مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

تصميم محطات القدرة المستخدمة لدفع السفن ذات الطفو الديناميكي

الدكتور معروف أحمد*

(قبل للنشر في 2005/7/21)

□ الملخّص □

يندرج هذا البحث ضمن قائمة الأعمال الحثيثة التي تهدف إعداد منهجيات متطورة لتنفيذ الحسابات الهندسية التصميمية باستخدام الحواسيب الإلكترونية. يتناول البحث أحد الاتجاهات الحديثة في مجال تطوير صناعة السفن، الذي يتمثل في السفن ذات الطفو الديناميكي. في البداية قمنا بإعطاء فكرة عامة عن مبدأ الطفو الديناميكي وتصنيفاته المختلفة وكيفية تحقيقه تكنولوجياً، ومن ثُم تم توضيح كيفية استخدام هذا المبدأ لتأمين حركة السفن التي تسير بسرعات عالية دون الحاجة إلى استهلاك كميات كبيرة من الطاقة. بعد ذلك تم إعداد المنهجيات المتعلّقة بتنفيذ الحسابات التصميمية لمجمعات الدفع (محطات القدرة) المستخدمة على هذه السفن، واستناداً إلى هذه المنهجيات تم إعداد برنامج بلغة (Visual Basic) لتنفيذ الحسابات بواسطة الحواسيب الإلكترونية. يستطيع هذا البرنامج معالجة الحالات المتعلّقة بتنفيذ الحسابات التصميمية كافة لمجمعات الدفع للسفن ذات الطفو الديناميكي (سفن الأجنحة التحتمائية وسفن الوسادة الهوائية)، وهو يُعتبر وسيلة للقيام بالأعمال البحثية المختلفة لدراسة تأثير العوامل التصميمية والاستثمارية على أداء هذه المجمعات وتطويرها في المستقبل.

* أستاذ مساعد – كلية الهندسة البحرية – أكاديمية الأسد للعلوم العسكرية– حلب– سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (2) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (2) 2005

Designing Energy Stations Used to Push Dynamic Float Ships

Dr. Marouf Ahmad*

(Accepted 21/7/2005)

□ ABSTRACT □

This research is one of the ongoing attempts to formulate advanced ways of aimed to preparation tidy computer aided execution accounts of the design engineering.

This research can be considered as one of the modern directions in the development field of ships manufacture, which assimilate in the dynamic float ships. In the early stage we prepared general idea about principle dynamic float and different assortments and how to achieve this technology. After that we illustrate how this principle can be used to provide the movement of ships which travel at high speeds without imperative to exhaust high amounts from energy. On the other hand we prepared the tidies which tend to execution design calculations to defrayal collectors (energy stations) which can be used in these ships. Depending on these tides we prepared visual basic program language to execute accounts by electrical computers. This program can process all cases which tend to execute design calculations to defrayal collectors of dynamic float ships (under water van ships, air bolster ships). It is considered an agent to do different research connections to study the effect of design and exploitation circumstances on these collectors delivery and development in the future.

* **Assad Academy For Military Engineering –Aleppo - Syria.**

مقدمة:

إن الزيادة الكبيرة والمفاجئة في مقاومة التموج التي تحدث عند تجاوز رقم فرود للقيمة $Fr_L > 0.35$ والتي تُسمى "حاجز التموج" تُشكل عقبة كبيرة على طريق تطور السفن التقليدية التي تعتمد نظام العوم. زيادة السرعة بعد هذا الحاجز تتطلب استهلاك استطاعات كبيرة جداً وغير معللة.

الإمكانية الوحيدة لتجاوز هذه العقبة هي: رفع السفينة أي إخراجها من الماء وتخفيف المقاومة الهيدروديناميكية لحركتها، وذلك باستخدام قوى رفع (طفو) ديناميكية. يوجد عدة طرق لرفع بدن السفينة من الماء. إحدى هذه الطرق يستند إلى مبدأ الانزلاق فوق سطح الماء. أما المبادئ الأخرى فتعتمد إما على استخدام الأجنحة التحتمائية أو الوسادة الهوائية أو الأجنحة الأيروديناميكية.

في وقتنا الراهن انتشرت الطرق الثلاث المذكورة أعلاه لحل مسألة تحريك السفن بسرعات كبيرة اعتماداً على مبدأ الرفع (الطفو) الديناميكي.

أهمية البحث وأهدافه:

من المعلوم أن زيادة سرعة وسائط النقل البحرية تصطدم بجدار المقاومة الكبيرة التي تُبديها المياه لحركة هذه الوسائط، التي تزداد بشكلٍ كبيرٍ جداً عند تجاوز السرعة لعتبة معينة. إن الحل الوحيد لهذه المسألة في الوقت الراهن، وكما ذكرنا في المقدمة، هو إخراج بدن السفينة (جزئياً أو كلياً) من المياه. لذلك بدأ العلماء المهتمون بصناعة السفن العمل على إيجاد الحلول المناسبة لهذه المسألة، حيثُ تركزت اهتماماتهم على إخراج بدن السفينة من المياه بإحدى الطرق الآتية: طريقة الانزلاق، طريقة الأجنحة التحتمائية، طريقة الوسادة الهوائية، وطريقة الأجنحة الأيروديناميكية(الهوائية).

يتطرق هذا البحث إلى معالجة الأسس الفيزيائية لهذه الطرق وإعداد المنهجيات الحسابية المختلفة التي يُمكن استخدامها أثناء المراحل الأولى لتصميم محطات القدرة المستخدمة على هذا النوع من السفن، ودراسة تأثير العوامل المتنوعة على البنى التصميمية المستخدمة في إخراج (رفع) بدن السفينة من المياه (أجنحة تحتمائية، وسادة هوائية، أجنحة أيروديناميكية)، وكذلك على أداء محطات القدرة المستخدمة لتحريك هذه السفن.

إن أهمية هذا البحث كما نرى تكمن في النقطتين الآتيتين:

1- يُعالج البحث واحدة من أهم المسائل الحديثة والمستقبلية المتعلّقة بمحطات القدرة البحرية المستخدمة لدفع سفن الطفو الديناميكي، حيث يتضمن إعداد المنهجيات الحسابية المتعلّقة بالأسس التصميمية لهذه المحطات وبتأثير العوامل التصميمية والاستثمارية المختلفة على أدائها؛

2- يتضمن البحث برنامجاً حاسوبياً مرناً بلغة (Visual Basic) تم بناؤه على أساس المنهجيات المذكورة أعلاه لتنفيذ الحسابات التصميمية والقيام بالأعمال البحثية المتعلّقة بمحطات القدرة البحرية المستخدمة على سفن الطفو الديناميكي.

بذلك تنحصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1- إعداد طرق منهجية لتنفيذ الحسابات التصميمية للسفن التي تعتمد مبدأ الطفو الديناميكي (سفن الأجنحة التحتمائية، سفن الوسادة الهوائية، الطائرات المائية)؛

2- إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات كافة وفق المنهجيات التي تم إعدادها؛

3- دراسة تأثير العوامل التصميمية المختلفة على الخصائص الإبحارية والاستثمارية لسفن الطفو الديناميكي؛
4- إعداد مشروع مرجع إلكتروني لسفن الطفو الديناميكي واستكماله فيما بعد ليصبح مرجعاً شاملاً ضمن هذا السياق.

طريقة البحث:

في البداية تم توضيح الخصائص البنيوية لأنواع السفن كافة ذات الطفو الديناميكي، ثُم تمت معالجة المسائل التصميمية لمحطات القدرة المستخدمة على هذه السفن وإعداد المنهجيات الحسابية العامة المتعلّقة بذلك، وعلى أساس هذه المنهجيات تم إعداد البرنامج الحاسوبي الشامل بلغة (Visual Basic) لكافة هذه المنهجيات. نوضّح فيما يلي وبشكلٍ مختصر تسلسل طريقة البحث.

