad (3)$$

$$KG_{max}^{(B)} = \frac{0.09 - I_{40}}{(\cos 40 - \cos 0)} \quad (4)$$

$$KG_{max}^{(C)} = \frac{0.03 - (I_{40} - I_{30})}{(\cos 40 - \cos 30)} \quad (5)$$

$$KG_{max}^{(E)} = KM - 0.15 \quad (6)$$

където:

$$I_{30} = \int_0^{30} KN(\theta) d\theta ; I_{40} = \int_0^{40} KN(\theta) d\theta \quad (7)$$

3.3. Афинни преобразования на корабната форма

При афинни преобразования, новата корабна форма се получава на базата на съществуваща (прототип) чрез мащабиране на главните размери – дължина - L, широчина - B и височина (газена) – D (T).

Нека приемем следните три съотношения за параметри на новия и съществуващия кораб – r_1 , r_2 и r_3

$$r_1 = \frac{\nabla}{\nabla_0} ; r_2 = \frac{L/\nabla^{1/3}}{L_0/\nabla_0^{1/3}} ; r_3 = \frac{B/T}{B_0/T_0} \quad (8)$$

С индекс “0” са параметрите на кораба прототип. Отношенията $r_1 - r_3$ могат да се

свържат с параметрите и качествата на новия кораб: r_1 – водоизместване, r_2 – ходкост и r_3 – устойчивост. Проектирането на нов кораб може да се основава на модификация на съществуващ проект. Проведеният анализ ще покаже до каква степен приетите стойности на трите съотношения предопределят качествата на кораба.

Ако приемем следните отношения на главните размери

$$K_L = \frac{L}{L_0}; \quad K_B = \frac{B}{B_0}; \quad K_T = \frac{T}{T_0} \quad (9)$$

и отчетем, че $\nabla = K_L \cdot K_B \cdot K_T \cdot \nabla_0$, то ще се получи следното:

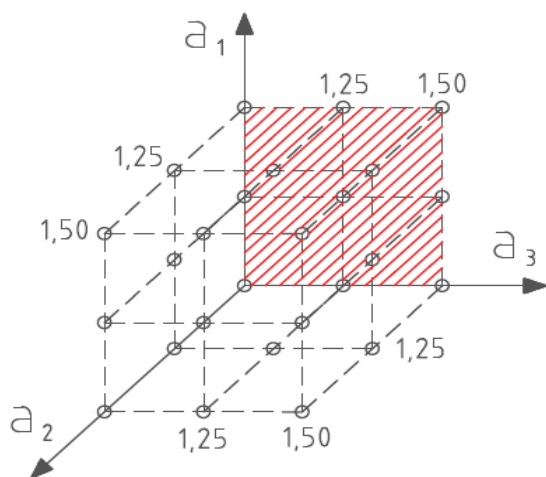
$$K_L \cdot K_B \cdot K_T = r_1; \quad \frac{K_L^2}{K_B \cdot K_T} = r_2^3; \quad \frac{K_B}{K_T} = r_3 \quad (10)$$

От съвместното решаване на уравнения (10) се получава:

$$K_L = r_1^{1/3} \cdot r_2; \quad K_B = r_1^{1/3} \cdot \sqrt{\frac{r_3}{r_2}}; \quad K_T = \frac{r_1^{1/3}}{\sqrt{r_2 \cdot r_3}} \quad (11)$$

Чрез формули (11) може да се пресметнат коефициентите за мащабиране на главните размери, при зададени стойности на съотношенията r_1 - r_3 .

Ако приемем, две нови стойности за r_1 , r_2 , r_3 то можем да получим $3^3 - 1 = 26$ нови варианта на кораба базирани на този прототип. Нагледно вариантите са представени на Фиг. 5 при стойности на r_1 - $r_3 = 1.0; 1.25$ и 1.50 .



Фиг. 5. Варианти на кораби при изменение на съотношенията r_1 - r_3 (на графиката означени с a_1 - a_3)

В анализът се използват само три от вариантите на кораба (Табл. 1) с промяна на съотношението r_1 и r_3 :

Табл. 1. Параметри на изследваните варианти

Параметър	Var 0	Var 1	Var 2
r_1	1	1.25	1.50
r_2	1	1	1
r_3	1	1.25	1.50
K_L	1.00	1.0771	1.1454
K_B	1.00	1.2043	1.4022
K_T	1.00	0.9638	0.9348

Координатите на всяка точка от новата корабна форма се получава от:

$$x = x_0 \cdot K_L; \quad y = y_0 \cdot K_B; \quad z = z_0 \cdot K_T \quad (12)$$

