

## تأثير عوامل الوسط الخارجي على أداء منظومات تشغيل المحركات البحرية

الدكتور معروف أحمد\*

حسين صلاح يوسف\*\*

(تاريخ الإيداع 22 / 7 / 2007. قُبل للنشر في 16/8/2007)

### □ الملخص □

تؤثر عوامل الوسط الخارجي بشكل كبير على فعالية أداء محطات القدرة البحرية. وإن معرفة مقدار هذا التأثير تُساعد على تحسين المواصفات الاستثمارية والاقتصادية لهذه المحطات. وفي هذا البحث تمت معالجة هذه المسألة باستخدام طريقة النمذجة الرياضية. ولهذا الغرض تم إعداد نموذج رياضي يمثل أداء محطات القدرة البحرية المستخدمة على السفن أثناء إبحارها في منطقة شرق المتوسط، وتمت كتابة البرنامج باستخدام لغة البرمجة Delphi وبرامج Excel، MathCAD. وللتأكد من دقة نتائج هذا النموذج تم إجراء مجموعة من التجارب العملية على المحطات المستخدمة على السفن السورية. واستناداً إلى هذه الدراسة تم إعداد طريقة لاختيار وتعليق أنظمة العمل الملائمة لاستخدام محطات القدرة عند حدوث تغيرات في بارامترات الوسط الخارجي، وتم إعداد بعض التوصيات والإرشادات المتعلقة بزيادة فعالية استخدام محطات القدرة الرئيسية المستخدمة لدفع السفن.

كلمات مفتاحية: كلفة ساعة الإبحار  $C_{rhe}$ ، مدى الإبحار  $S_v$ ، مصروف الوقود  $B$ .

\* أستاذ مساعد - فرع ميكانيك وبناء السفن - كلية الهندسة الميكانيكية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.  
\*\* طالب دراسات عليا - فرع ميكانيك وبناء السفن - كلية الهندسة الميكانيكية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

## Impact of External Medium Parameters on Charger Subsystems Performance of Marine Engines

Dr. Marouf Ahmad <sup>\*</sup>  
Husein. S. Yousef <sup>\*\*</sup>

(Received 22 / 7 / 2007. Accepted 16/8/2007)

### □ ABSTRACT □

External medium parameters have a major effect on the efficiency of marine power plants performance. Comprehension of the amount of these effect helps to improve the economical and exploitation characteristics of this plants. In this research, this problem had been treated using mathematical modeling method. To achieve that purpose a mathematical model designed representing the performance of marine power plants during navigation in eastern region of Mediterranean. The program had been done by Delphi program, Excel and MathCAD. To confirm the accuracy of results of this mathematical model some experiments had been performed upon Syrian ships plants. According to this study a method of selection and explanation of the suitable working systems for using power plant when external medium parameters changes had been performed.

Some related suggestions and recommendations are provided to augment the efficiency of using main power plants that can be used to push ships.

**Keywords:** One hour navigation cost  $C_{rhe}$ , the distance of navigation  $S_v$ , fuel spent  $B$ .

---

\*Associate Professor, Department of Mechanic and Marine Structure, Faculty of Mechanical Engineering, Alassad Academy for military Engineering.

\*\*Postgraduate Student, Department of Mechanic and Marine Structure, Faculty of Mechanical Engineering, Alassad Academy for military Engineering.

## مقدمة:

تعتبر محطات القدرة الديزلية أكثر المحطات انتشاراً على السفن، لذلك فإنّ هذا البحث يتناول مسألة الحفاظ على الجاهزية التقنية لهذه المحطات على أساس زيادة فعالية استخدامها أثناء الاستثمار عن طريق تأمين واختيار أنظمة العمل الأكثر ملاءمة لتغيرات العوامل الخارجية (المثالية). إلا أنّ الحصول على القانون المحدد لأنظمة عمل محطة القدرة المثالية ودرجة تأثير تغير العوامل الخارجية على بارامترات عمل عناصر هذه المحطات عن طريق إجراء تجارب حقيقية يتطلب مصاريف عالية (الوقود، الزيوت، وعمر المحركات الرئيسية)، لذلك في هذا البحث ومن أجل حل هذه المسألة الهامة تم استخدام طريقة النمذجة الرياضية لتمثيل عمل المنظومة المركبة "الوسط الخارجي . مجمع دفع السفينة . المحرك الرئيسي . منظومة التشحيم".

## 1- أهمية البحث وأهدافه:

اعتماداً على خبرات الاستثمار المتراكمة، ونتائج الأعمال التجريبية والأعمال التطبيقية التي أُجريت في مجال تحليل شروط استثمار محركات الاحتراق الداخلي البحرية ضمن مياه البحر المتوسط، وكذلك اعتماداً على تطور طرق حساب خصائص عناصر دارة التشحيم وبارامترات عمل المحركات الرئيسية كجزء من محطة القدرة الرئيسية للسفن، تم تحديد أهداف البحث في النقاط الرئيسية التالية:

- ◆ التأسيس وبطريقة علمية لطرق تحديد خصائص منظومة التشحيم بالهواء للمحركات الديزلية البحرية؛
  - ◆ التأسيس لتغير العوامل الخارجية الجوية في البحر المتوسط ووضع نماذج رياضية لتأثير هذه العوامل؛
  - ◆ دراسة وتحليل التأثير المشترك للعوامل الخارجية على فعالية استخدام محطات القدرة البحرية الديزلية على سفن السطح السورية بطريقة التجارب الإحصائية.
  - ◆ تحديد الاتجاهات الأساسية (الرئيسية) لزيادة فعالية استخدام محطات القدرة الرئيسية لسفن السطح ضمن المياه الإقليمية للجمهورية العربية السورية؛
- وبالتالي فإنّ أهمية البحث تتبع من النقاط الأساسية التالية:

1. تحليل الطرق المستخدمة لتحديد الأنظمة المسموحة لعمل المحركات البحرية عند تغير العوامل الخارجية.
2. تحديد تأثير تغيرات العوامل الخارجية على فعالية واقتصادية عمل المحرك وحالته الإجهادية.
3. دراسة خصوصية التأثير المتبادل بين المحرك، العنفة الغازية والضغوط في العوامل المناخية الخاصة بالبحر الأبيض المتوسط عند ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة، أو زيادة قيم المقاومة في منظومة التبادل الغازي، أو تغير نظام تبريد المحرك.
4. دراسة طرق تحسين المواصفات الفنية والاقتصادية للمحركات التي تعمل في عوامل جوية غير نظامية.
5. تحديد التغيرات التصميمية وبارامترات تعيير المحرك من أجل ملاءمة عمله المشترك مع العنفة الغازية عند انحراف (اختلاف) العوامل الجوية عن قيمها الطبيعية.