الخصائص الهيدروديناميكية والبنيوية لسفن الطفو الديناميكي:

إن التوازن الشاقولي للسفن التقليدية العائمة من دون حركة يتحقق بالتأثير المشترك لمجموعتين من القوى هما: قوة الثقالة (وزن السفينة)، وقوى الضغط الهيدروستاتيكي (قوة الطفو).

أثناء حركة السفينة بسرعة بطيئة تبقى هاتان القوتان سبباً رئيساً في التوازن الشاقولي لبدن السفينة. ولكن مع ازدياد السرعة تظهر وتزداد قوة الرفع (الطفو) الهيدروديناميكي وتُصبح مساوية (وفي بعض الحالات أكبر) لقوة الطفو الهيدروستاتيكي. ازدياد القوى الهيدروديناميكية يترافق مع تغيرات في توضع السفينة بالنسبة لسطح الماء، كما أن هذا الازدياد يؤدي إلى نهوض تدريجي لبدن السفينة من الماء وانخفاض مساحة السطح المبلل من البدن. في هذه الحالة يتحدد نظام حركة السفينة بشكل رئيس بالقوى الهيدروديناميكية، وهذا النظام يُسمى "نظام الانزلاق على الماء".

يُمكن أن نحقق نهوض بدن السفينة من الماء وتخفيض مساحة القسم المبلل من البدن باستخدام وسائط ومعدات خاصة، تكون قادرة على خلق قوى رفع (طفو) إضافية. إن بنية هذه المعدات والوسائط تتوقف على طبيعة استخدام قوة الطفو (الرفع). بشكلٍ عام توجد عدة أنواع من قوى الطفو هي: قوة الطفو الهيدروستاتيكي، وقوة الطفو الهيدروديناميكي، وقوة الطفو الأيروستاتيكي، وقوة الطفو الأيروديناميكي.

تتشكل قوة الطفو الهيدروستاتيكي على الأقسام الغاطسة من بدن السفينة وتلعب الدور الرئيس في تأمين طفو السفن التقليدية العائمة العادية. وتظهر قوى الطفو الهيدروديناميكي بسبب حركة السفينة، وهي تتشكل إما مباشرة على بدن السفينة (السفن الانزلاقية) أو على الأجنحة التحتمائية الحاملة (سفن الأجنحة التحتمائية). يتأمن طفو سفن الأجنحة التحتمائية في النظام الاسمي للحركة بسبب التركيز الكبير (كثافة عالية) لقوى الطفو الهيدروديناميكي على الأجنحة التحتمائية وذلك لأن حجم هذه الأجنحة مع حواملها صغير نسبياً[1].

تُستخدم قوى الطفو الأيروستاتيكي في سفن الوسادة الهوائية. يتأمن طفو هذا النوع من السفن بسبب الضغط المرتفع للهواء في الحيز الذي تشغله الوسادة الهوائية تحت بدن السفينة. في سفن الوسادة الهوائية البرمائية يكون السياج المكون للوسادة طرياً (مطاط أو كاوتشوك مقوى)، ويتوضع هذا السياج على كامل الحيز الذي تشغله الوسادة. أما الحيز الذي تشغله الوسادة الهوائية في السفن المزلاجية فيتم تسييجه (إحاطته) بسياج طري في منطقتي المقدمة والمؤخرة، أما في الجوانب فيتم تسييجه بجدران صلبة ذات أشكال انسيابية تسمى المزالج. يتشكل على هذه المزالج نوعان من قوى الطفو: هيدروستاتيكية وهيدروديناميكية. لذلك فإن سفن الوسادة الهوائية المزلاجية تستخدم نظاماً مختلطاً للطفو [2].

تتشكل قوى الطفو الأيروديناميكي على الأجنحة والعناصر الهوائية الحاملة. الوسائط (الأجهزة) التي تستخدم فقط قوة الطفو الأيروديناميكي تُسمى "الطائرات الهوائية"، أما إذا تحركت هذه الوسائط (الأجهزة) على مسافات ليست كبيرة من سطح الماء وظهرت أثناء ذلك ظاهرة "الانعكاس" على سطح الماء، فإنها تُسمى "الطائرات المائية". في كلتا الحالتين تُسمى هذه الوسائط "بالوسائط الطائرة". لكن قوى الطفو الأيروديناميكي يُمكن أن تستخدم على السفن السريعة بالاشتراك مع الأنواع الأخرى لقوى الطفو.

1- بنية منظومة الأجنحة في سفن الأجنحة التحتمائية:

تقوم منظومة الأجنحة أثناء حركة السفينة على كافة سرعاتها بتأمين الأغراض الآتية: المساواة بين قوة الرفع (الطفو) المتشكلة على الأجنحة ووزن السفينة؛ ثبات حركة السفينة في المستويين العرضي والطولي؛ المحافظة على العمق المحدد للأجنحة والارتفاع المحدد لبدن السفينة فوق سطح الماء؛ الحساسية المنخفضة لاتجاه الرياح والأمواج [1].

يُمكن تحقيق هذه المتطلبات باستخدام حلول تصميمية مختلفة. استناداً إلى الحل التصميمي الذي تم اختياره يُمكن أن نميز هنا الأنواع الآتية لمنظومات الأجنحة:

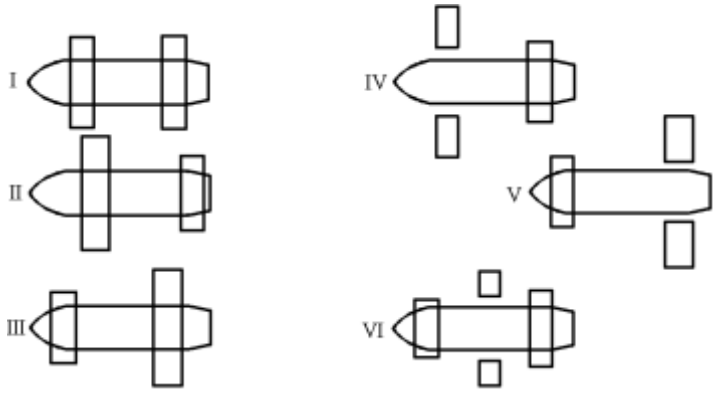
1- الأجنحة النصف مغمورة: التي تتقاطع مع السطح الحر للمياه؛

2- الأجنحة المغمورة قليلاً: التي يكون عمقها تحت سطح الماء أثناء الحركة أقل من عرضها؛

3- الأجنحة المغمورة بعمق كبير: التي يكون عمقها تحت سطح الماء أثناء الحركة أكبر من عرضها.

من الممكن توزيع الحمولة بين هذه المجموعات من الأجنحة المتوضعة في المقدمة والمؤخرة، الشكل (1). باختلاف توضع الأجنحة التحتمائية على طول بدن السفينة وتوزع كتلة السفينة بين أجنحة المقدمة وأجنحة المؤخرة يمكن أن نميز الأنماط الآتية للأجنحة [3]:

1- النمط الطائروي؛ 2- نمط البطة؛ 3- النمط الانتقالي (تانديم).

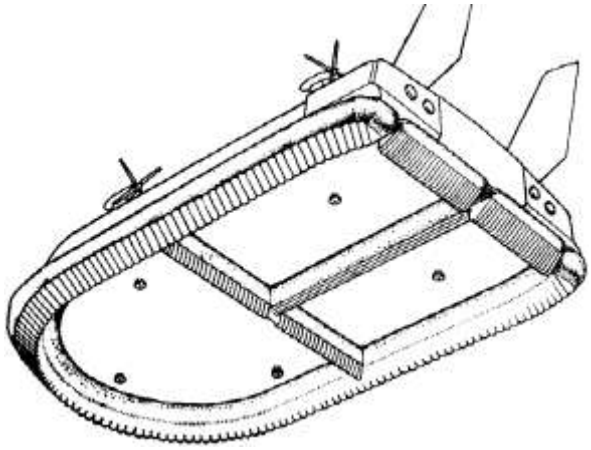


الشكل (1) مخططات توضح الأجنحة التحتمائية وتوزيع كتلة السفينة بينها
I- النمط الانتقالي (تانديم)؛ II- النمط الطائروي؛ III- نمط البطة؛
IV- أجنحة المقدمة منفصلة؛ V- أجنحة المؤخرة منفصلة؛ VI- ثلاثية الأجنحة.

