

## تأثير الطاقة الكامنة خلال مرحلة التسارع على اتزان السفينة

الدكتورة نسرين محمد\*

(تاريخ الإيداع 13 / 6 / 2016. قُبل للنشر في 14 / 2 / 2017)

### □ ملخص □

يعتبر ارتفاع الماء تحت قرينة السفينة ( UKC ) من أكثر العوامل أهمية التي يتوقف عليها الإبحار الآمن في المياه المحدودة. ومن البديهي أن يتعلق هذا الارتفاع بشكل مباشر بمقدار هبوط السفينة الراسي أثناء إبحارها. يبين الموديل الرياضي الذي تم تطويره من قبل بعض الباحثين لتقييم هذا الهبوط وذلك عن طريق دراسة تغيرات الطاقة الكامنة الموافقة للحركة الرأسية للسفينة وجود ثلاثة أوضاع للتوازن : وضع توازن مستقر يمثل الغاطس الديناميكي (ship squat) ووضع توازن غير مستقر يمثل قاع افتراضي للسفينة بالنسبة لقاع منطقة الإبحار ووضع توازن مستقر ثاني لا يحمل أي دلالة فيزيائية بسبب توضع تحت القاع الفعلي لمجرى الإبحار. الهدف الأساسي من هذا البحث بناء موديل رياضي يوصف حركة السفينة أثناء مرحلة التسارع مع اعتماد جملة من الفرضيات المساعدة في تبسيط المعادلات ومن ثم دراسة تحول الطاقة الكامنة والحركية عند الإحداثي الشاقولي الموافق لوضع التوازن غير المستقر أي عند القاع الافتراضي للسفينة وذلك خلال مرحلة التسارع بعد الأخذ بعين الاعتبار قيم مختلفة لمدة التسارع وسرعة السفينة المطلوب بلوغها عند نهاية هذه المرحلة . تكمن أهمية النتائج التي تم التوصل إليها بدراسة تأثير بارامترات مرحلة التسارع على اتزان السفينة عند بلوغها وضع التوازن غير المستقر نتيجة الاهتزازات المتولدة في نهاية هذه المرحلة.

**الكلمات المفتاحية:** ديناميكية السفينة - مرحلة التسارع - الطاقة الكامنة - ارتفاع الماء تحت قرينة السفينة.

\*مدرس - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## The Effect of Potential Energy during Acceleration Phase on Vessel stability

Dr. Nisrine Mohamad\*

(Received 13 / 6 / 2016. Accepted 14 / 2 / 2017)

### □ ABSTRACT □

The under keel clearance (UKC) is considered as one of the most important factor which governs the navigation safety in restricted waterways. However, the notion of safe under keel clearance is directly related to ship sinkage. The recent researches to evaluate ship sinkage show that it is related to vessel potential energy. The curve of vessel displacement in heave motion as function of potential energy shows that a ship has three equilibrium positions; stable equilibrium position represents steady squat and unstable equilibrium position which can be considered as a virtual bottom for a ship, the third stable equilibrium position does not have any physical signification, since it lies below the bottom.

The principal goal of this paper is to develop a mathematical model for vessel motion during acceleration phase by considering several assumptions. Then, analyze the conversion of kinetic energy to potential energy at the unstable equilibrium position during acceleration phase. By taking into account the period during which the vessel accelerates as well as the vessel speed at the end of the acceleration phase. The results show that ship stability could be affected by the oscillations generated at the end of this phase.

**Key Words:** Ship Dynamics – Acceleration Phase- Potential Energy - Under Keel Clearance.

---

\* Assistant Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

**مقدمة:**

في مناطق الإبحار قليلة العمق يجب أن توفر قيم ارتفاع الماء تحت قرينة السفينة شروط إبحار آمنة تضمن اتزان السفينة وتجنبها زيادة كبيرة في قيمة غاطسها الستاتيكي يمكن القول بتعبير آخر يجب أن تحدد القيم الأصغرية الحدية لـ UKC بدقة عندما تكون منطقة الإبحار محدودة على المستوى الأفقي والشاقولي . يرتبط مفهوم القيم الآمنة لارتفاع الماء تحت قرينة السفينة بشكل مباشر بظاهرة هبوط السفينة الرأسية نتيجة لسرعتها. ولتحديد هذا الأخير يوجد في المراجع العلمية القديمة والحديثة عدد كبير من العلاقات الرياضية التي تمكن من تقييم هذا الهبوط بعدة طرق نصنفها كمايلي :

طرق نظرية [1],[2],[3],[4],[5],[6].

طرق تجريبية [7],[8].

طرق رقمية تعتمد على الفروق المنتهية [9] أو العناصر المنتهية [10],[11].

أحد الموديلات الرقمية التي تم اقتراحها تعتمد على طريقة العناصر المنتهية لتحليل ومحاكاة هبوط السفينة الرأسية مع الأخذ بعين الاعتبار لديناميكية السفينة [10]. حيث قام الباحثون باستنتاج حقل السرعة تحت قرينة السفينة من معادلة انحفاظ الكتلة (الاستمرار) ومن ثم تعويضه في معادلة انحفاظ الطاقة (برنولي) المطبقة بين نقطة على السطح الحر ونقطة أخرى تحت قرينة السفينة وذلك لاستنتاج حقل الضغط حول بدن السفينة وبعد مكاملة حقل الضغط للحصول على القوة الهيدوديناميكية الناتجة عن الإبحار بسرعة معينة تم استخدام القانون الأساسي في الديناميك (قانون نيوتن الثاني) الذي يضبط الحركة الشاقولية للسفينة. سمحت العلاقة الرياضية الناتجة بعد ضرب طرفيها بالسرعة الناتجة عن الإزاحة الشاقولية بالوصول إلى علاقة الطاقة الكامنة والحركية أثناء الحركة الاهتزازية الشاقولية للسفينة كمايلي:

تعطى الطاقة الكامنة بالعلاقة التالية:

$$E_p = -\rho g Lpp \left( T \zeta - \frac{\zeta^2}{2} \right) - 0.5 \rho Lpp V_{ship}^2 \left( \zeta + \frac{H^2}{H-T+\zeta} - \frac{H^2}{H-T} \right) + \rho g Lpp T \zeta \quad (1)$$

والطاقة الحركية تعطى بالعلاقة:

$$E_c = \frac{1}{2} m \left( \frac{d\zeta}{dt} \right)^2 \quad (2)$$

حيث أن:

$t$ : بارامتر الزمن [s].