3.4. Последователност на анализа

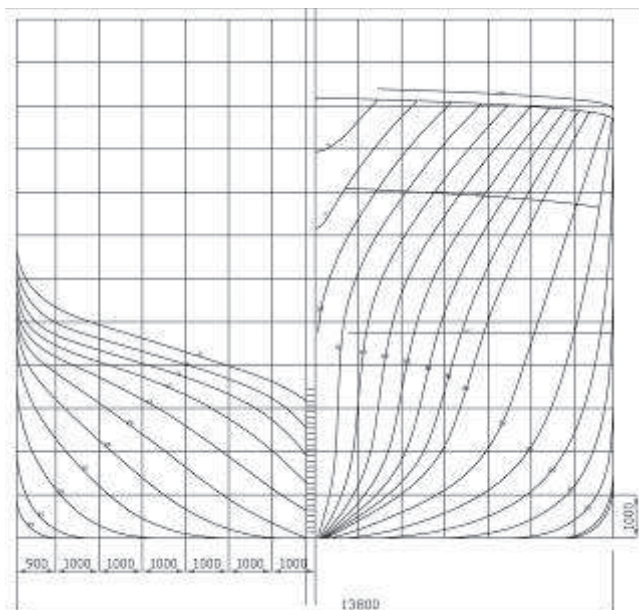
Последователността на провеждане на анализа е следната:

- На базата на данните за ребрата на кораба прототип, се пресмятат новите координати за Var1 и Var2;
- Данните са въвеждат в ModelMaker на софтуерната система Autoship;
- Чрез програмата AutoHydro се пресмятат хидростатичните елементи и рамената на устойчивост на формата (пантокарени) за трите варианта за определен диапазон от газения;
- За трите корабни форми се определят максимално допустимите апликати на ЦТ, и се намира общата крива на KG_{max} . Пресмятанятия се извършват, като се използва числено интегриране по правилото на трапеците;
- Получените максимално допустими апликати на ЦТ за двете нови корабни форми се съпоставят и се правят съответните изводи.

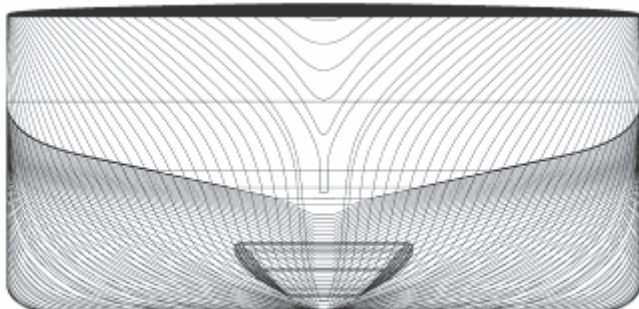
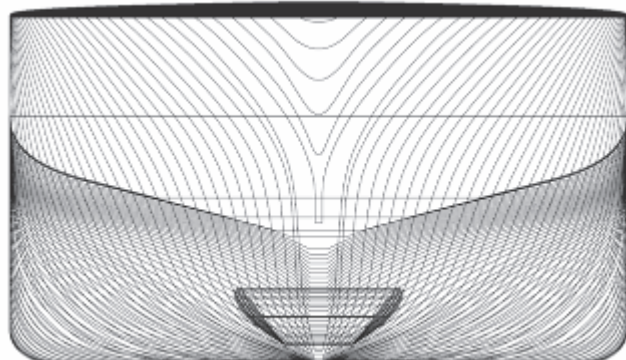
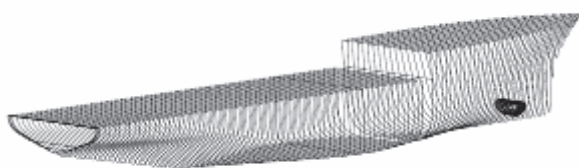
3.5. Резултати

На Фиг. 6 е представена проекция корпус на прототипната корабна форма. Главните размери на прототипа $L/B/D$ са $56.40/13.80/6.90$ m. На Фиг. 7 е представен Var1 и Var2, получен чрез афинно преобразуване. На фигурата е представено и

изометрично изображение на корпуса на кораба.