2-سفن الوسادة الهوائية البرمائية:

يتحقق طفو هذه السفن بواسطة الضغط الستاتيكي الإضافي المتشكل من عمل مراوح ضخ الهواء. خلافاً لقوة الطفو (الرفع) في السفن الانزلاقية أو السفن المزلاجية، فإن قوة الطفو (الرفع) تتشكل في هذا النوع من السفن عند سرعات السفينة كافة بدءاً من السرعة صفر. يُستخدم في صناعة هذا النوع من السفن نوعان من طرق تشكيل الوسادة الهوائية: طريقة الحجرة وطريقة الفوهة.

تتميز سفن الوسادة الهوائية البرمائية بوجود سياج طري يحيط بكامل منطقة الضغط المرتفع في جوانبها كافة. تتعلق الخصائص الحركية والإبحارية لسفن الوسادة الهوائية البرمائية إلى حد كبير ببنية هذا السياج. الشكل (2) يوضح منظراً سفلياً لمجموعة الحمل (الرفع) الموجودة على سفينة وسادة هوائية برمائية [1].



الشكل (2) مجموعة الحمل (الرفع) لسفينة وسادة هوائية برمائية

3- سفن الوسادة الهوائية المزلاجية:

تختلف هذه السفن عن سفن الوسادة الهوائية البرمائية بوجود جوانب صلبة على الأطراف تُسمى "المزالج". تقوم المزالج التي تعتبر جزءاً من القسم الغاطس لبدن السفينة بتشكيل قوة طفو (رفع) هيدروستاتيكية، وأثناء الحركة تتشكل عليها قوة طفو هيدروديناميكية، كما تُسهم بتأمين اتزان السفينة وتحد من تسرب الهواء من الأطراف. الاستطاعة المستهلكة لتأمين قوة الطفو (الرفع) المطلوبة في هذا النوع من السفن أقل بكثير مما هي عليه في سفن الوسادة الهوائية البرمائية.

بنية السياج الطري في مقدمة ومؤخرة سفن الوسادة الهوائية المزلاجية تشبه تماماً بنية السياج الطري في سفن الوسادة الهوائية البرمائية. هذا السياج يؤمن خلوصاً صغيراً مع سطح الماء لتخفيض تسرب الهواء ويساعد في تأمين الخصائص الإبحارية للسفينة وذلك عن طريق تخفيض احتمال تماس البدن الصلب للسفينة مع سطح الأمواج.

4- وسائل الدفع المستخدمة على سفن الطفو الديناميكي:

تُصنف وسائل الدفع المستخدمة على سفن الطفو الديناميكي كما يلي:

- حسب الوسيط العامل الذي يمر عبر قرص وسيلة الدفع: محارات (رفاصات) مائية، ومراوح هوائية، وقواذف غازية؛
- حسب طريقة تحويل الطاقة إلى قوة دفع (جر): وسائل دفع مجدافية (ذات شفرات)، ووسائل دفع نفقية.

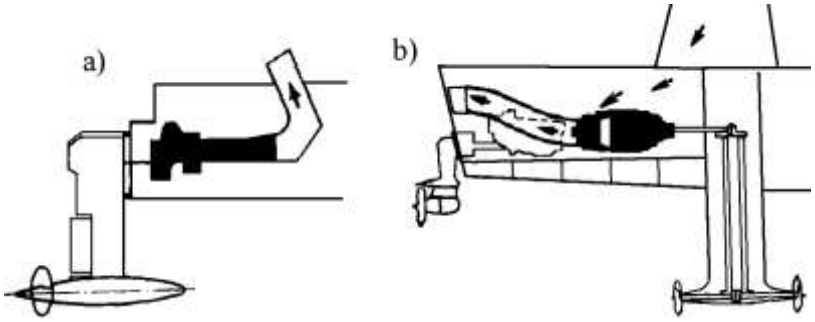
الانتشار الأوسع كان من نصيب وسائل الدفع التي تستخدم الماء كوسيط، أي المحارات المائية والمضخات المائية القاذفة. فهي تعتبر وسائل الدفع الرئيسة على السفن الانزلاقية وسفن الأجنحة التحتمائية وسفن الوسادة الهوائية

المزلاجية. وسائل الدفع الهوائية تستخدم على السفن التي لا يوجد تماس بينها وبين سطح الماء وبالتحديد على سفن الوسادة الهوائية البرمائية.

تُستخدم على سفن الأجنحة التحتمائية البحرية وخاصة الكبيرة منها آلية نقل طاقة على شكل حرف Z، وتسمى ركبة ميكانيكية، تُساعد في التخلص من انحراف تيار المياه الذي ينساب حول المحارة وتحسّن بشكل ملحوظ شروط عمل المحارة. يوجد نوعان من الركبة الميكانيكية [4]:

- ركبة ميكانيكية بمحارة واحدة تتوضع خلف نهاية السفينة؛
- ركبة ميكانيكية بمحارتين تتوضع إحداهما أقرب إلى المقدمة أما الأخرى ففي المؤخرة.

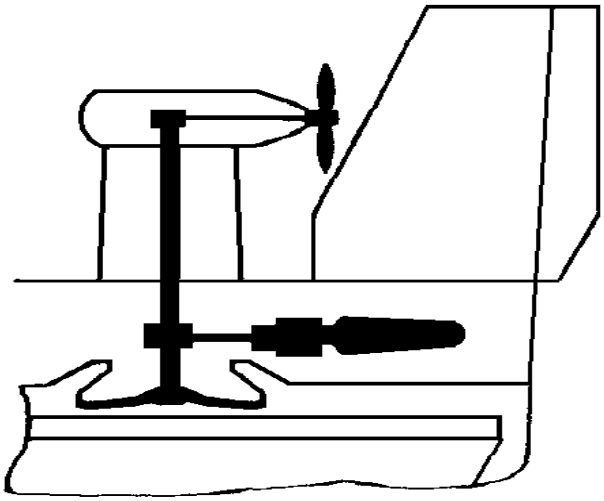
المخطط البنيوي للركبة الميكانيكية ذات المحارة الواحدة موضح على الشكل (3-a) أما المخطط البنيوي للركبة الميكانيكية ذات المحارتين موضح على الشكل (3-b).



الشكل (3) المخطط البنيوي للركبة الميكانيكية

a- الركبة الميكانيكية ذات المحارة الواحدة؛ b- الركبة الميكانيكية ذات المحارتين.

إن استخدام وسائل دفع مائية (نفقية أو محارات) على سفن الوسادة الهوائية غير مفضل وذلك لأنه يحرم هذه السفن من أهم صفاتها وهي إمكانية الحركة فوق سطح الماء وفوق اليابسة. إن أكثر وسائل الدفع انتشاراً على سفن الوسادة الهوائية البرمائية هي المحارات الهوائية التي تتوضع على قواعد خاصة فوق سطح السفينة [4]، الشكل(4).



الشكل (4) مخطط توصيل الطاقة إلى المحارات الهوائية

تصميم محطة القدرة للسفن ذات الأجنحة التحتمائية:

1- حساب المقاومة لحركة السفن ذات الأجنحة التحتمائية:

لحساب المقاومة لحركة سفينة تستخدم الأجنحة التحتمائية يكفي أن يتوفر لدينا منحني القطر (الجر) للسفينة المعتمدة كطراز، أي لسفينة مشابهة من حيث الإزاحة وشكل البدن والأجنحة التحتمائية.