$m$ : كتلة السفينة [kg].

$T$ : غاطس السفينة [m].

$g$ : تسارع الجاذبية  $m/s^2$ .

$\rho$ : الكتلة الحجمية للماء  $kg/m^3$ .

$LPP$ : الطول بين متعامدين [m].

$E_c$ : الطاقة الحركية للسفينة [N.m].

$E_p$ : الطاقة الكامنة للسفينة [N.m].

$H$ : ارتفاع الماء في المجرى المائي [m].

$V_{ship}$ : سرعة السفينة وتساوي سرعة التيار المائي عند اعتماد مبدأ انعكاس الجريان  $m/s$ .  
 $\zeta$ : الإزاحة الشاقولية للسفينة وتعتبر موجبة نحو الأعلى وسالبة نحو الأسفل اعتباراً من مستوي القرينة [m].  
 بين الباحثون باستخدام نظرية d'Alembert وجود وضع توازن مستقر يمثل انخفاض مستوى الماء عند منتصف السفينة نتيجة حقل السرعة الناجم عن الإبحار ووضع توازن غير مستقر يمكن اعتباره قاع افتراضي للسفينة وهذا الأخير الذي اعتبر إضافة جديدة في مجال الإبحار في القنوات والممرات المائية المحدودة العمق وتمت مناقشته في العديد من المؤتمرات الدولية التي شارك بها الباحثون وكان أحدثها في مدينة غنت ببلجيكا [12] وذلك بعد إمكانية إيجاد علاقة رياضية تعطي قيمة وضع التوازن غير المستقر كتابع لبارامترات القناة والسفينة. وفي بداية عام 2016 بدأ مركز الدراسات البحرية والنهرية في مدينة كومبين بفرنسا بإعداد دراسة تجريبية على نموذج لسفينة لإثبات وجود هذا القاع الافتراضي الذي فرض وجوده تعديل العلاقة الرياضية للارتفاع الآمن للماء تحت قرينة السفينة كمايلي:

$$UKC(safe) \leq \min(\omega_1 - \omega_2; H - (T + \omega_1)) \quad (3)$$

البارامترات موضحة في الشكل (1) حيث أن:

$T$ : غاطس السفينة.

$H$ : ارتفاع الماء في المجرى المائي.

$\omega_1$ : الغاطس الديناميكي.

$\omega_2$ : وضع التوازن غير المستقر (القاع الافتراضي).



الشكل (1) وضعي التوازن المستقر وغير المستقر للسفينة

في هذا البحث الذي يعد استمرارية لعمل الباحثين السابقين [10] تم استثمار مفهوم القاع الافتراضي (وضع التوازن غير المستقر) الذي تمت الإشارة إليه بهدف تقييم نسب تحول الطاقة الكامنة والحركية عند القاع الافتراضي للسفينة ودراسة تأثير مدة التسارع وسرعة السفينة في نهاية هذه المرحلة على قابلية السفينة لبلوغ وضع التوازن غير المستقر وهذا وذلك من خلال موديل رياضي مبسط يعتمد على مجموعة من الفرضيات التي تجعل إمكانية الحل الرقمي متاحة.

يتألف البحث من أربعة أجزاء. يتضمن الجزء الأول مراجعة سريعة لمفهوم القاع الافتراضي كما تم توصيفه من قبل الباحثين في هذا المجال وذلك باعتبار أنه يمثل القاعدة الأساسية التي سننطلق منها لمناقشة نتائج البحث وفي الجزء الثاني نشرح الموديل الرياضي الذي يوصف السلوك الديناميكي للسفينة خلال مرحلة التسارع وسلوك البدن في نهاية هذه المرحلة. ونخصص الجزء الثالث لمعايرة نتائج الموديل الرياضي مع نتائج تجريبية. في حين يكون الجزء

الرابع لمناقشة النتائج التي تشمل دراسة تأثير بارامترات مرحلة التسارع على نسبة تحول الطاقة الكامنة والحركية عند ما يسمى القاع الافتراضي للسفينة ونختم الدراسة بمجموعة من التوصيات.

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في معالجته واحدة من المسائل المتعلقة بتأمين سلامة إبحار السفن خلال مرحلة التسارع وذلك من خلال توضيح تأثير بارامترات هذه المرحلة على اتزان السفينة الشاقولي. حيث أنه بتاريخ 5 شباط من عام 1999 غرقت سفينة نابليون مباشرة عقب تسارعها في ميناء مارسيليا ولا توجد في المراجع العلمية حالياً موديلات رياضية تربط بين تسارع السفينة وهبوطها بل تنحصر الدراسة بمنحنيات تجريبية توصف السلوك الديناميكي لسفينة خلال هذه المرحلة مع غياب القاعدة الرياضية بالإضافة إلى ذلك فإن ظهور مصطلح القاع الافتراضي يفرض إعداد دراسة ترفع من عوامل الأمان أثناء الإبحار وربطها بموديل التسارع ومن هنا كان هدف البحث.

### طرائق البحث ومواده:

تم تحليل العلاقات الرياضية التي توصف الموديل الفيزيائي لظاهرة التسارع ومن ثم قمنا بحل معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية بعد الأخذ بعين الاعتبار للشروط الابتدائية والحدية. مناقشة الحل الرياضي تبين سلوك السفينة خلال مرحلة التسارع وهذا السلوك تمت مقارنته مع نتائج تجريبية لنموذج حقيقي لسفينة. تم استخدام برنامج Matlab في برمجة الحل الرياضي وعرض النتائج والمقارنة. من ثم قمنا باستثمار مفهوم القاع الافتراضي الذي تم إدخاله حديثاً إلى علم أمان الإبحار في الممرات المائية الضيقة وبيننا ارتباطه بتحول الطاقة الكامنة أثناء مرحلة التسارع.

### موديل رياضي لمرحلة التسارع

في بداية الأمر سيتم وصف الموديل الرياضي أثناء مرحلة التسارع ومن ثم سننظر عليه لوصف سلوك البدن في نهاية هذه المرحلة.