## 2- طريقة البحث ومواده:

تمت معالجة المسائل المطروحة في هذا البحث بطريقتين:

1. طريقة النمذجة الرياضية.

2. تم التأكد من نتائج النمذجة الرياضية من خلال التجارب العملية.

## 1-2 طريقة النمذجة الرياضية:

إنّ النموذج الرياضي لمحطة القدرة البحرية الذي تم إعداده من قبل الباحث يستطيع أن يحل المسائل التالية:

1. تحديد السرعتين القصوى والدنيا للسفينة عند تغير بارامترات الوسط الخارجي أو الشروط الاستثمارية.
2. تحديد الاستهلاك الساعي للوقود للمحركات الرئيسية وفي محطة القدرة بالكامل عند أية سرعة للسفينة.
3. تحديد كلفة ساعة الإبحار من المصاريف المخصصة لمحطة القدرة عند أي سرعة للسفينة.
4. تحديد مدى إبحار السفينة عند أية سرعة للسفينة.

الشكل (1) يوضح البنية الإجمالية العامة للنموذج الرياضي الذي يمثل أداء (عمل) محطة القدرة البحرية. تم إعداد هذا النموذج بالاعتماد على المعطيات التي تم جمعها ومعالجتها من خبرة استثمار سفن الجمهورية العربية السورية في منطقة شرق المتوسط. وبواسطة هذا النموذج الرياضي يمكن تحديد نوعين من المواصفات:

I. النوع الأول: مجموعة المؤشرات التي تسمح بإجراء مقارنة بين مواصفات محطة القدرة على السفينة، مثل: السرعة القصوى ( $v_{max}$ ) والدنيا ( $v_{min}$ ) للسفينة، الاستهلاك الإجمالي للوقود ( $B$ )، الاستطاعة المطلوبة من محطة القدرة الرئيسية ( $P_{e\Sigma}$ )، والمخبرات الكهربائية ( $P_{eDG}$ ).. الخ.

II. النوع الثاني: مجموعة من المؤشرات التي يمكن أن تُستخدم كمعايير لتقييم فعالية أداء محطة القدرة على السفينة مثل: كلفة ساعة الإبحار، كمية المعدن المكونة لمحطة القدرة ( $\gamma_{SPP}$ ) ( $\gamma_{SPP}$ ) ( $\gamma_{SPP}$ ) ( $\gamma_{SPP}$ ) والمكونة للسفينة ككل ( $\gamma_{Ship}$ )، استهلاك الوقود لكل واحد ميل من المسافة التي تقطعها السفينة ( $b_{mile}$ )، الاستهلاك الساعي للوقود ( $b_h$ )، الكلفة الاستثمارية لعام واحد ( $C_y$ )، ولكامل فترة الخدمة ( $C_\Sigma$ ).

يتم توصيف محطات القدرة البحرية بمؤشرات ترموديناميكية ومؤشرات الاستطاعة ومؤشرات الكتلة ومؤشرات الكلفة وغيرها. يتم الحصول على الأرقام العشوائية اللازمة لتحديد التكاملات العكسية لتوزيع الخاصة بالمتحولات الخارجية بواسطة التعليمات المعيارية (برنامج فرعي)  $URAND$ ، البلوك (2).

البرنامج الفرعي  $KRITER$ ، البلوك (3)، يعتبر مركزياً وتتلخص وظيفته الرئيسية في تحديد معايير فعالية (أداء) محطة القدرة على السفينة، ومعايير مقارنتها مع بعض التراكيب (الحالات) الأخرى الممكنة لمحطات القدرة. بشكل عام وبواسطة البلوك 3 ( $KRITER$ ) يتم الحصول على مصفوفات قيم البارامترات التي تصف الخصائص المختلفة لعمل محطة القدرة البحرية. هذه المصفوفات عبارة عن مجموعة من القيم الإحصائية التي يتم الحصول عليها بواسطة الحاسوب، وتمثل خصائص مختلفة للسفينة ومحطة القدرة الموجودة على متنها، مثل: المصاريف المطلقة  $C$  والنسبية  $C'$ ، السرعة الاستثمارية المتوسطة  $v_s$ ، استهلاك الوقود  $B$ ، كتلة بدن السفينة  $G_{ship}$  وكتلة محطة القدرة  $G_{SPP}$ ، احتياطي الوقود على السفينة  $Q_{fi}$ ، إزاحة السفينة  $D_i$ ، المصاريف المخصصة للإصلاح المصنعي المتوسط  $B_p$  وبقية أنواع الإصلاح  $B_p^\Sigma$ ، مصاريف الخدمة خلال زمن معياري محدد أو خلال كامل فترة (دورة) الاستثمار  $T_{cycle}$ ، التكاليف الإنشائية للسفينة  $C_b$ ، وتكاليف التمرکز  $C_{base}$ ، تكاليف الإصلاحات والكشوفات الجارية  $C_r$ ، تكاليف استبدال بعض المعدات  $C_{rp}$ ، ثمن الوقود  $C_f$ ، والزيوت  $C_{oil}$ ، مصاريف الطاقم  $C_{pers}$  وغيرها من المصاريف الاستثمارية الإجمالية  $C_\Sigma$ ، استهلاك الوقود خلال ساعة واحدة  $b_h$  وخلال ميل واحد  $b_{mile}$ ، كمية المعدن المكونة لمحطة القدرة ( $\gamma_{SPP}$ )، المصاريف الاستثمارية الإجمالية  $C_{exp}^a$ ، ومتوسط المصاريف السنوية  $C_y$ .