إذا كانت قيمة الاختلاف في إزاحة السفينة المراد تصميم محطة القدرة لها عن إزاحة السفينة المعتمدة كطراز أقل من 10% فإننا نستطيع تحديد قيمة استطاعة الجر للسفينة المراد تصميمها بطريقة الثوابت الأدميرالية من العلاقة [5]:

$$N_R = N_{R.O}\left(\frac{V}{V_0}\right)^{2/3}\left(\frac{v_s}{v_{s.0}}\right)^3$$

حيث:

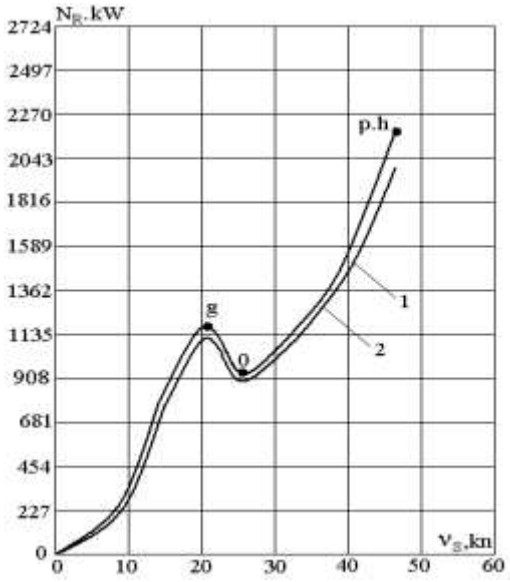
N_R – استطاعة الجر للسفينة المراد تصميمها؛

$N_{R.0}$ – استطاعة الجر للسفينة– الطراز؛

v_s – سرعة السفينة المراد تصميمها؛

$v_{s.0}$ – سرعة السفينة– الطراز.

لتنفيذ الحسابات نستخدم منحني الجر (القطر) للسفينة المعتمدة كطراز، والشكل (5) يوضح نتائج هذه الحسابات.



الشكل (5) نتائج حسابات منحني الجر.

1- للسفينة– الطراز؛ 2– للسفينة المراد تصميمها.

2–اختيار نوع وسيلة الدفع:

تُستخدم لدفع السفن ذات الأجنحة التحتمائية بشكل رئيس المحارات العادية أو المحارات النفاثة (المضخات المائية). يؤثر على اختيار وسيلة الدفع للسفن ذات الأجنحة التحتمائية عدد من المتطلبات التي تفرضها مهمة السفينة وشروط استثمارها وكذلك ضرورة الحصول على مؤشرات اقتصادية عالية، وتأمين الحركة في مناطق المياه الضحلة، وانخفاض مستوى الضجيج، وتحويل كمية كبيرة من الطاقة المنتجة في المحركات الرئيسية إلى قوة دفع في وسيلة الدفع.

إذا كان الغرض الأساسي المطلوب تحقيقه أثناء اختيار نوع وسيلة الدفع هو الحصول على مؤشرات اقتصادية عالية فإن معيار الاختيار الرئيس يكون قيمة مردود (معامل) الدفع. ضمن هذا الإطار واستناداً إلى قيمة السرعة الاسمية (الحسابية) للسفينة يُمكن اختيار عدة أنواع مناسبة من وسائل الدفع المختلفة، كما هو موضح في الجدول (1).

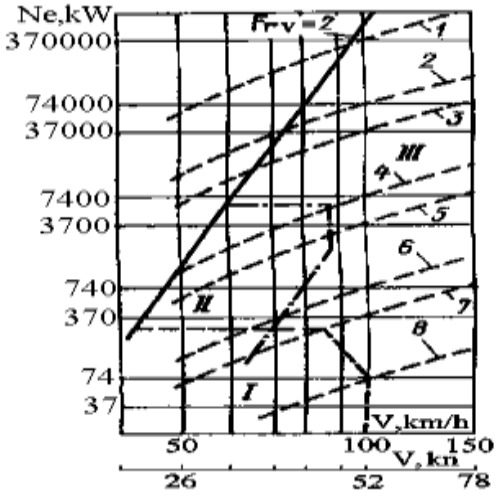
الجدول (1) تحديد نوع وسيلة الدفع استناداً إلى سرعة السفينة [6].

مجال السرعات	نوع وسيلة الدفع المفضلة (المناسبة)
$(0-70)[km/h]$	محارات عادية غير متكهفة
$(70-150)[km/h]$ $(36-77)[kn]$	محارات متكهفة وغير متكهفة
$150[km/h]$	محارات نفاثة (مضخمات مائية) أو محارات (مراوح) هوائية

3- اختيار نوع محطة الدفع الرئيسية:

إن خصوصية استخدام السفن ذات الأجنحة التحتمائية تقتضي توفر مجموعة من الشروط في محطة الدفع الرئيسة ومحطة القدرة الرئيسة المركبة عليها، هي: الاستطاعة الكبيرة؛ الاقتصادية العالية؛ الوثوقية الكبيرة؛ العمر الكبير للمحركات؛ إمكانية العمل على أنواع الوقود الرخيصة؛ انعدام الارتجاج؛ الأبعاد الصغيرة؛ إمكانية الاستثمار على أنظمة العمل المختلفة؛ إمكانية التحكم بالعمل والمراقبة الجيدة عن بعد.

تتحقق هذه المتطلبات في الأنواع التالية من المحركات: 1- المحركات البنزينية؛ 2- محركات الديزل السريعة؛ 3- المحركات العنفية الغازية. الشكل (6) يوضح مجالات استخدام المحركات المختلفة لدفع السفن ذات الأجنحة التحتمائية[7].



الشكل (6) مجالات استخدام المحركات المختلفة لدفع السفن ذات الأجنحة التحتمائية

I. المحركات البنزينية؛ III. المحركات العنفية الغازية. II. محركات الديزل الخفيف؛

1- للإزاحة $V=5000\ [tf]$؛ **2- للإزاحة** $V=1000\ [tf]$؛ **للإزاحة** $V=500\ [tf]$؛

4- للإزاحة $V=100\ [tf]$؛ **5- للإزاحة** $V=50\ [tf]$؛ **للإزاحة** $V=10\ [tf]$؛

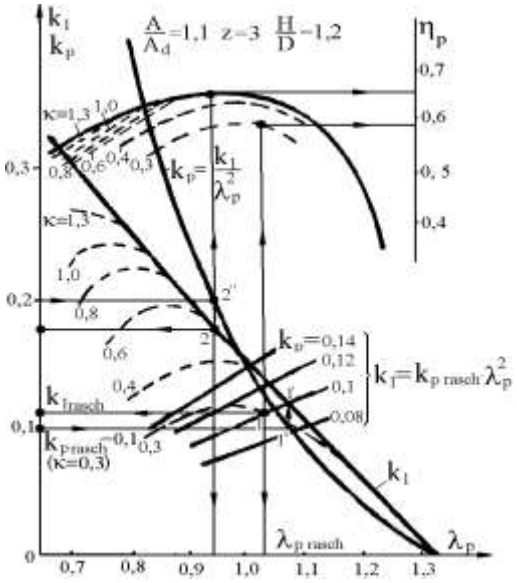
7- للإزاحة $V=5\ [tf]$؛ **للإزاحة** $V=1\ [tf]$.