**أثناء مرحلة التسارع:** بفرض أن بدن السفينة يخضع لحركة اهتزازية شاقولية ضعيفة جداً حول وضع توازنه المستقر  $\xi_1$  في هذه الحالة يمكن أن نوصف حركته بمعادلة كتلة - نابض كمايلي [10]:

$$\frac{d^2 \xi(t)}{dt^2} = \frac{-4\pi^2}{\chi_p^2} (\xi(t) - \xi_1) \quad (4)$$

حيث أن:

$\xi(t)$ : الإزاحة الشاقولية خلال الزمن t

$\chi_p$ : دور الحركة الاهتزازية

بفرض أن السفينة المبحرة بسرعة ثابتة  $V_{ship}(t_0)$  يكون لها هبوط رأسي ناتج عن سرعتها وليكن  $\xi_1$ . في مرحلة التسارع ستزداد سرعة السفينة لتبلغ القيمة  $V_{ship}(t)$  هذه القيمة الجديدة للسرعة تتوافق أيضاً بزيادة الهبوط الرأسي للسفينة على اعتبار أنها أكبر من قيمة السرعة في بداية مرحلة التسارع وبالتالي فإن الهبوط الرأسي للسفينة الموافق للسرعة  $V_{ship}(t)$  يبلغ القيمة  $\xi_1(t)$ .

بفرض أن التسارع منتظم بالتالي يمكن أن نعبر عن سرعة السفينة خلال مرحلة التسارع بالعلاقة الخطية

التالية:

$$V_{ship}(t) = \gamma t + V_{ship}(t_0) \quad (5)$$

حيث يمثل  $\gamma$  تسارع البدن.

بإضافة الحد  $-\frac{d^2\zeta_1}{dt^2}$  إلى طرفي المعادلة (4) نحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{d^2\xi(t) - \zeta_1(t)}{dt^2} = \frac{-4\pi^2}{\chi_p^2} (\xi(t) - \xi_1(t)) - \frac{d^2\zeta_1(t)}{dt^2} \quad (6)$$

حيث أن:

$$\xi_1(t) \text{ الهبوط الرأسي للسفينة الموافق للسرعة } V_{ship}(t)$$

مع العلم أن:

$$\frac{d\xi}{dt}(t=0) = \xi'_1 \text{ و } \xi(t=0) = \xi_1$$

بفرض أن دور الحركة الاهتزازية خلال هذه المرحلة  $\chi_p = cte$ .

إن حل المعادلة التفاضلية (6) ناتج عن مطابقة الحل الخاص والحل المتجانس فنحصل على العلاقة التالية:

$$\xi(t) - \xi_1(t) = \alpha \cos(2\pi \frac{t}{\chi_p}) + \beta \sin(2\pi \frac{t}{\chi_p}) - \frac{4\chi_p^2}{\pi^2} \xi''_1 \quad (7)$$

عندما تكون سرعة السفينة في نهاية مرحلة التسارع أصغر من السرعة الحرجة  $V_{ship}(t) < V_{critical}$  فإنه يمكن

اعتبار أن:  $\frac{d^2\zeta_1(t)}{dt^2} = cte = \xi''_1$  والثوابت  $\alpha$  و  $\beta$  يمكن تحديدها بعد أخذ الشروط الابتدائية في اللحظة  $t = 0$  بعين

الاعتبار

$$\text{حيث: } \alpha = \frac{\chi_p^2}{4\pi^2} \xi''_1 \text{ و } \beta = 0$$

وبالتالي توصف إزاحة السفينة خلال مرحلة التسارع بالعلاقة التالية:

$$\xi(t) = \xi_1(t) + \frac{\chi_p^2}{4\pi^2} \xi''_1 \cos(2\pi \frac{t}{\chi_p}) - \frac{4\chi_p^2}{\pi^2} \xi''_1 \quad (8)$$

$$\xi(t) = \xi_1(t) - \frac{\chi_p^2}{4\pi^2} \xi''_1 \left[ 1 - \cos(2\pi \frac{t}{\chi_p}) \right] \quad (9)$$

حيث أن قيمة  $\xi_1(t)$  تمثل الهبوط الرأسي الموافق للسرعة  $V_{ship}(t)$  أثناء مرحلة التسارع.

العلاقة (9) تبين أن الإزاحة الرأسية للسفينة  $\xi(t)$  خلال مرحلة التسارع تزداد ولكن بشكل أبداً من زيادة  $\xi_1(t)$

بتعبير آخر إن منحنى الهبوط الرأسي خلال مرحلة التسارع  $\xi(t)$  لا ينطبق على منحنى الهبوط الرأسي الموافق لوضع

التوازن المستقر عند قيم السرعة خلال مرحلة التسارع.

في نهاية مرحلة التسارع: في نهاية هذه المرحلة أي عندما  $t = t_{end}$  وبالتالي فإن  $\frac{d^2\zeta_1(t)}{dt^2} = 0$  عندئذٍ

يحذف الحد الأخير في المعادلة (6):

$$\frac{d^2\xi(t) - \zeta_1(t_{end})}{dt^2} = \frac{-4\pi^2}{\chi_p^2} (\xi(t) - \xi_1(t_{end})) \quad (10)$$

الشروط اللازمة للحل هي:

•  $\xi(t_{end}) = \xi_1(t_{end})$  وتمثل الهبوط الرأسي للسفينة في نهاية مرحلة التسارع الموافق لسرعة السفينة في نهاية

هذه المرحلة.

•  $\zeta_1'(t_{end}) = \left. \frac{d\zeta_1(t)}{dt} \right|_{t=t_{end}}$  نلاحظ أنه من الضروري إيجاد تعبير رياضي للحد  $\zeta_1'(t_{end})$  الذي يمثل المشتق الأول

لوضع التوازن المستقر الموافق لسرعة السفينة وذلك في نهاية مرحلة التسارع.