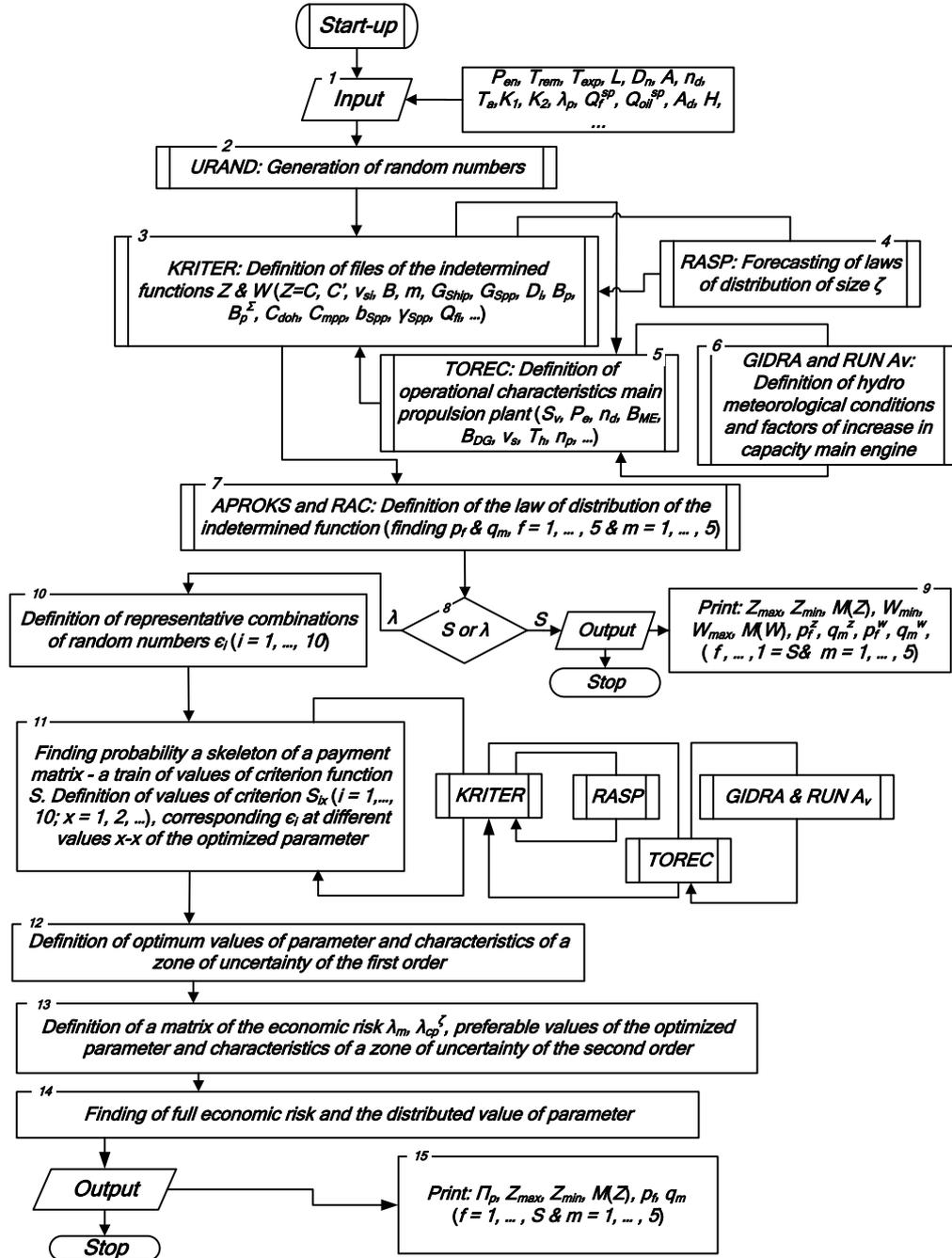
يتم حساب وتحديد المعايير  $C$  و  $C'$  بالنسبة لجميع حالات محطات القدرة لكل واحدة من السفن المدروسة وعلى كامل طيف الاستثمار. الحالات المثالية لمحطات القدرة هي الحالات التي تتميز بقيم أصغرية للبارامترات  $C$  و  $C'$ . يتم إجراء مجموعة من الحسابات في البلوك 3 بمساعدة البرنامج الفرعي  $RASP$  (البلوك 4) والبرنامج الفرعي  $TOREC$  (البلوك 5). البرنامج الفرعي الأخير  $TOREC$  يتعامل بدوره مع البرنامج الفرعي  $GIDRA$  والبرنامج الفرعي  $RUN A_v$  (البلوك 6).

البرنامج الفرعي  $TOREC$  مخصص لتحديد (لحساب) المواصفات الاستثمارية لمحطة القدرة الموجودة على متن السفينة. يتم حساب (تحديد) الاستهلاك الساعي للوقود بشكل مستقل (منفصل) لكل من المحركات الرئيسية  $B_{ME}$  (*Main Engine*) ومحركات الديزل المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية  $B_{DG}$  (*Diesel Generator*) ومولدات البخار المساعدة عند وجودها  $B_{ASG}$  (*auxiliary steam generator*)، بالأشهر والأعوام، ومن ثم يتم جمعها مع الأخذ بعين الاعتبار لاستمرار فترات الإبحار وعدد المحركات الرئيسية والمساعدة العاملة التي تؤمن السرعة المفترضة للسفينة.

لتحديد تأثير عوامل الوسط الخارجي (الشروط الخارجية) يتوجه (يرجع) البرنامج الفرعي  $TOREC$  إلى البرامج الفرعية  $GIDRA$  و  $RUN A_v$ . أثناء ذلك يقوم البرنامج الفرعي  $GIDRA$  بتحديد البارامترات الهيدرومترولوجية، أما البرنامج الفرعي  $RUN A_v$  فيقوم بحساب قيم ثوابت تصحيح الاستطاعة  $A_v$ ، التي تُعتبر قيماً عشوائية يمكن بواسطتها (بدقة جيدة) تحديد السرعة المتوقعة للسفينة ودرجة إجهاد المحركات الرئيسية والمساعدة والمراجل المساعدة، وكذلك ضرورة وطريقة استخدام الأنظمة الإفرادية لعمل المحركات الرئيسية. ويقوم البرنامج الفرعي  $RUN$  بتحليل التغيرات الحاصلة في مواصفات مجمع الدفع واختيار الأنظمة الملائمة لأنظمة استخدام محطة القدرة على السفينة. وحسب الشروط الهيدرومترولوجية يتم تقسيم مسار الرحلة  $L$  إلى أربعة أقسام مختلفة الطول  $L_1, L_2, L_3, L_4$ . وأثناء ذلك يتم حساب السرعة الاستثمارية للسفينة على كل قسم مع الأخذ بعين الاعتبار لطيف أنظمة استخدام السفينة. وقائمة المواصفات التي يتم حسابها تتضمن:

- ★ حالات استخدام محطة القدرة وأنظمة عملها.
  - ★ السرعات الحسابية والقصى والدنيا للسفينة على كل نظام عمل (i).
  - ★ السرعة المتوسطة للسفينة  $v_{sr}$ .
  - ★ سرعة دوران الرافص على النظام الحسابي (الاسمي)  $n_p$ .
  - ★ استطاعة المحركات الرئيسية على النظام (i) وفق المنحني الحدي ووفق منحني العمل على الرافص.
  - ★ مدى إبحار السفينة عند أي سرعة ممكنة  $S_v$ .
  - ★ تدقيق قيم كل من ثابت إجهاد الإبحار  $K_N$  وزمن الإبحار  $T_h$ .
- بواسطة البرنامج الفرعي  $GIDRA$  تم تحديد واحدة من التشكيلات الممكنة للعوامل الهيدرومترولوجية السائدة في منطقة شرق المتوسط والمكونة من:

- ⊙ درجة حرارة ( $T_a$ ) وضغط ( $p_a$ ) ورطوبة ( $\phi_a$ ) الوسط الخارجي.
- ⊙ زاوية خط سير السفينة بالنسبة لاتجاه الهواء ( $q_w$ )، وسرعة الهواء ( $v_w$ ).
- ⊙ ارتفاع الأمواج التي تتجاوز 3% (الحد الخطير)، أي  $h_{3\%}$ .
- ⊙ أطوال الأقسام المكونة لخط سير الرحلة ذات الشروط الهيدرومترولوجية المتنوعة  $L_1, L_2, L_3, L_4$ .



الشكل (1) المخطط العام للنموذج الرياضي التمثيلي لعمل محطة القدرة البحرية

البرنامج الفرعي  $RUN A_v$  يلحظ حساب الثوابت التي تُحدد تغيرات الاستطاعة المطلوبة من المحركات الرئيسية وكذلك حساب قيمة الثابت الإجمالي لهذه التغيرات  $A_{vz}$ . البرنامج الفرعي  $RASP$  (البلوك 4)، يُستخدم للحصول على قوانين توزيع المعطيات الأولية بصيغ تفاضلية أو تكاملية.

حساب فعالية أداء محطة القدرة البحرية أو لمقارنة حالتين بنيويتين مختلفتين لمحطات القدرة، يكفي أن يتم تحديد أو مقارنة معايير التوزيع الموافقة لهذه الحالات  $C, C'$  أو  $W_{mpp}$ . لذلك فإن النموذج الرياضي التمثيلي يلحظ مخرجاً (البلوك 9) للطباعة بهدف تقييم فعالية الاستثمار أو مقارنة الحالات المختلفة لمحطات القدرة. إن تحديد القيمة المثالية  $\Pi_p$  للبارامتر المدروس في محطة القدرة بالمقارنة المباشرة لتوزيع التابع الوظيفي ومشتقات معايير غير ممكن، في هذه الحالة يتم استخدام معايير إضافية للمخاطرة الاقتصادية  $\lambda$ . والتعليمات المنطقية والحسابية (البرامج الفرعية) المستخدمة لذلك موجودة في البلوكات 10-15 للنموذج الرياضي. التشغيل الآلي للمعطيات الأولية الأساسية يقع على عاتق البلوك 10. في البلوك 11 يجري حساب القيمة الملائمة للبارامتر المدروس  $\Pi_p$ . في هذا البلوك يتم إنشاء الهيكل الأساسي للعلاقة الداخلية الغير محددة، ويتم تحديد الشروط الاحتمالية داخل هذا الهيكل. العلاقة الداخلية غير المحددة تصبح معلومة (محددة) إذا تم تحديد (بالنسبة لكافة حالاتها) المجالات الممكنة لقيم وقوانين توزيع هذه القيم. في المجالات التطبيقية. لتحديد قانون توزيع قيم التابع الوظيفي  $Z$  عند القيم الاحتمالية لواحد فقط من البارامترات الخارجية  $\Pi$  لمنظومة معينة موضحة بالشعاع  $a$  للبارامترات الداخلية، يجب أن يتم تحديد هذا التابع ضمن مجال محدد  $\Pi_{min} \dots \Pi_{max}$  من جملة قيم البارامتر الخارجي  $\Pi$ ، ومن ثم يتم إجراء النمذجة عند قيم  $\Pi_r$  ( $r=1,2,\dots,R$ ) لهذا البارامتر، حيث  $R$  هو العدد المطلوب من الحسابات (مرات الحساب)، الذي يحدد انطلاقاً من أهداف النمذجة.

التعليمات (البرامج الفرعية) الحسابية للبلوك 11 تُنفذ بالرجوع إلى البرامج الفرعية  $RASP$  و  $TOREC$  و  $KRITER$  و  $A_v$  و  $RUN$  و  $GIDRA$ . الاستراتيجية الأساسية لحساب قيم البارامتر المدروس تتحدد في البلوك 12. البلوك 13 يقوم بحساب مشتقات معايير المخاطرة العظمى  $\lambda_m$  والقيمة المتوسطة لمعيار المخاطرة الاقتصادية  $\lambda_{cp}$ ، كما أنه يقوم بتدقيق استراتيجية البحث عن البارامتر  $\Pi_p$  مع المعلومات الكاملة عن التابع الوظيفي المحدد عند هذه القيمة للبارامتر  $\Pi_p$ ، ثم يتم إرسال كل ذلك إلى الطباعة أي إلى البلوك (15).

تم تحويل هذا النموذج الرياضي من قبل الباحث إلى برنامج حاسوبي بلغة البرمجة  $Delphi$  لما تتمتع به هذه اللغة من سهولة في الاستخدام وقدرات برمجية تساعد على تحقيق الغاية المرجوة من البحث.