4- حساب استطاعة محرك الدفع على نظام السرعة الكاملة:

تستخدم على الزوارق والسفن السريعة محارات مصممة خصيصاً لمقاومة التكهف، تكون شفراتها ذات مقاطع فلقية. بما أن الخصائص الهيدروديناميكية للمحارات المتكهفة تتعلق ليس فقط بالخطوة النسبية الفعلية، وإنما أيضاً برقم التكهف، فإنه من الصعب تنفيذ حسابات هذه المحارات باستخدام مخططات "بامبل" للمحارات. لاختيار محارات الزوارق والسفن السريعة يُمكن أن نستخدم مخططات أخرى مبنية استناداً إلى التجارب والاختبارات المنفذة على موديلات محارات متكهفة تعمل ضمن جرايانات موازية لمحاور هذه المحارات. كل مخطط من هذه المخططات يُبنى وفق قيم محددة لكلٍ من البارامترات الآتية: (النسبة القرصية A/A_d والخطوة النسبية النظرية H/D)، ويضم المنحنيات التي توضح العلاقة بين كل من ثابت قوة الدفع K_1 ومردود المحارة η_p من جهة، والخطوة النسبية الفعلية λ_p ورقم التكهف K من جهة أخرى، الشكل (7):

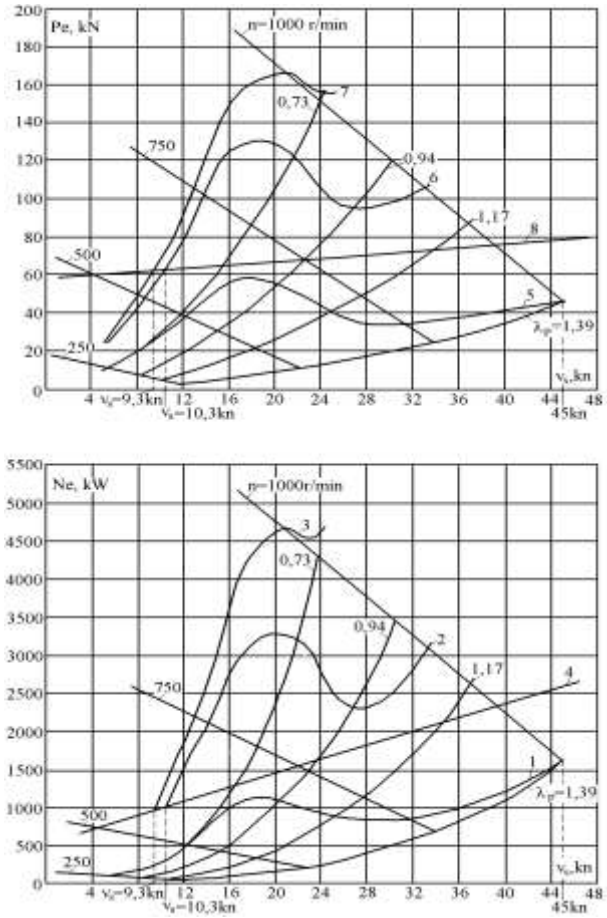
$$\eta_P = f_2(\lambda_P, K),\ K_1 = f_1(\lambda_P, K).$$

استناداً إلى المعطيات الأولية يتم تحديد استطاعة المحركات الرئيسة على كل من نظام السرعة الكاملة ونظام قمة حدبة مقاومة الجر وفق منهجيات الحساب التي تم إعدادها في هذا البحث [6]، والموجودة ضمن البرنامج الحاسوبي.



الشكل (7) المخطط البياني $k_1 = f_1(\lambda_p, k),\ \eta_p = f_2(\lambda_p, k)$ لحساب المحارات المتكهفة.

بعد ذلك نقوم بتنفيذ الحسابات المتعلقة بأنظمة العمل الجزئية ونظام السرعة الاقتصادية، وإنشاء المخطط البياني الذاتي لحركة السفينة [2]، الشكل (8).



الشكل (8) المخطط البياني الذاتي لحركة السفينة.

ثُم نقوم بتنفيذ الحسابات المتعلّقة بمنظومة الأجنحة التحتمائية وتحديد مواصفاتها الهندسية وفق المنهجيات التي تم إعدادها في هذا البحث.

تصميم محطة القدرة للسفن ذات الوسادة الهوائية:

المعطيات الأولية اللازمة للتصميم تتكون من الإزاحة الكتلية (G) والسرعة الكاملة للسفينة (v_s). نوضح فيما يلي تسلسل ومضمون الدراسة التصميمية لمجمع الدفع على سفن الوسادة الهوائية.

1- تحديد العناصر الأساسية للسفن ذات الوسادة الهوائية:

العناصر الأساسية للسفن ذات الوسادة الهوائية هي: الإزاحة، والأبعاد الرئيسة وغيرها. يمكن تحديد هذه العناصر استناداً إلى تحليل المعلومات الإحصائية عن السفن ذات الوسادة الهوائية التي تم تصنيفها سابقاً في هذا المرجع، ثم افتراض الإزاحة ضمن المعطيات الأولية للدراسة التصميمية، أما بقية العناصر فسنوضح فيما يلي كيفية حسابها [7].

الأبعاد الرئيسة للسفن ذات الوسادة الهوائية هي: طول وعرض الوسادة الهوائية L_{vp}, B_{vp} ؛ ارتفاع السياج (الصلب في حالتنا) H_{ck} ؛ طول وعرض وارتفاع بدن السفينة L, B, H.

أثناء تنفيذ حسابات الأبعاد الرئيسة نستخدم البارامتر (P_{vp}/L_{vp})، الذي يعبر عن تشوهات سطح الماء أثناء الحركة الطولية (الأمامية أو الخلفية) للسفينة، وكذلك علاقة (P_{vp}/L_{vp}) مع البارمترات الآتية:

- النسبة الرئيسية بين طول وعرض الوسادة L_{vp}/B_{vp} المتعلقة بطبيعة مقاومة التموج؛
- الإزاحة النسبية للسياج $\gamma W_{ck}/G$ ؛
- الارتفاع المفترض لأمواج البحر، الذي يُحدد قدرة السفينة على الإبحار.

نستطيع أن نحدد قيم كل من L_{vp}, B_{vp} استناداً إلى الإزاحة الكتلية المفروضة G والقيم المعتمدة للنسب L_{vp}/B_{vp} و P_{vp}/L_{vp} وفق العلاقات الآتية:

$$L_{vp} = \sqrt[3]{\frac{g(G-\gamma W_{ck})(L_{vp}/B_{vp})}{P_{vp}/L_{vp}}}$$

$$B_{vp} = \frac{L_{vp}}{(L_{vp}/B_{vp})}$$

القيمة $(G-\gamma W_{ck})$ موضحة على شكل $K_{W_{ck}}(G)$، حيث: $K_{W_{ck}} = 1-\frac{\gamma W_{ck}}{G}$.

إن نسبة عرض السياج B_{ck} إلى عرض أرضية الوسادة الهوائية B_{vp} يتم تحديدها استناداً إلى الاستطالة النسبية للوسادة الهوائية، الشكل (9)، عندها يكون [8]:

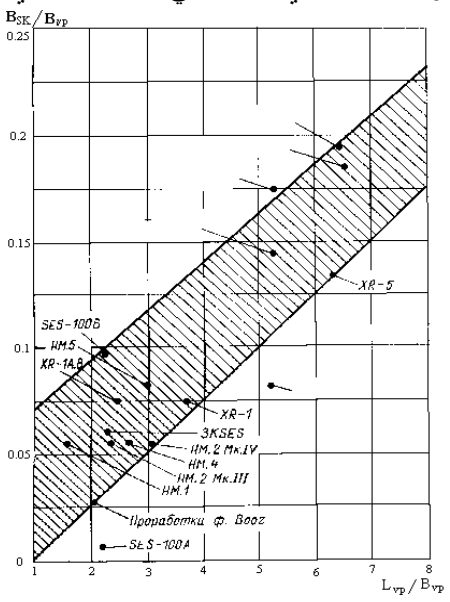
$$B_{ck} = 0.12 \times B_{vp}$$

أما عرض السفينة ذات الوسادة الهوائية فيُحدد بالعلاقة الآتية:

$$B = B_{vp}(1+2K_B(B_{ck}/B_{vp}))$$

حيث:

K_B – ثابت يأخذ بعين الاعتبار الشكل البنيوي للسفينة في منطقة المستوي المتوسط.



الشكل (9) العلاقة بين النسبة B_{ck}/B_{vp} والاستطالة النسبية للوسادة الهوائية.

2- حسابات الضغط واستهلاك الهواء في الوسادة الهوائية:

لتوصيف الخصائص الهيدروديناميكية والخصائص الاستثمارية للسفن ذات الوسادة الهوائية نستخدم عادة مجموعة من البارامترات والثوابت العديمة الواحدة (اللابعدية). تختلف أشكال هذه البارمترات والثوابت باختلاف نوع السفينة: سفن وسادة هوائية مزلاجية أو سفن وسادة هوائية برمائية. إن أكثر الطرق انتشاراً لتشكيل الوسادة الهوائية هي: طريقة الحجرة؛ طريقة الفوهة؛ الطريقة المختلطة .