لتقييم الحد  $\zeta_1'(t_{end})$  يمكن استخدام أي علاقة من العلاقات الموجودة في المراجع العلمية لتقييم الهبوط الرأسي للسفينة وذلك لأن كل من هذه العلاقات يدخل فيها بارامتر السرعة كحد أساسي ولكن بسبب اعتماد نظم فيزيائية مستقرة عند استنتاج هذه العلاقات أي غياب بارامتر الزمن فيمكن معالجة ذلك باعتبارها أنها أخذت في لحظة زمنية معينة ولتوضيح هذه الفكرة نعتد المثال الآتي:

ننتقل من العلاقة الرياضية الجديدة التي اقترحها Debaillon لتقييم الهبوط الرأسي للبدن [ 9 ] هي:

$$\zeta_1 = \delta \left( \frac{V_{ship}}{V_{critical}} \right)^2 \left[ \left( \frac{V_{ship}}{V_{critical}} - 0.5 \right)^4 + 0.0625 \right] \quad (11)$$

حيث أن  $\delta$  ثابت يعتمد على بارامترات القناة والسفينة.

نكتب العلاقة (11) كتابع للزمن كمايلي:

$$\zeta_1(t) = \delta \left( \frac{V_{ship}(t)}{V_{critical}} \right)^2 \left[ \left( \frac{V_{ship}(t)}{V_{critical}} - 0.5 \right)^4 + 0.0625 \right] \quad (12)$$

وبفرض أن  $V_{ship}(t) \ll V_{critical}$  تختزل العلاقة السابقة على الشكل الآتي:

$$\zeta_1(t) = 0.125 \times \delta \left( \frac{V_{ship}(t)}{V_{critical}} \right)^2 \quad (13)$$

بتعويض قيمة الحد  $V_{ship}(t)$  بدلالة التسارع  $\gamma$  نحصل على:

$$\zeta_1(t) = 0.125 \times \delta \left( \frac{\gamma t}{V_{critical}} \right)^2 \quad (14)$$

نشتق بالنسبة للزمن:

$$\left. \frac{d\zeta_1(t)}{dt} \right|_{t=t_{end}} = 2 \times 0.125 \times \delta \times \left( \frac{\gamma}{V_{critical}} \right)^2 t_{end} \Rightarrow$$

$$\left. \frac{d\zeta_1(t)}{dt} \right|_{t=t_{end}} = 2 \times \zeta_1(t=t_{end}) \times t_{end} \quad (15)$$

وبالتالي يعطى حل المعادلة التفاضلية (15) بالعلاقة التالية:

$$\zeta_1(t) - \zeta_1(t_{end}) = \alpha^* \cos\left(2\pi \frac{t-t_{end}}{\chi_p}\right) + \beta^* \sin\left(2\pi \frac{t-t_{end}}{\chi_p}\right) \quad (16)$$

حيث أن:

$$\alpha^* = 0 \text{ و } \beta^* = \frac{\chi_p \zeta_1'(t_{end})}{2\pi} = \frac{2\chi_p \zeta_1(t_{end}) t_{end}}{2\pi}$$

وبالتالي فإن حركة البدن في نهاية مرحلة التسارع:

$$\xi(t) = \xi_1(t_{end}) + \frac{\chi_p \xi_1(t_{end}) t_{end}}{\pi} \sin(2\pi \frac{t-t_{end}}{\chi_p}) \quad (17)$$

تمثل العلاقة (17) معادلة حركة اهتزازية للبدن حول  $\xi_1(t_{end})$  ومطال هذه الحركة يرتبط بمدة التسارع  $\chi_p$  وقيمة  $\xi_1(t_{end})$  أي بقيمة السرعة في نهاية هذه المرحلة. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذا الموديل لا يفرض قيود ثنائية البعد على مجال الدراسة ولا على طبيعة المائع لذلك يمكن استخدامه في حال موديل ثلاثي البعد ولجريان لزج.

### النتائج والمناقشة:

في البداية سيتم تمثيل السلوك الديناميكي للسفينة وفق العلاقتين (9) و(17) ومقارنته مع حسابات الهبوط الرأسي الموافقة لحقل السرعة المبين في الشكل التالي من أجل البارامترات التالية:

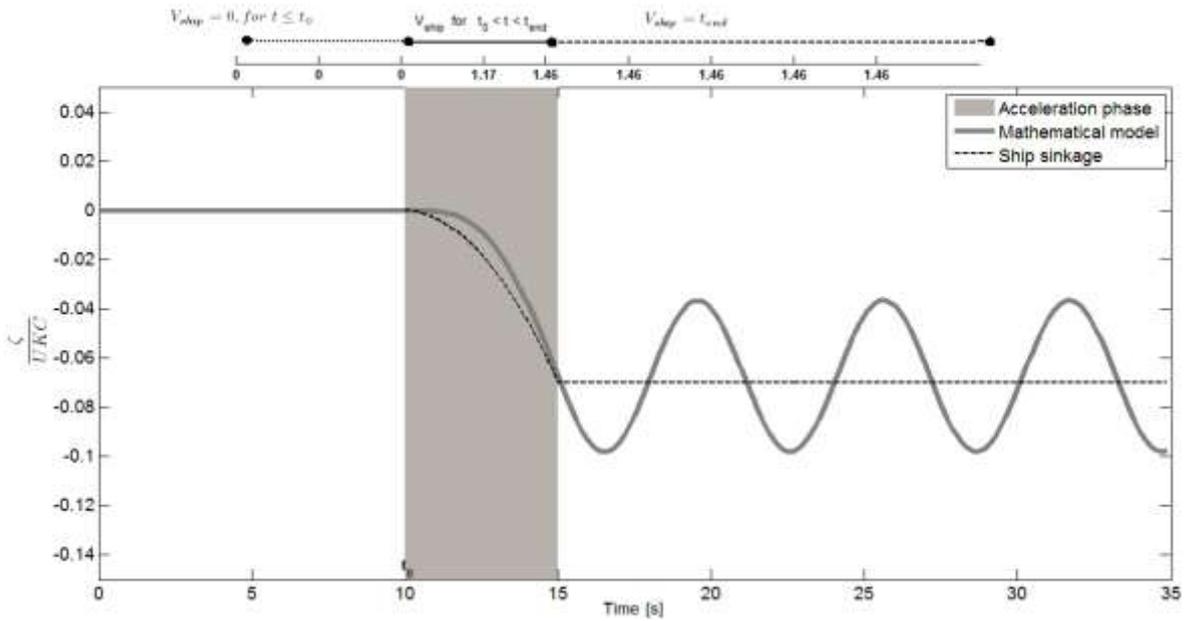
$$H = 20 [m] \quad T = 9 [m] \quad Lpp = 155 [m]$$