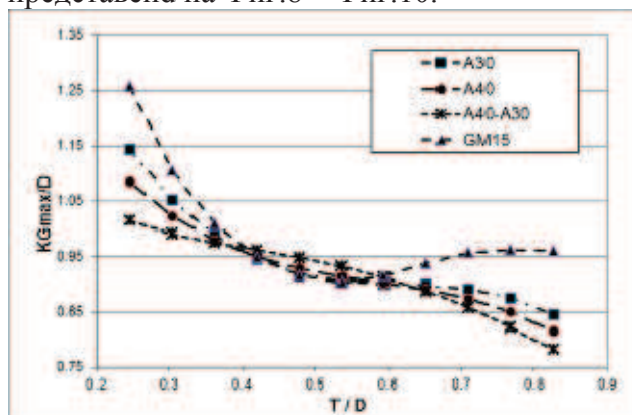


Фиг. 6. Проекция корпус на прототипа

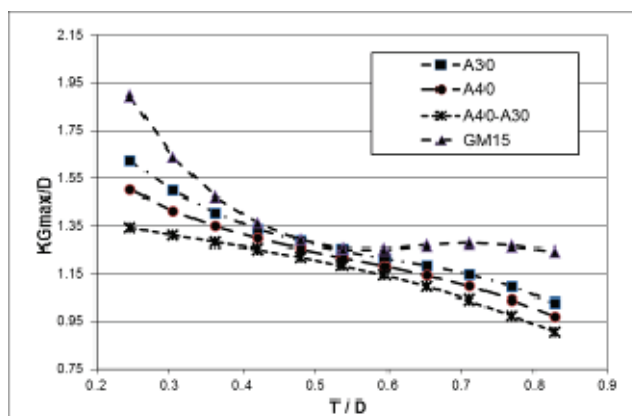


Фиг. 7. Корабната форма на Var1 (горе) и Var2 (долу)

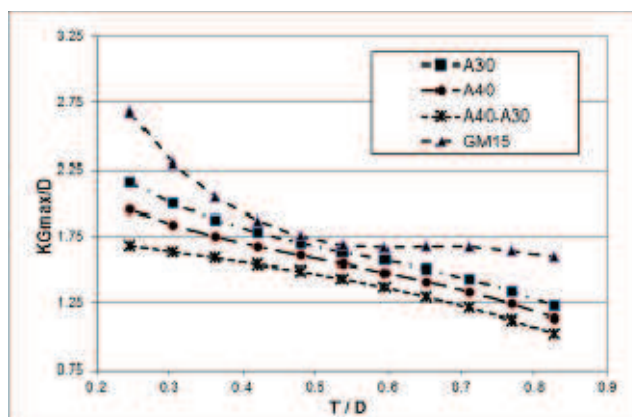
Апликатата KG_{max} отнесена към височината на борда D в зависимост от относителното газене T/D за вариантите е представен на Фиг.8 – Фиг.10.



Фиг. 8. Относителна KG_{max} за Var0



Фиг. 9. Относителна KG_{max} за Var1

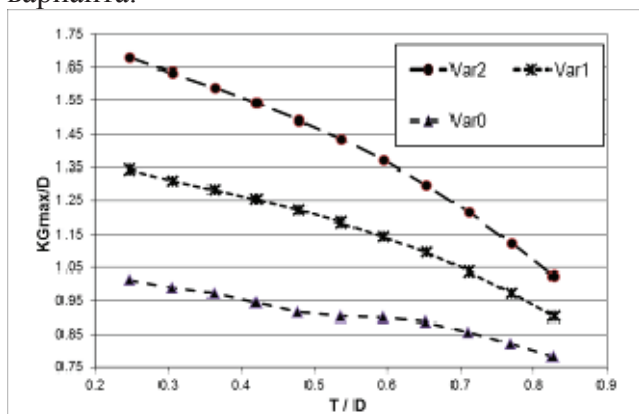


Фиг. 10. Относителна KG_{max} за Var1

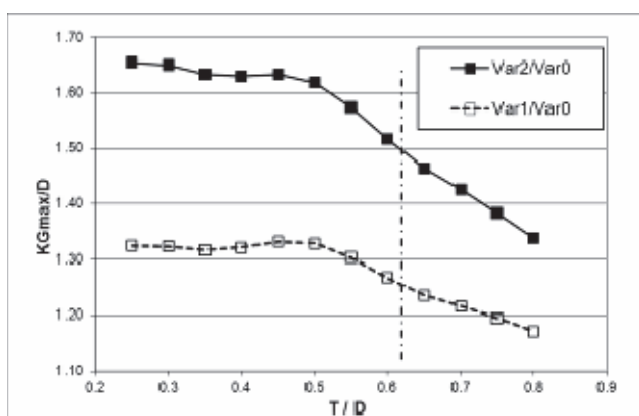
От тези фигури ясно се вижда, че с увеличаване на отношението V/T се увеличава максимално допустимата аплика на ЦТ отнесена към височината на борда. Променя се и структурата на лимитиращите критерии, като изискването за метacentричната

височина става неактивно, при увличаване на В/Т.