تتميز طريقة الحجرة بآلية بسيطة جداً لانسياب الهواء، الشكل (10) . قيمة ضغط الهواء في الوسادة P_{vp} تتعلق باستهلاك الهواء (كمية الهواء التي تغادر الوسادة) Q وهي بدورها تحدد بالعلاقة التالية [1]:

$$Q = \varepsilon_o \cdot l_i \cdot h_i \cdot v_i$$

حيث:

h_i – ارتفاع الحجرة فوق الستار الصلب (نعتبر حركة الهواء مستوية)؛

l_i – طول محيط الانسياب (المحيط الذي يتسرب منه الهواء)؛

ε_o – ثابت التضيق. تتعلق قيمته بشكل نهايات الحجرة في منطقة الانسياب وزاوية ميلان جدران الحجرة بالنسبة للستار الصلب (الأفق)، وتُحدد قيمته من جداول خاصة.

تعتمد طريقة الفوهة الموضحة على الشكل (10) على تشكيل تيار هوائي مندفع عبر فوهات خاصة. لتوصيف هذه الطريقة نستخدم البارامترات الأساسية الآتية:

k_p – ثابت الضغط؛

$\overline{Q_1}$ – ثابت استهلاك (مصروف) الهواء؛

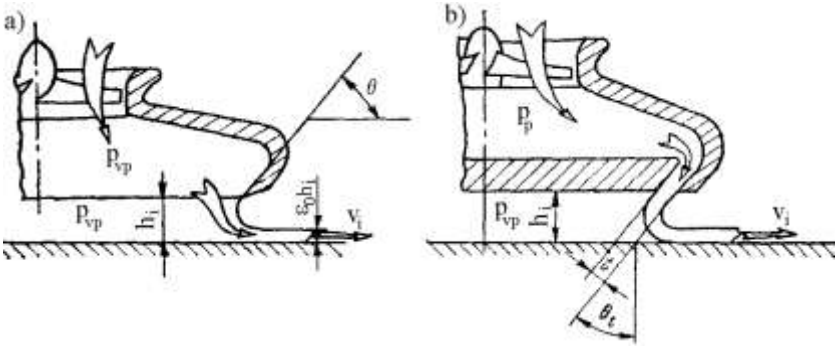
X – بارامتر يوصف الشكل الهندسي لانسياب الهواء عبر الفوهات.

العلاقات الرياضية التي يتم بواسطتها تحديد قيم كل من k_p و $\overline{Q_1}$ بدلالة X تملك الشكل الآتي [7]:

$$K_p = \frac{P_p}{P_{vp}} = \frac{1}{1-e^{-2X}}$$

$$\overline{Q_1} = \frac{Q}{tl_{vp}\sqrt{2P_p/\rho_v}} = \frac{1}{X}(1-e^{-X})$$

$$X = \frac{t}{h_i}(1-\sin\theta_t)$$



الشكل (10) مخططات انسياب (تسرب) الهواء من الوسادة الهوائية
a– طريقة الحجرة؛ b– طريقة الفوهة.

بالنسبة لسفن الوسادة الهوائية البرمائية فإن قوة الثقالة (الوزن) لهذه السفن والتي تساوي $D = gG\ [kg]$ تتم موازنتها بالمركبة الشاقولية لمحصلة قوى الضغط الستاتيكي للوسادة $P_{vp}S_{vp}$.

حيث:

S_{vp} – مساحة الوسادة الهوائية المحددة بالمحيط الخارجي للسياج الطري، أي:

$$D = P_{vp}S_{vp} \qquad [kN]$$

إن آلية تشكيل قوى الطفو تتلخص في جمع (تحصيل) تأثيرات الضغط الإضافي للهواء ضمن الوسادة على القسم السفلي الصلب من بدن السفينة والأجزاء المختلفة للسياج الطري أثناء انتفاخها في حالة العمل.

تتحدد قيمة الضغط P_{vp} في الوسادة استناداً إلى وزن السفينة ومساحة الوسادة:

$$P_{vp} = \frac{gG}{S_{vp}} \quad [kPa]$$

وتتحدد قيمة البارمتر $\overline{G}$ الذي يُعبر عن الحمولة النوعية لسفينة الوسادة الهوائية البرمائية من العلاقة:

$$\overline{G} = \frac{G}{\rho S^{\frac{3}{2}}} = (0.8 - 3.0)\cdot 10^2$$

يتعلق الاستهلاك الحجمي للهواء Q بالفراغ (الشق) المتشكل بين الحافة السفلية للسياج المرن وسطح الأرض (أثناء تواجد السفينة على البر) أو سطح الماء (فتحة عبور الهواء). إلا أن قيمة Q تتحدد بشكل رئيسي استناداً إلى متطلبات القدرة على الإبحار لأن الحركة المستقرة على الأمواج تتحدد قبل كل شيء بسرعة السفينة في استعادة الوسادة الهوائية بعد الخسارة (التسرب) في الهواء التي تكون قصيرة في الزمن، لكن بكميات كبيرة أثناء الإبحار في ظروف الأمواج. الزيادة في قيمة Q تُساعد في تخفيف الاهتزاء في أقسام السياج المرن التي تحتك مع سطح الماء. بسبب ازدياد المركبة النبضية استناداً إلى خبرة التصميم واستثمار سفن الوسادة الهوائية البرمائية فإن ثابت الاستهلاك الذي يُحدد بالعلاقة [7]:

$$\overline{Q_h} = \frac{Q}{h_p\sqrt{\frac{2G}{\rho\gamma}}}$$

تتراوح قيمته ضمن المجال $(0.12 < \overline{Q_h} < 0.30)$ وتزيد عن ذلك أحياناً.

يُحدد ارتفاع البدن الصلب لسفن الوسادة الهوائية البرمائية فوق سطح الاستناد (الكليرينس) بالعلاقة التالية:

$$h_p = h_{go} + h_i$$

حيث:

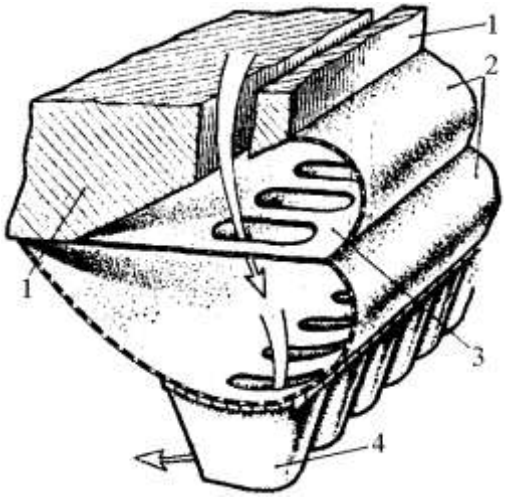
h_{go} – ارتفاع السياج الطري

h_i – ارتفاع الحافة السفلية للحجرة الهوائية عن سطح الأرض (السطح القاسي) أثناء تواجد السفينة على البر.

3– سياج الوسادة الهوائية ومبدأ عمله ضمن مجموعة الحمل:

بالإضافة إلى الوظيفة الرئيسة لسياج الوسادة الهوائية المتمثلة في تشكيل منطقة الضغط المرتفع وتأمين قوة التوازن الشاقولي (قوة الطفو)، فإن هذا السياج يُسهم أيضاً في تأمين الخصائص الحركية والإبحارية للسفينة. نوضح فيما يلي مبدأ عمل الأقسام (العناصر) الأساسية لهذا السياج. الشكل (11) يوضح المخطط البنيوي للسياج الطري في

سفن الوسادة الهوائية البرمائية. العنصر المتلاحم للسياج عبارة عن إطار مفرغ من الداخل ملتصق مع الجسم الصلب للسفينة على كامل محيطه مشكلاً بذلك طبقة واحدة أو عدة طبقات من السياج فوق بعضها بعض [8]. أما سياج سفن الوسادة الهوائية المزلاجية فيكون عادةً من النوع المركب: زوج من المزالج الصلبة على الجوانب؛ سياج طري (أو نصف صلب) في النهايات (المقدمة والمؤخرة).