نلاحظ من الشكل (2) أن هبوط السفينة الرأسي أثناء مرحلة التسارع يكون بمعدل أقل منه في حال تقييم الهبوط بالعلاقات التقليدية المعروفة ومن بينها علاقة [13] Barrass حيث أنه من أجل كل سرعة أثناء مرحلة تسارع السفينة يتم تقييم الهبوط الرأسي وهذا ما يمثله الخط المنقط في الشكل (2) في حين أن الخط المستمر يمثل حل المعادلتين (9) و(17) ونلاحظ أيضا تولد الاهتزازات حول قيمة الهبوط الرأسي الموافق للسرعة في نهاية مرحلة

$$V_{ship}(t_{end}) = 1.46 \text{ m/s} \text{ التسارع}$$

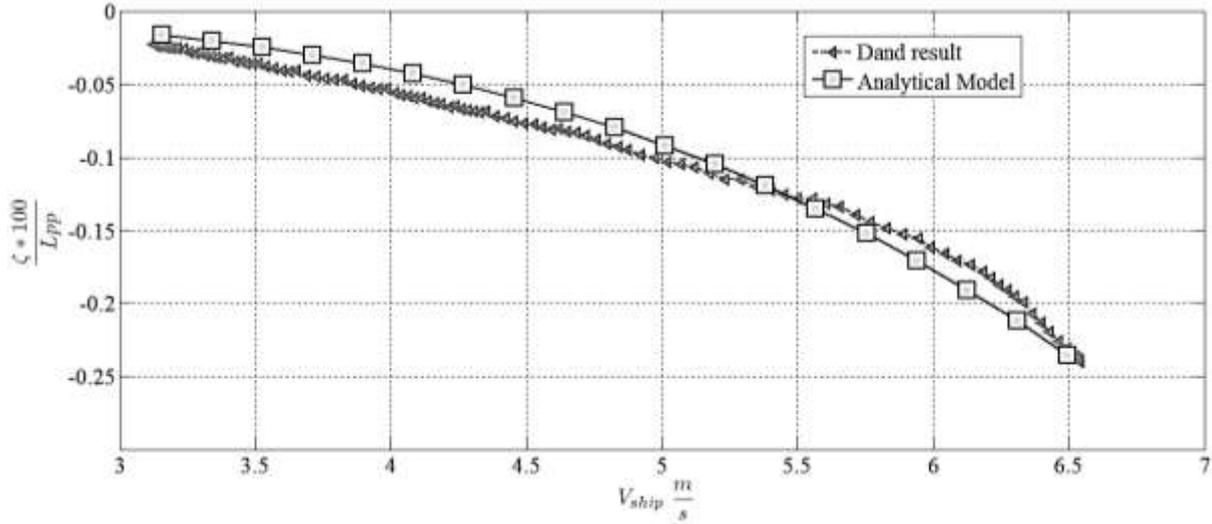
بسبب ندرة المراجع العلمية التي تناولت هذه الظاهرة فقط انحصرت نتائج المقارنة مع النتائج التجريبية لـ Dand & Ferguson [14] من أجل البارامترات التالية:

$$\begin{aligned} H/T &= 4.88 & \text{Dead Weight} &= 195000 \text{ [DWT]} \\ LPP &= 316 \text{ m} & T &= 15 \text{ m} & H &= 76 \text{ m} & b &= 41.14 \text{ m} \end{aligned}$$



الشكل (2) الهبوط الرأسي للسفينة أثناء وبعد مرحلة التسارع

تزداد سرعة السفينة خلال مرحلة التسارع المنتظم من القيمة  $V_{ship} = 6 \text{ knt}$  إلى السرعة  $V_{ship} = 13 \text{ knt}$  من أجل  $t_{end} = 1.9 \text{ s}$ . والمقارنة أجريت فقط خلال مرحلة التسارع كما هو مبين في الشكل (3).

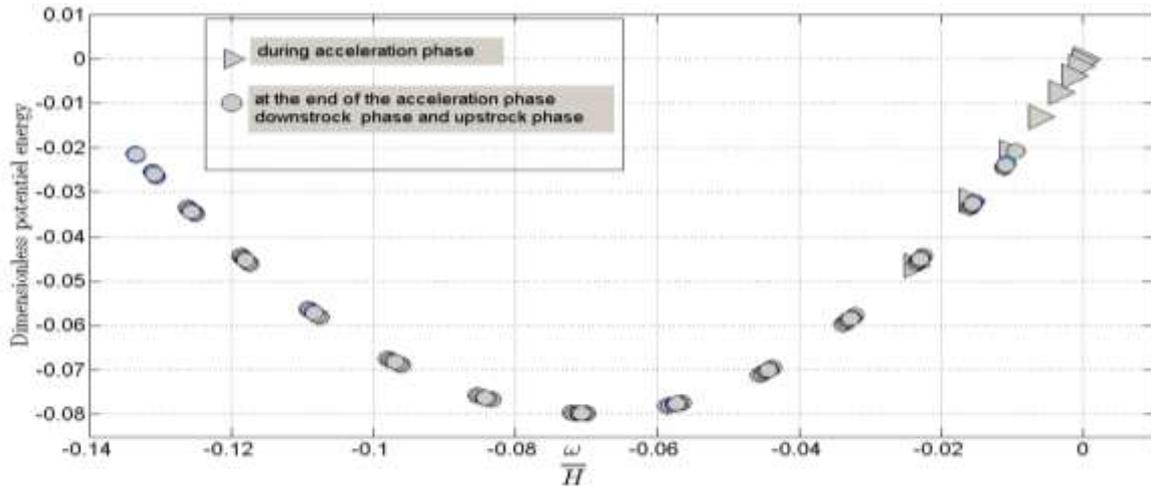


الشكل (3) مقارنة بين النموذج الرياضي ونتائج تجريبية أثناء مرحلة التسارع

يبين الشكل (3) مقارنة بين نتائج Dand & Ferguson والنموذج الرياضي المعطى بالمعادلة (9) الذي يوصف سلوك السفينة أثناء مرحلة التسارع حيث تم تقييم الإزاحة الشاقولية للسفينة خلال مرحلة التسارع كتابع لسرعة السفينة الناتجة عن تسارع منتظم خلال مدة  $t_{end} = 1.9 \text{ s}$  ونتائج المقارنة تعد جيدة.