## 2-2 تخطيط وتنفيذ التجارب العملية:

### 2-2-1 إعداد مصفوفة المعطيات الأولية:

إن النموذج الرياضي للوسط الخارجي لمنطقة شرق المتوسط ولأداء محطات القدرة المستخدمة على السفن يمكنان من تنفيذ التجارب المختلفة لمنظومة "الوسط الخارجي-مجمع الدفع البحري". للحصول على توقع رياضي مستقر لقيم مؤشرات (معايير) فعالية استثمار مجمع الدفع على السفينة يجب تحديد عدد التجارب التي يجب تنفيذها. في المرجع [1] يُقترح أن يتراوح عدد التجارب ضمن المجال  $(50 \div 100)$ ، أما في المرجع [2] فيُقترح معياراً آخر لتحديد عدد التجارب من خلال استقرار التوقع الرياضي على شكل العلاقة:

$$U = \frac{1}{M_1(Z)} [M_1(Z) - M_2(Z)] \quad (1)$$

حيث:  $M_1(Z)$  و  $M_2(Z)$  التوقعات الرياضية للتابع  $Z$  والموافقة لحجمين متساويين لمصفوفات التجارب الإحصائية، والتي يتحدد كلٌ منها بالعلاقة:

$$M(Z) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_n \quad (2)$$

إنَّ استقرار التوقع الرياضي ( $U \approx 0$ ) يحدث سريعاً، وفي مسائل محطات القدرة البحرية التي تتم معالجتها في هذا البحث يحدث الاستقرار عند ( $N = 70 \div 150$ ). في تجارب هذا البحث تم اعتماد الرقم ( $N = 100$ ). لكل طراز من السفن بشكل مستقل وبخطوة محددة يتم افتراض طيف السرعات الممكنة من  $v_{\min}$  إلى  $v_{\max}$ ، ثم يتم حساب التوقع الرياضي والتشتت (الانحراف التربيعي) لقيم ثلاثة معايير هي: الاستهلاك الساعي للوقود  $B$ ، كلفة ساعة الإبحار الواحدة  $C_{rhe}$ ، ومدى الإبحار ( $S_v$ ). بالنسبة للسفن السريعة تم الحصول على ثلاث مجموعات من المعطيات الإحصائية، اثنتان منها لحالات العمل الإفرادي للرفاصات، الجدول (1).

الجدول (1) مجالات السرعات المدروسة وحالات عمل محطة القدرة الرئيسية على السفن السريعة:

مجالات السرعات المدروسة لسرعة الزورق [kn]	الحالات المدروسة لعمل محطة القدرة
10.5÷40	عمل ثلاثة رفاصات ثابتة الخطوة ( $z_p = 3$ )
8.4÷29.4	عمل رفاصين ثابتي الخطوة ( $z_p = 2$ )
8.4÷25.4	عمل رفاص واحد ثابت الخطوة ( $z_p = 1$ )

إنَّ تقييم إمكانية تأمين السرعة المطلوبة للسفينة في شروط الإبحار المختلفة يجري من خلال عدد التجارب الناجحة للبرنامج، إذا تجاوز عدد هذه التجارب الناجحة 80%، 90%، أو 97% بالمقارنة مع التجارب غير الناجحة وذلك حسب مستوى شدة المتطلبات المتعلقة بتأمين السرعة المطلوبة للسفينة.

تم الحصول على بعض المعطيات الإحصائية أثناء قيام الباحث بتنفيذ التجارب التمثيلية على المنظومة "الوسط الخارجي-مجمع الدفع البحري" على السفن السريعة من خلال البرنامج الحاسوبي المكتوب بلغة "Delphi" على شكل جداول، وذلك لدراسة تأثير الشروط المناخية والعوامل الاستثمارية على أداء مجمع الدفع. الجدول (2) يضم بعضاً من هذه المعطيات بالنسبة للسفن السريعة عند عمل رفاصين فقط ( $z_p = 2$ ).

الجدول (2) بعض المعطيات الإحصائية التي تم الحصول عليها من خلال التجارب المنفذة على النموذج الرياضي

"الوسط الخارجي-مجمع الدفع البحري" للسفن السريعة في حالة ( $z_p = 2$ )

مدى الإبحار $S_v$ [mile]	كلفة ساعة الإبحار $C_{rhe}$ [u.e]	الاستهلاك الساعي للوقود في محطة القدرة $B$ [kg/h]	السرعة النسبية للسفينة $v_i$	عدد التجارب الناجحة	ثابت إجهاد الإبحار $k_N$	الفترة الزمنية المنقضية بعد تحويض السفينة $T_{exp}$ [month]	الفصل
840.375 5447.661 73.808	86.822 72.990 8.543	361.539 1267.179 35.597	0.20	100	0	0	1
1076.544 4078.715 63.865	193.394 137.666 11.733	805.588 2390.034 48.888	0.550	100	0.020	0	1
970.217 5173.950 71.930	175.310 185.081 13.604	730.240 3213.242 56.685	0.450	100	0	3	1
1047.882 2665.046 51.624	142.599 55.890 7.476	593.945 970.332 31.150	0.400	100	0.020	3	1
809.785 5834.209 76.382	139.102 182.125 13.495	579.374 3161.892 56.231	0.300	100	0.020	6	1

## 2-2 معالجة نتائج التجارب:

لدراسة العلاقة بين مؤشرات فعالية أداء محطات القدرة البحرية: الاستهلاك الساعي للوقود ( $B$ )، ومدى إبحار السفينة ( $S_v$ )، وكلفة ساعة الإبحار لمحطة القدرة ( $C_{rhe}$ )، من جهة وبين كلٍ من: سرعة السفينة ( $v_i$ ) وثابت إجهاد إبحار السفينة ( $k_N$ ) والزمن المنقضي بعد التحويل ( $T_{exp}$ ) من جهةٍ أخرى خلال فصلين مناخيين مختلفين، تم استخدام التحليل الإرجاعي والتحليل الترابطي (التبادلي). على سبيل المثال بالنسبة للسفن السريعة أثناء عمل مجموعات حركة مستقلة تكون العلاقات الإرجاعية للاستهلاك الساعي للوقود في محطة القدرة ( $B[kg/h]$ )، ومدى إبحار السفينة ( $S_v[mile]$ )، وكلفة ساعة الإبحار ( $C_{rhe}[u.e/h]$ ) على الشكل التالي:

$$\text{January } (S-1) \quad B = 2491.1 \cdot \bar{v}_i - 94.62 \cdot K_N + 44.11 \cdot T_{exp} - 482.27 \quad (3)$$

$$\text{August } (S-2) \quad B = 2500 \cdot \bar{v}_i - 121.4 \cdot K_N + 34.6 \cdot T_{exp} - 634 \quad (4)$$

$$\text{January } (S-1) \quad S_v = 1765.4 - 60.97 \cdot T_{exp} + 214.28 \cdot K_N - 1327.37 \cdot \bar{v}_i \quad (5)$$

$$\text{August } (S-2) \quad S_v = 2151 - 57.6 \cdot T_{exp} + 297.6 \cdot K_N - 1608 \cdot \bar{v}_i \quad (6)$$

$$\text{January } (S-1) \quad C_{rhe} = 597.9 \cdot \bar{v}_i - 22.74 \cdot K_N + 10.59 \cdot T_{exp} - 115.7 \quad (7)$$

$$\text{August } (S-2) \quad C_{rhe} = 600 \cdot \bar{v}_i - 29.15 \cdot K_N + 8.3 \cdot T_{exp} - 152 \quad (8)$$

لتقييم جودة اختيار العلاقات (التوابع) الإرجاعية يُستخدم ثابت الترابط، الذي يُعبر عن شدة العلاقة الخطية للمتحول ( $y_i(B, C_{rhe}, S_v)$ ) بمجموعة المتحولات ( $X_i(v_i, T_{exp}, k_N)$ )، وفق العلاقة [3]:

$$R = \sqrt{1 - \left( \frac{\sum e_i^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \right)} \quad (4-40)$$

حيث:  $\sum e_i^2$  مجموع مربعات الانحرافات الفعلية للقيم (للملاحظات) عن منحنى الإرجاع؛  $\sum (Y_i - \bar{Y})^2$  مجموع مربعات الانحرافات الفعلية للقيم (للملاحظات) عن التوقع الرياضي.

إنّ الحزمة البرمجية *Excel* تقوم بحساب الثابت ( $R$ ) لكل علاقة إرجاعية، وكما يتضح من نتائج التجارب المنفذة فإنّ قيمة هذا الثابت في كافة الحالات التي تمت معالجتها عالية ( $>0.865$ ). ثابت الحتمية (التحديد) يساوي مربع ثابت الترابط أي  $R^2$ ، وهو يُستخدم أيضاً لتقييم جودة اختيار العلاقة الإرجاعية. في الحسابات المنفذة كانت قيمة  $R^2$  كبيرة فهي بالنسبة للبارامترات ( $B, C_{rhe}$ ) أكبر من ( $>0.98$ )، وبالنسبة للبارامتر ( $S_v$ ) أكبر من ( $>0.858$ ). تُحدد المجالات المؤمنة للحالات الإفرادية بالنسبة للعلاقات ( $3 \div 8$ ) كما يلي:

$$\text{January } (S-1): B \pm 96; \quad \text{August } (S-2): B \pm 92$$

$$\text{January } (S-1): S_v \pm 183; \quad \text{August } (S-2): S_v \pm 178$$

$$\text{January } (S-1): C_{rhe} \pm 23; \quad \text{August } (S-2): C_{rhe} \pm 21$$

في هذا البحث تم تنفيذ الحسابات باستخدام الحزمة البرمجية *Math Cad 13 pr* كما يلي: لمجموعة من مجموعات الدفع البحرية المتنوعة؛ لكافة حالات استخدام كل مجمع من المجمعات المدروسة؛ لكافة العلاقات الإرجاعية الخاصة بالبارامترات ( $B, S_v, C_{rhe}$ )، وذلك لمجالات مؤمنة بنسبة 95%، والتي ضمن حدودها يمكن ضمان وقوع القيمة المتوقعة لكلٍ من البارامترات ( $B, S_v, C_{rhe}$ ). استناداً إلى المعطيات الإحصائية الأولية وباستخدام الحزمة البرمجية *Math Cad* لتحديد قيم كلٍ من: الاستهلاك الساعي للوقود، ومدى إبحار السفينة وكلفة ساعة الإبحار وفق العلاقات الإرجاعية اللاخطية، فقد تحولت العلاقات ( $3 \div 8$ ) إلى الشكل التالي:

$$\text{January } (S-1) B = -533 + 2726 \cdot \bar{v}_i - 242 \cdot \bar{v}_i^2 - 92 \cdot K_N + 44 \cdot T_{\text{exp}} \pm 66 \quad (9)$$

$$\text{August } (S-2) B = -624 + 2460 \cdot \bar{v}_i + 44 \cdot \bar{v}_i^2 - 122 \cdot K_N + 35 \cdot T_{\text{exp}} \pm 64 \quad (10)$$

$$\text{January } (S-1) S_v = 2315 - 3860 \cdot \bar{v}_i + 2616 \cdot \bar{v}_i^2 + 187 \cdot K_N - 58 \cdot T_{\text{exp}} \pm 106 \quad (11)$$

$$\text{August } (S-2) S_v = 2430 - 4140 \cdot \bar{v}_i + 2470 \cdot \bar{v}_i^2 + 283 \cdot K_N - 56 \cdot T_{\text{exp}} \pm 148 \quad (12)$$

$$\text{January } (S-1) C_{rhe} = -127.9 + 654.2 \cdot \bar{v}_i - 58.2 \cdot \bar{v}_i^2 - 22.1 \cdot K_N + 10.53 \cdot T_{\text{exp}} \pm 15.92 \quad (13)$$

$$\text{August } (S-2) C_{rhe} = -149.7 + 589 \cdot \bar{v}_i + 10.5 \cdot \bar{v}_i^2 - 29.2 \cdot K_N + 8.31 \cdot T_{\text{exp}} \pm 15.34 \quad (14)$$

إنّ تأثير هذه النماذج (العلاقات) الإرجاعية اللاخطية ينتشر على كامل مجال قيم السرعات الممكنة للسفينة وخلال كافة أشكال التغيرات التي تحصل في الشروط الخارجية والعوامل الاستثنائية ( $T_{\text{exp}} = 0 \div 12 \text{ month}$ ,  $k_N = 0 \div 0.2$ ) وذلك خلال عمل كافة الرفاصات ( $z_p = 3$ ) أو بعضها.