الشكل (11) المخطط البنيوي لسياج جانبي طري في سفن الوسادة الهوائية البرمائية

1- الجسم الصلب للسفينة؛ 2- عنصر متلاحم ثنائي الطبقات؛ 3- صفيحة مثقبة؛ 4- عناصر معلقة مفتوحة (ذات ثقوب).

4-تحديد مواصفات الأقسام الرئيسية لمنظومة الرفع (الطفو):

تتكون منظومة الرفع (الطفو) من الأقسام الرئيسة الآتية: محطة ضخ الهواء إلى داخل الوسادة الهوائية؛ مجرى الهواء داخل البدن الصلب للسفينة؛ وسائط تنظيم ضغط الهواء في المراوح ومجرى الهواء؛ مجرى الهواء داخل السياج الطري للوسادة الهوائية.

في هذه المرحلة يتم تنفيذ الحسابات المتعلّقة بمنظومة الرفع (الطفو) الهوائية كافة التي تتضمن: تحديد مواصفات محطة ضخ الهواء؛ حسابات المقاومة في مجرى الهواء. كما يتم أيضاً تنفيذ الحسابات المتعلّقة بحركة السفينة كافة التي تتضمن: حسابات المقاومة لحركة سفن الوسادة الهوائية؛ حسابات مقاومة الجر للسفينة المراد تصميمها أثناء درفلة البحر؛ حسابات مقاومة الجر للسفينة المراد تصميمها أثناء الإبحار في مياه ضحلة. المنهجيات والطرق المعتمدة لتنفيذ الحسابات المذكورة أعلاه موجودة ضمن التأمين الرياضي للبرنامج الذي تم إعداده في هذا البحث.

5- الحسابات التصميمية لمحطات القدرة المستخدمة على سفن الوسادة الهوائية:

تتكون محطة القدرة على سفن الوسادة الهوائية من العناصر الرئيسة الآتية: المحركات الرئيسة؛ آليات نقل الطاقة من المحركات الرئيسة إلى وسائل الدفع؛ وسائل الدفع والتوجيه الرئيسة؛ منظومة الرفع (الطفو)؛ منظومات ووسائط تأمين عمل محطة القدرة.

إن غالبية السفن المتوفرة حالياً في الخدمة تعمل بقيادة مشتركة لمراوح محطة ضخ الهواء ووسائل الدفع وذلك من محرك واحد أو محركين. إن القيادة الميكانيكية المشتركة تُعطي إمكانية توزيع مخزون الاستطاعة بين مراوح محطة ضخ الهواء ووسائل الدفع وذلك بفضل استخدام وسائل دفع متغيرة الخطوة، وكذلك استخدام محركات تعمل باستطاعة

ثابتة ضمن مجال واسع لتغيرات سرعة الدوران، كما أنها تسمح بالاستخدام الأمثل لاستطاعة المحركات في ظروف الاستثمار المختلفة.

في هذه المرحلة يتم تنفيذ الحسابات المتعلّقة كافة بمحطات القدرة المستخدمة على سفن الوسادة الهوائية والتي تتضمن: حسابات الاستطاعة الكاملة للمحركات الرئيسة على سفن الوسادة الهوائية؛ الحسابات التصميمية لوسائل الدفع المستخدمة على سفن الوسادة الهوائية؛ حسابات أنظمة العمل الجزئية وتحديد استطاعة المحركات الرئيسة على نظام السرعة الاقتصادية؛ حسابات المخطط البياني الذاتي لحركة السفينة. المنهجيات والطرق المعتمدة لتنفيذ الحسابات المذكورة أعلاه موجودة ضمن التأمين الرياضي للبرنامج الذي تم إعداده في هذا البحث.

برنامج الحسابات التصميمية لمحطات القدرة المستخدمة على سفن الطفو الديناميكي:

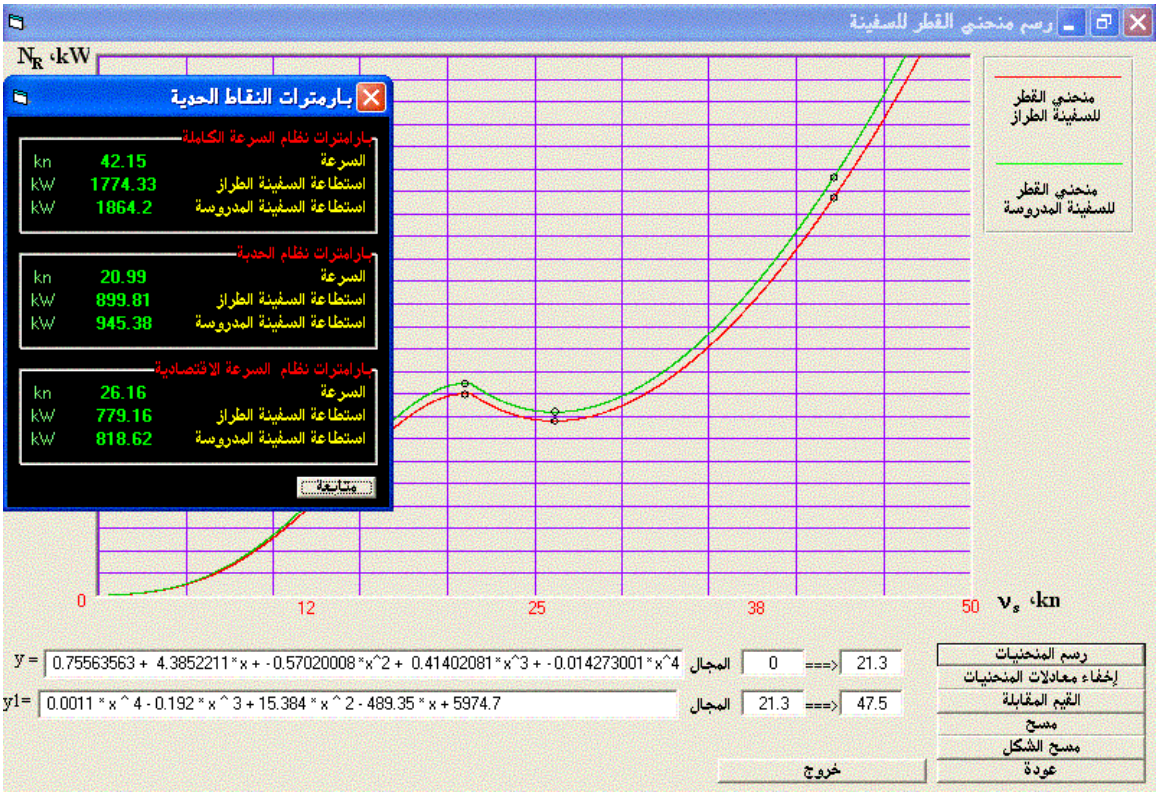
في هذا العمل تم إعداد برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات التصميمية كافة لمحطات القدرة المستخدمة لدفع سفن الطفو الديناميكي بلغة (Visual Basic). يتضمن هذا البرنامج عشرين واجهة (Form 20) برمجية. يستطيع البرنامج معالجة الحالات المتعلّقة بالمسألة المطروحة كافة، بحيثُ يُمكّننا من تحديد المواصفات الفنية والتصميمية لجميع مكونات محطة القدرة ومجمّع الدفع للسفن ذات الأجنحة التحتمائية ولسفن الوسادة الهوائية، بالإضافة إلى إمكانية استخدام هذا البرنامج للقيام بالأعمال البحثية المتعلّقة بالمسائل الآتية:

1- تحديد تأثير العوامل التصميمية المختلفة على المواصفات الفنية لمحطات القدرة المستخدمة لدفع سفن الطفو الديناميكي.

2- تحديد تأثير العوامل الاستثمارية المختلفة على أداء محطات القدرة المستخدمة لدفع سفن الطفو الديناميكي.