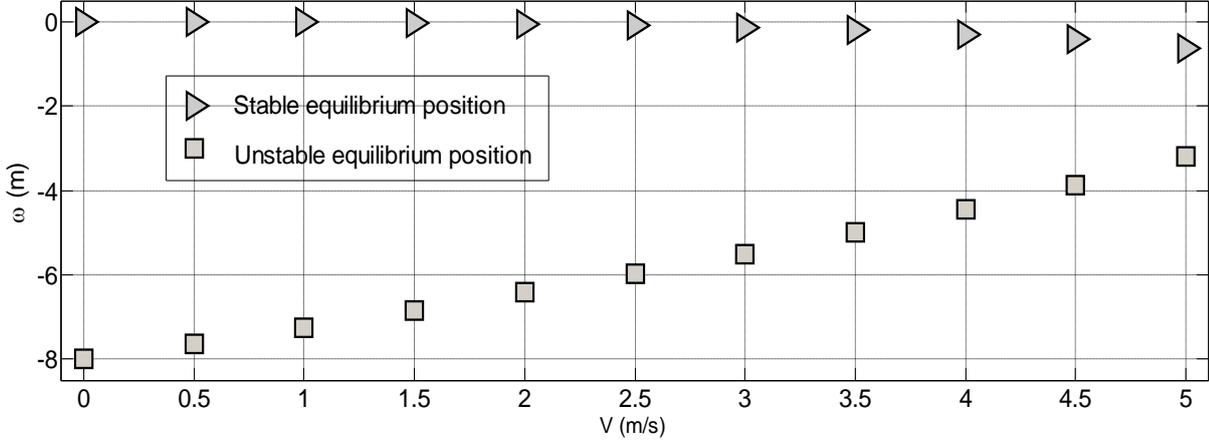
#### تغير الطاقة الكامنة أثناء وبعد مرحلة التسارع

تم تمثيل تغير الطاقة الكامنة أثناء وبعد مرحلة التسارع في الشكل (4). حيث تبين أن الاهتزازات المتولدة في نهاية مرحلة التسارع تعطي السفينة طاقة إضافية مقارنة مع طاقتها الموافقة لوضع توازنها المستقر. يحدد مطال هذه الاهتزازات قابلية السفينة لبلوغ وضع توازنه.



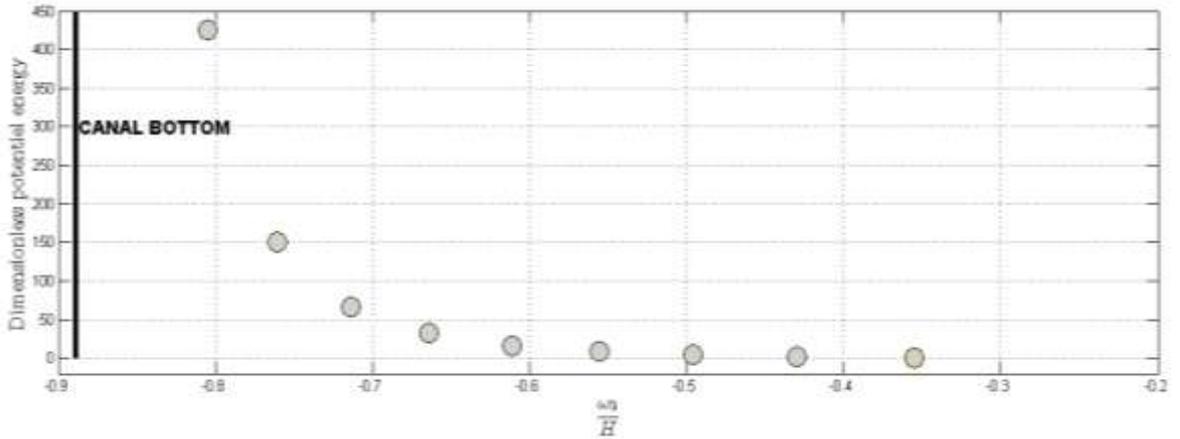
الشكل (4) توزيع الطاقة الكامنة أثناء وبعد مرحلة التسارع

لكل سرعة للسفينة نميز بين وضع توازن مستقر وآخر غير مستقر. يوضح الشكل (5) تغير هذين الوضعين كتابع لسرعة السفينة.



الشكل (5) وضع التوازن المستقر وغير المستقر كتابع لسرعة السفينة أثناء مرحلة التسارع

نلاحظ أنه مع ازدياد سرعة السفينة يتناقص الفرق بين وضعي التوازن المستقر وغير المستقر وهذا مؤشر لابتعاد السفينة عن وضع توازنها المستقر كما هو مبين في الشكل (6) الذي يوضح تغير الطاقة الكامنة كتابع لوضع التوازن غير المستقر للسفينة بشكل لا بعدي حيث أن أوضاع التوازن المبينة في الشكل (6) موافقة للسرع الموضحة في الشكل (5) ولكن بعد كتابتها بشكل لا بعدي.



الشكل (6) تغير الطاقة الكامنة كتابع لوضع التوازن غير المستقر أثناء مرحلة التسارع

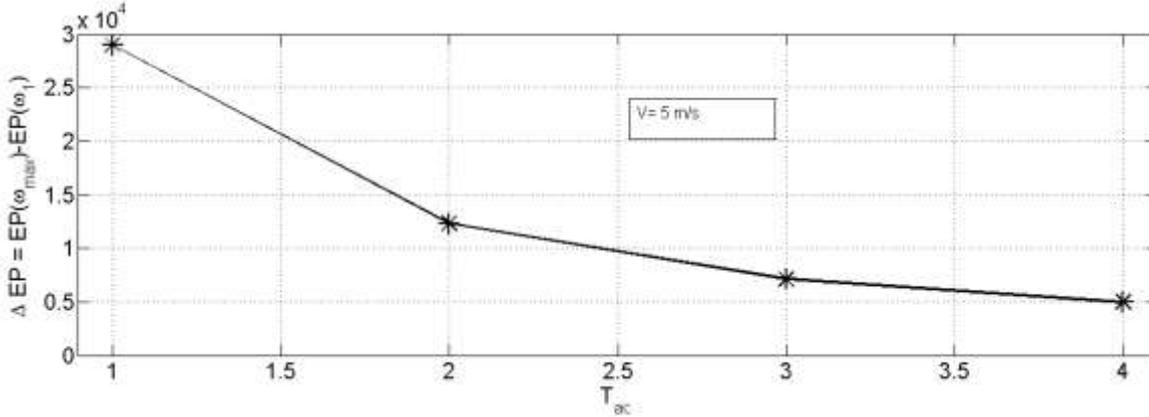
الجدول (1) بارامترات السفينة ومرحلة التسارع