На Фиг. 11 и Фиг. 12 са съпоставени граничните криви за KG_{\max}/D при трите варианта.



Фиг. 11. Съпоставка на граничните криви KG_{\max}/D за разгледаните варианти.



Фиг. 12. Съпоставка на увеличението на KG_{\max}/D за Var1 и Var2 спрямо Var0.

На Фиг. 12 са показани стойностите за Var 1 и Var 2 отнесени към тези за изходния вариант.

Беглият поглед на кривите от Фиг. 11 и 12 показва, че относителните максимално допустими апликати на ЦТ на вариантите 1 и 2 са по-големи от тези на кораба прототип. Това увеличение за диапазона от относително газене 0.25 – 0.80 е в границите на 17 – 32 % за Var1 и 34 - 65% за Var2. При по-големите газения, увеличението намалява по стойност. Прави впечатление (без да се търси причината за това), че при една и съща стойност на газенето $T/D = 0.62$, увеличението на KG_{\max} е с 25% при Var1 и 50% за Var2, което съвпада със зададеното увеличение на отношението В/Т на кораба прототип.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Темата на изследването е свързана с определен тип кораби, които не са добре познати в българската практика, но се счита, че за в бъдеще те ще се срещат все по-често в крайбрежните води на България. Представени са особености и тенденциите за развитието на някои от най-често използваните типове кораби:

- Дейностите по търсене и добиване на нефт и природен газ се изместват все по-далеко от брега, и обслужващите кораби стават по-големи с основен стремеж за по-голяма универсалност;
- Съчетаването на няколко дейности, води до сериозни проблеми при проектирането на кораба и отчитането на различни изисквания;
- Сериозен проблем за тези кораби може да бъде тяхната устойчивост, поради естеството на работа – превозване на товари на палубата; приемане на течни товари със свободни повърхности; дейности в сложни метеорологични условия; действия в условия на спешен случай и др.

Извършен е анализ на критериите за устойчивост за OSV при различни корабни форми, чрез сравняване на относителните максимално допустими апликати на ЦТ за диапазон от газения на кораба. Използвана е типична форма на OSV, като са разгледани два нови варианта, получени чрез афинни преобразования. Коефициентите за мащабиране на координатите са получени чрез предварително зададено увеличение на водоизместването и отношението В/Т на новите варианти с 25% и 50 % спрямо прототипа. Целта е да се оцени количествено влиянието върху устойчивостта на отношението В/Т при кораб с по-голямо водоизместване. На базата на получените резултати могат да се направят следните първоначални изводи:

- При увеличаване на отношението В/Т и водоизместването с 25% спрямо прототипа, се достига увеличение на максимално допустимата апликация на ЦТ в диапазона 17% до 32%, като по-голямата стойност е при малките газения

- При същото увеличение с 50%, се достига увеличение на максимално допустимата апликация на ЦТ в диапазона 34% до 65%, като по-голямата стойност е при малките газения.
- Прави се хипотезата (която се нуждае от допълнително доказване), че това се изменя линейно, и например при 30% увеличение на водоизместването и отношението В/Т, увеличението на KG_{max}/D ще бъде в границите на 20.4 – 40.2 %.
- Направеното изследване показва количественото изражение на известен на корабните архитекти факт, че отношението В/Т влияе чувствително на устойчивостта на кораба

Представеният анализ може да бъде продължен и по отношение на третия параметър r_3 , свързан с относителната дължина на кораба, като тук може да се анализира изменението на съпротивлението на кораба, при изменение на относителната дължина.

Литература

- [1]. Rose, R.S. K. Future Characteristics of Offshore Support Vessels. Master thesis. MTI, February 2011
- [2]. de Jong, Gijsbert, Othman Kadir. Regulatory developments and their practical implementation in today's rapidly developing OSV & tug markets. Tugs & Offshore Support Vessels, Asia 2010 Kuala Lumpur, 7 & 8 October 2010
- [3]. Wells, R. The Past, Present, and Future of Offshore Supply Vessel. USCG Proceedings, Winter 2013–2014, pp 63- 66.
- [4]. RESOLUTION MSC.267(85) ADOPTION OF THE INTERNATIONAL CODE ON INTACT STABILITY, 2008 (2008 IS CODE)

За контакти

Петър Георгиев
доц. д-р
Технически университет - Варна
Зам. Декан НКР на КФ
e-mail:petar.ge@tu-varna.bg