### 3- طريقة اختيار وتعليل أنظمة العمل الملائمة لاستخدام محطة القدرة عند حدوث تغيرات في بارامترات الوسط الخارجي:

#### 3-1 تحديد المعايير المستخدمة في اختيار الأنظمة الملائمة لعمل محطات القدرة الرئيسية على السفن:

إنّ فعالية استخدام محطات القدرة الرئيسية البحرية يجب أن تُحدد من وجهة نظر المنظومة الشاملة، أي السفينة ككل، وذلك من خلال قدرة هذه المحطة على حل كافة المسائل المتعلقة بتنفيذ السفينة لمهامها. التحليل المنظوماتي يعتبر محطة القدرة إحدى المنظومات الفرعية التي تدخل في مكونات المنظومة الشاملة، لذلك فإنّ صياغة واختيار معايير فعالية استخدام محطة القدرة يجب أن يجري مع الأخذ بعين الاعتبار لكافة متطلبات المنظومة الشاملة. إنّ المواصفة الموضوعية لاستخدام السفينة أثناء تنفيذها لمهامها هي طيف السرعات الذي تتحرك ضمنه هذه السفينة. كميّار لإجهاد السفينة بسبب الإبحار يمكن أن تُستخدم السرعة المتوسطة  $[kn]$ :

$$v_{sr} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i \quad (15)$$

حيث:  $v_i$  سرعة حركة السفينة أثناء عمل محطة القدرة على النظام رقم  $(i)$ ،  $[kn]$ ؛  $\bar{t}_i$  الزمن النسبي لاستخدام محطة القدرة على نظام العمل رقم  $i$ :

$$\sum_{i=1}^n \bar{t}_i = 1 \quad (16)$$

وكمعايير لفعالية محطات القدرة الرئيسية يُمكن اختيار تلك المعايير التي تُعبر عن الأنواع المختلفة للتكاليف الاقتصادية المباشرة. لتحديد فعالية استخدام العمر الفني للمحركات الرئيسية يتم اختيار المعايير التالية [4]:

☒ ثابت تزامن العمل للمحركات الرئيسية:

$$K_p = \left( \sum_{i=1}^n z_{di} \cdot \bar{t}_i \right) / z_d \quad (17)$$

حيث:  $z_d$  عدد المحركات الرئيسية في محطة القدرة؛  $z_{di}$  عدد المحركات الرئيسية العاملة على النظام  $i$ .

⊠ ثابت استخدام المحركات الرئيسية أثناء إبحار السفينة:

$$K_{ME}^h = \sum_{i=1}^n z_{di} \cdot \bar{t}_i \quad (18)$$

أثناء تقييم استهلاك الوقود في محطة القدرة يتم استخدام متوسط الاستهلاك الساعي للوقود  $[kg/h]$ :

$$B_{sr} = \sum_{i=1}^n B_i \cdot \bar{t}_i \quad (19)$$

في بعض الحالات يمكن اختيار القيمة المتوسطة لكلفة ساعة الإبحار  $[u.e/h]$ :

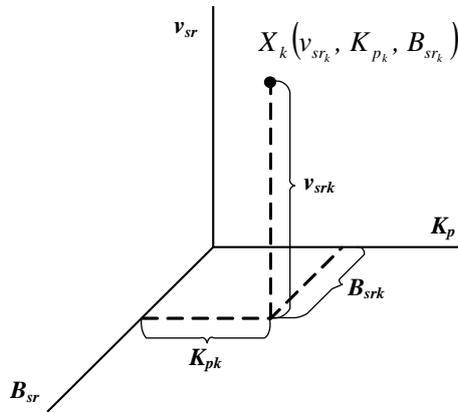
$$C_{rhe_{sr}} = \sum_{i=1}^n C_{rhe_i} \cdot \bar{t}_i \quad (20)$$

كلفة ساعة الإبحار يمكن أن تُحدَّد باستخدام بعض العلاقات التجريبية مثل [4]:

$$C_{rhe_i} = C_{fuel} \cdot B_i \cdot 10^{-3} + C_{oil} \cdot B_{oil_i} \cdot 10^{-3} + (C_{ME}/R_s) \quad (21)$$

حيث:  $C_{fuel}$  ثمن الطن الواحد من الوقود المستخدم  $[u.e/h]$ ؛  $C_{oil}$  ثمن الطن الواحد من الزيوت المستخدمة  $[u.e/h]$ ؛  $B_{oil_i} = 0.05B_i$ ؛  $[kg/h]$  الاستهلاك الساعي من الزيوت  $C_{ME}$  ثمن المحركات الرئيسية  $[u.e]$ ،  $R_s$  العمر الفني الكامل للمحركات الرئيسية  $[h]$ .

باستخدام النموذج الرياضي الذي تم إعداده في هذا البحث ومفهوم فضاء أنظمة العمل المسموحة لاستثمار



$$X_k(v_{sr_k}, K_{p_k}, B_{sr_k}) \Leftrightarrow T_{h_k}(\bar{t}_{1_k}, \dots, \bar{t}_{i_k}, \dots, \bar{t}_{n_k})$$

الشكل (2) فضاء أنظمة العمل المسموحة لاستثمار محطة القدرة الرئيسية

محطة القدرة الرئيسية، الشكل (2)، فإنه يمكن حل واحدة من أهم مسائل التوافقيات المثالية لمعايير فعالية استهلاك العمر الفني للمحركات الرئيسية، واستهلاك الوقود وسرعة إبحار السفينة في شروط الإبحار المختلفة مع الأخذ بعين الاعتبار لكل القيود والمحددات المطلوبة. فضاء أنظمة العمل المسموحة لاستثمار محطة القدرة الرئيسية يتم تحديده كمجموعة غير منتهية من النقاط  $X$  في جملة الإحداثيات  $v_{sr}, K_p, B_{sr}$ ، التي تتوافق مع مجموعة الأشعة التي تعبّر عن زمن الحركة  $T_h$ . مثال: النقطة  $X_k(v_{sr_k}, K_{p_k}, B_{sr_k})$  في الفضاء الثلاثي الأبعاد، الشكل (2)، تتوافق مع حالة محددة تماماً لشعاع ذو  $n$  بعد لزمن حركة السفينة  $T_{h_k}(\bar{t}_{1_k}, \dots, \bar{t}_{i_k}, \dots, \bar{t}_{n_k})$  وبالتحديد مصفوفة أنظمة العمل. وبالعكس فإنه لكل نقطة من فضاء زمن حركة السفينة يوجد نقطة محددة  $X$  بثلاثة إحداثيات

$v_{sr}, K_p, B_{sr}$  تُعبّر عن مؤشرات إجهاد السفينة بسبب الإبحار وفعالية استخدام محطة القدرة الموجودة على متنها.