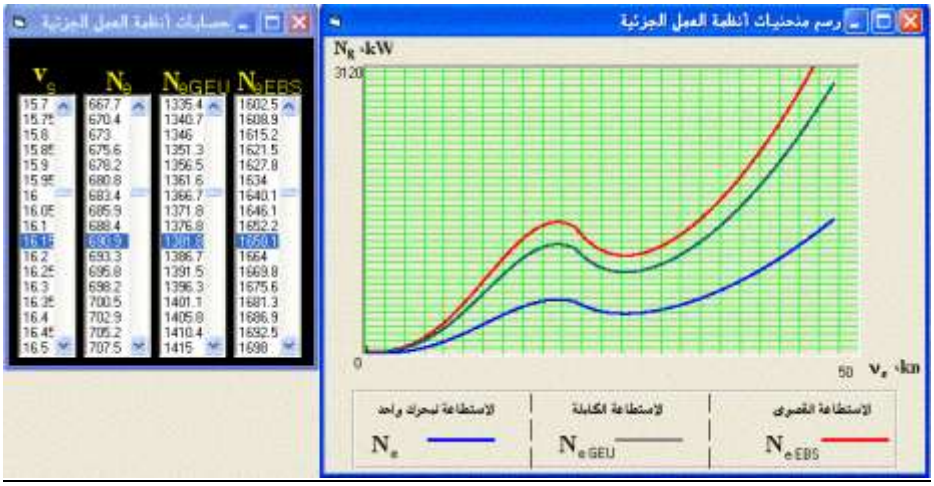
الأشكال (12) و(13) و(14) و(15) و(16) توضح بعض واجهات البرنامج.

الشكل (12) المعطيات الأولية واختيار السفينة – الطراز

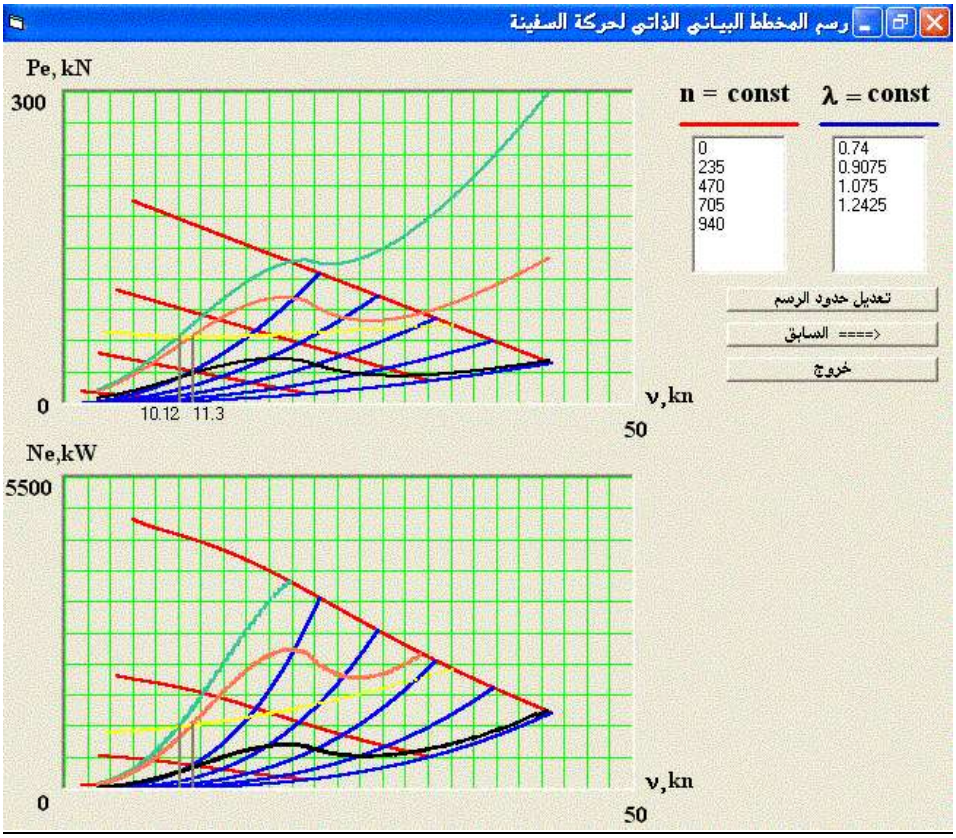


الشكل (13) رسم منحني القطر (الجر) للسفينة

الشكل (14) حسابات المحارات واختيارها



الشكل (15) رسم منحنيات أنظمة العمل الجزئية



الشكل (16) رسم المخطط البياني الذاتي لحركة السفينة

النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تم عرض موجز لأنواع السفن ذات الطفو الديناميكي والخصائص الهيدروديناميكية والبنيوية لهذه السفن والطرق المستخدمة لتأمين الطفو: طريقة الأجنحة التحتمائية؛ طريقة الوسادة الهوائية؛ طريقة الأجنحة الهوائية. كما تمت دراسة المخططات البنيوية لهذه السفن وأنواع القوى المؤثرة عليها أثناء الحركة وأثناء السكون.

بعد ذلك قمنا بإعداد المنهجيات اللازمة لتنفيذ الحسابات التصميمية لمجمعات الدفع التي يُمكن استخدامها لتحريك سفن الطفو الديناميكي، واستناداً إلى هذه المنهجيات تم إعداد برنامج حاسوبي متكامل بلغة Visual Basic، لمعالجة المسائل المتعلّقة بالحسابات التصميمية كافة لمجمعات الدفع المستخدمة على هذا النوع من السفن. يُمكن استخدام هذا البرنامج أيضاً للقيام بالأعمال البحثية المتعلّقة بتحديد تأثير العوامل المختلفة على الخصائص البنيوية والاستثمارية لمجمعات الدفع المستخدمة على سفن الطفو الديناميكي.

بواسطة هذا البرنامج تمت معالجة حالات عديدة ومختلفة لكلٍ من أنواع السفن الآتية: سفن الأجنحة التحتمائية وسفن الوسادة الهوائية. مقارنة النتائج الحسابية التي تم التوصل إليها مع المعطيات المتوفّرة عن السفن التي تعتمد الطفو الديناميكي أثبتت دقة ومصداقية البرنامج الحاسوبي، مما يؤكد صلاحيته وإمكانية استخدامه لتنفيذ الحسابات الفعلية المتعلّقة بتصميم مجمعات الدفع لهذا النوع من السفن [9].

من أجل تحسين أداء عمل البرنامج الحاسوبي المرفق يجب توسيع قاعدة البيانات الخاصة به وكذلك زيادة عدد أنواع المحارات التي يُمكن إجراء الحسابات عليها وذلك من أجل الحصول على أفضل مردود من استخدام وسائل الدفع.

كما يُمكن تطوير البرنامج ليصبح قادراً على تصميم أنواع أخرى من السفن. وكذلك الاستفادة من تطور القدرات البرمجية لجعل البرنامج يعطي النتائج بدقة أكبر وبفترة زمنية أقل.

المراجع:

1- الدكتور أحمد، معروف، نظرية السفينة 1- منشورات أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية، حلب 2004.

2- الدكتور أحمد، معروف، نظرية السفينة 2- منشورات أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية ، حلب 2005.

3- Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. “Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания”, Ленинград, Судостроение, 1980.

4- Войткунский Я.И. “Справочник по теории корабля”, Ленинград, Судостроение, 1985 .

5- Ломоть В.К. “Теория корабля”, Ленинград, 1980.

6- . Дробленков В.Ф, Ермолаев, Н.П.Муру А.И. С.И.Крылов, Ю.И. Кузнецов “Справочник по теории корабля”, Воениздат, 1984.

7- Новиков Е.Г. “Методика выполнения дипломного проекта по разделу “Теория корабля””, Ленинград, 1995.

8- Кузин В.П. Никольский В.И. ”Военно-морской флот СССР в 1945-1991 годах”, Историческое морское общество, Санкт – Петербург, 1996.

9- Сигар А.В., “Характеристики корабельных двигателей ”, Ленинград, 1987.