$\rho$ [ $kg / m^3$ ]	T (m)	dt (s)	LPP (m)	V (m/s)	H (m)	$T_{ac}$ (s)
1000	1	0.1	40	5	9	1

من أجل البارامترات المبينة في الجدول [1]. يوضح الشكل (7) أن كمية الطاقة الكامنة الموافقة لمطال اللاهتزازات في نهاية مرحلة التسارع أي المكتسبة خلال مرحلة التسارع ممثلة بالقيمة  $\Delta EP = EP(\omega_{\max}) - EP(\omega_1)$  تزداد مع ازدياد المدة الزمنية لمرحلة التسارع (فترة التسارع) حيث أن:

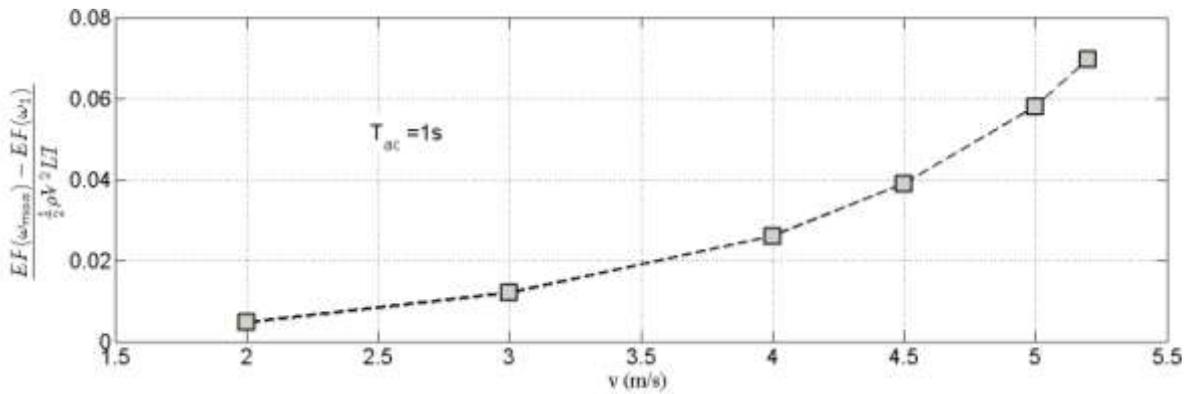
$EP(\omega_{\max})$ : الطاقة الكامنة الموافقة للمطال الأعظمي للاهتزازات في نهاية مرحلة التسارع.

$EP(\omega_1)$ : الطاقة الكامنة الموافقة لوضع التوازن المستقر الموافق لسرعة السفينة في نهاية مرحلة التسارع.



الشكل (7) تغير القيمة العظمى للطاقة الكامنة كتابع لمدة التسارع  $T_{ac}$

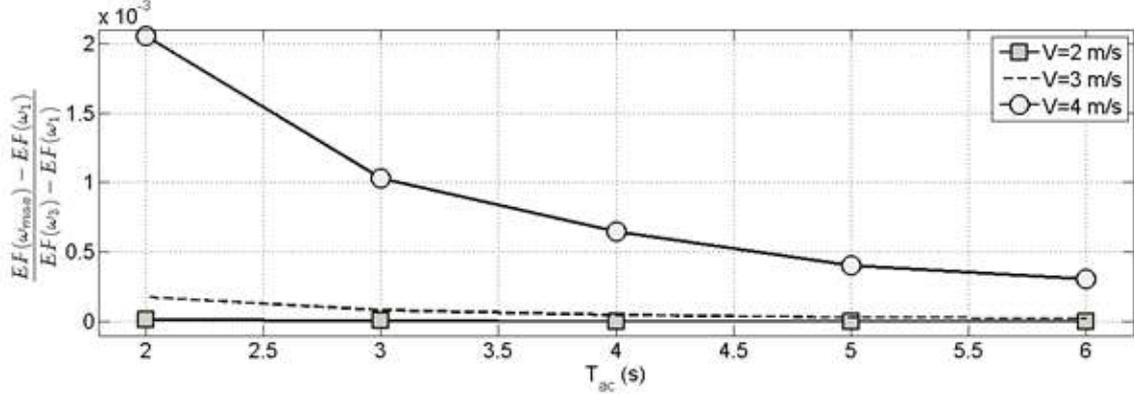
يبين الشكل (8) نسبة تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة خلال مرحلة التسارع كتابع لسرعة البدن في نهاية هذه المرحلة. حيث نلاحظ أن نسبة تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة في نهاية مرحلة التسارع تزداد بزيادة سرعة السفينة.



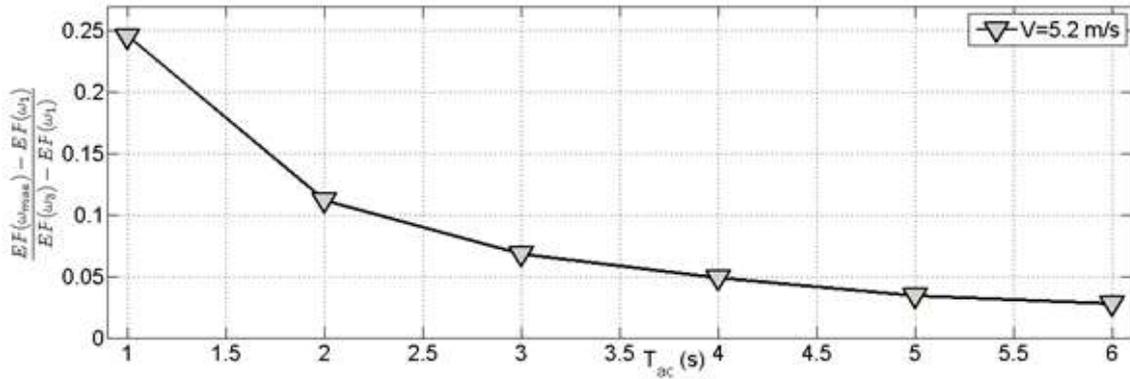
الشكل (8) نسبة تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة في نهاية مرحلة التسارع كتابع لسرعة السفينة في نهاية هذه المرحلة

في حين يبين الشكل (9) نسبة الطاقة الكامنة المضافة للنظام في نهاية مرحلة التسارع مقارنة مع تلك الموافقة لوضع التوازن غير المستقر كتابع لمدة التسارع وكسرعة السفينة في نهاية هذه المرحلة. نلاحظ من الشكل (9) أيضاً تأثير المدة الزمنية التي يتسارع بدن السفينة ضمنها وكذلك تأثير سرعة السفينة في نهاية هذه المرحلة على تحول الطاقة الحركية لطاقة كامنة تتجلى بمطال أعظمي للاهتزازات في نهاية مرحلة التسارع.

يبين الشكل (10) أنه في الشروط الحرجة الموافقة لـ  $V = 5.2 \text{ m/s}$  و  $T_{ac} = 1 \text{ s}$  تصل نسبة الطاقة الكامنة المتولدة خلال فترة التسارع إلى 25% من الطاقة الكامنة بين وضعي التوازن المستقر وغير المستقر. وبالتالي فإن زيادة السرعة المترافقة مع نقصان في المدة الزمنية التي يتسارع بدن السفينة خلالها تؤدي إلى رفع نسبة الطاقة الحركية المتحولة إلى طاقة كامنة الأمر الذي يهدد اتزان السفينة باقتربها من وضع توازنها غير المستقر.



الشكل (9) نسبة الطاقة الكامنة المضافة إلى تلك الموافقة لوضع التوازن غير المستقر كتابع لـ  $T_{ac}$  و  $V = 2,3,4 \text{ m/s}$



الشكل (10) نسبة الطاقة الكامنة المضافة إلى تلك الموافقة لوضع التوازن غير المستقر كتابع لـ  $V = 5.2 \text{ m/s}$  و  $T_{ac}$

## الاستنتاجات والتوصيات:

من الدراسة التحليلية المنفذة في هذا البحث يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- أهمية التأثير الديناميكي على اتزان السفن بإدخال مفهوم القاع الافتراضي في موديل رياضي لتسارع

السفينة.

2- أثر الاهتزازات المتولدة في نهاية مرحلة التسارع على اتزان البدن حيث تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة يكسب بدن السفينة طاقة إضافية لتصل إلى وضع التوازن غير المستقر. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التأثير الديناميكي المتمثل بالاهتزازات لا يشمل مرحلة التسارع فقط بل يمكن أن يشمل حالات مختلفة لإبحار السفينة سواء من حيث تعرضها لـ Swell أو عبورها فوق قاع متموج أو حتى التغير المفاجئ في ارتفاع الماء تحت قرينتها.

3- تتحكم بارامترات التسارع في النتيجة السابقة حيث بتناقص الفترة التي يتسارع خلالها بدن السفينة مع ازدياد

قيمة السرعة المطلوب بلوغها في نهاية مرحلة التسارع تزداد نسبة تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة تتجلى في

مطال أعظمي للاهتزازات. تمثل هذه الاهتزازات بدورها خطراً كبيراً على اتزان السفن من حيث دفع السفينة لتصل إلى وضع توازن غير مستقر ينتهي بجنوحها.

تمثل نتائج هذا البحث خطوة جديدة لتحسين معايير الأمان خلال مرحلة تسارع السفن والتوصيات التي نختم بها هذه الدراسة تتركز على ضرورة إجراء تجارب عملية للتحقق من تقارب القيم التجريبية للقاع الافتراضي من القيم النظرية وارتباطها بمرحلة التسارع.

### المراجع:

- [1] SCHIJF, J. B. 17eme Congrès de la Navigation Internationale, Section 1 Communication 2, Lisbon, 1949.
- [2] TOTHIL, JT. Ships in restricted channels- a correlation of model Tests, field measurements and theory. Meeting of the Eastern Canadian Section of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1966, 111.
- [3] TUCK, E.O. Shallow-water flows past slender bodies. Int. J. Num. Meth. Eng. Vol. 26, 1966, 81.
- [4] GATES, E.T.; HERBICH, J. B. The squat phenomenon and related effects of channel geometry. Hydraulics in the Coastal Zone Conference, New York, 1977.
- [5] ERYUZLU, N. F. ; HAUSSER, R. Experimental investigation into some aspects of large vessel navigation in restricted waterways. Symposium on Aspects of Navigability of Constraint Waterways Including Harbor Entrances, Delft, Holland, 1978.
- [6] GOURLAY, T. Slender-body methods for prediction ship squat. Ocean Engineering, Vol. 35, 2008,191.
- [7] BARRASS, C. B.; DERRETT, D. R. Ship Stability for Master and Mates. Elsevier, 2006.
- [8] GOURLAY, T. Mathematical and computational techniques for predicting the squat of ships. Thesis of the University of Adelaide, Australia, 2000.
- [9] DEBAILLON, P. Numerical investigation to predict ship squat. Journal of Ship Research, Vol. 54, N. 2, June, 2010, 111.
- [10] ALDERF N, LEFRANCOIS E, SERGENT P, DEBAILLON P. Dynamic ship response integration for numerical prediction of squat in highly restricted waterways. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2010.
- [11] بريهان، ميشيل ؛ محمد، نسرين ؛ شعله، كارول. نمذجة رقمية ثلاثية البعد لتحليل ظاهرة الغاطس الديناميكي للسفن المبحرة عبر الأقفية. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد الثامن والثلاثون، العدد الثاني، 2016.
- [12] MOHAMAD N., LEFRANCOIS E., SERGENT P. A Virtual Bottom for Locks. 3rd International Conference On Ship Maneuvering in Shallow And Confined Water, Ship Behavior in Locks, Ghent, Belgium, 3-5 June, 2013.
- [13] BARRASS, C. B. Thirty-two years of research into ship squat. 2nd Squat Workshop, March, Oldenburg, Germany, 2004.
- [14] DAND, I.W.; FERGUSON, A. M. The squat of full ships in Shallow water Transactions of the RINA. Vol. 115, 1973, 237.