### 2-3 طريقة تعليل الأنظمة الملائمة لاستخدام محطة القدرة الرئيسية على السفينة:

إن اختيار وتعليل أنظمة عمل محطات القدرة الديزلية المستخدمة على السفن يبدأ من صياغة مصفوفة الأنظمة مع الأخذ بعين الاعتبار لشروط الإبحار المتوقعة وللحالة الفنية المتوقعة للسفينة بكافة مكوناتها. في البداية يتم افتراض

المعطيات الأولية: سرعة الإبحار أو طيف السرعات؛ عوامل الوسط الخارجي (العوامل المناخية والعوامل الاستثمارية)؛ المحددات أو القيود (الاحتياطات، المعايير، ثوابت الفعالية، العمر الفني... الخ).

عند عمل محطة القدرة على رفاصات متغيرة الخطوة فإنّ النموذج الرياضي يلحظ عملية بحث عن التوافقية الملائمة بين خطوة الرفاص وسرعة دوران المحرك ( $n_d$ )، التي يكون عندها استهلاك الوقود أصغرياً.

بالنسبة للسفن السريعة فإنّ الاستخدام الإفرادي لمحركات محطة القدرة يقدم إمكانية الاقتصاد في استهلاك العمر الفني لمحركات الديزل، لكن وبسبب المقاومة الإضافية الناجمة عن الرفاصات الثابتة الخطوة غير العاملة، يزداد وبشكل كبير استهلاك الوقود في محطة القدرة. اختيار النظام الأمثل في هذه الحالة يتم من خلال المفاضلة بين أهمية الاقتصاد في استهلاك الوقود وبين استهلاك العمر الفني للمحركات الرئيسية.

عند تحديد (افتراض) طيف السرعات المطلوبة فإنّ تشكيل مصفوفة أنظمة العمل وحل مسألة الأمثلة يتم وفق الخوارزمية الموضحة على الشكل (3) الحالة رقم (1)، أثناء ذلك الزمن النسبي لاستخدام السفينة على السرعة  $v_k$  أي  $T_k$  والزمن النسبي لاستخدام محطة القدرة على نظام العمل رقم  $i$ ، أي  $t_i$ ، يكونان مترابطين [5]:

$$v_{sr} = \sum_{k=1}^L v_k \cdot \bar{T}_k = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i \quad (22)$$

حيث:  $v_{sr}$  السرعة المتوسطة لحركة السفينة  $[kn]$ ؛  $v_k$  سرعة حركة السفينة المأخوذة من طيف السرعات المفترضة  $[kn]$ ؛  $k$  رقم السرعة في طيف السرعات والذي يتغير من 1 إلى 4؛  $\bar{T}_k$  الزمن النسبي لاستخدام السفينة على السرعة  $v_k$  من طيف السرعات المفترضة  $[h]$ ؛  $i$  رقم نظام عمل محطة القدرة الرئيسية، والذي يتغير من (1) إلى  $(n)$ ؛  $n$  عدد أنظمة عمل محطة القدرة الرئيسية المستخدمة لتأمين الطيف الذي تم افتراضه لسرعات السفينة  $\bar{t}_i$ .

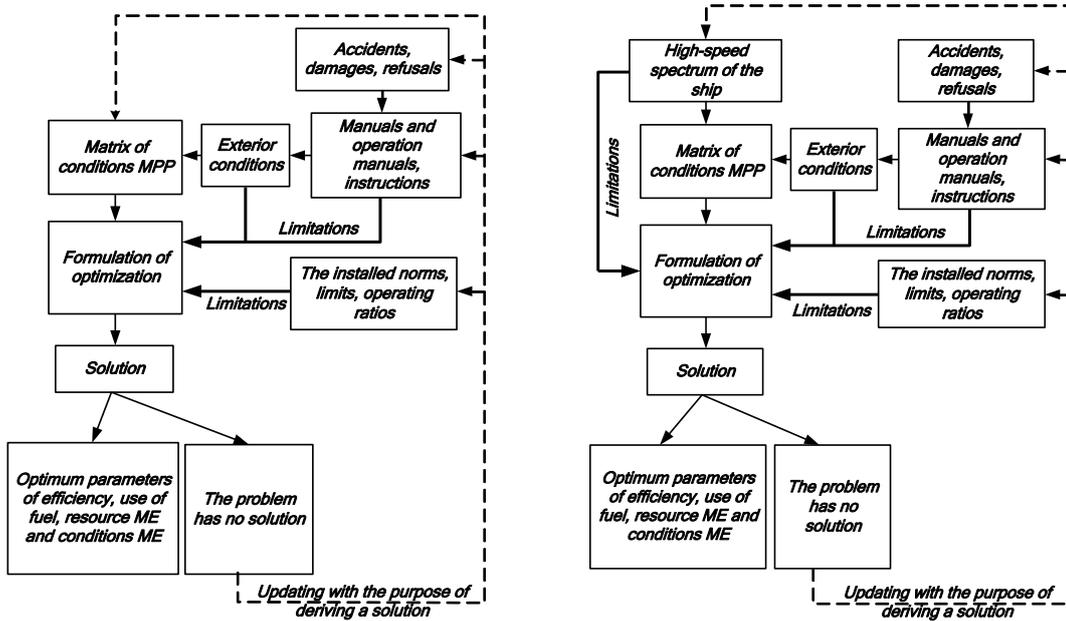
يجب الإشارة إلى أنه يمكن تأمين سرعة محددة لإبحار السفينة باستخدامات مختلفة لمحطة القدرة: محرك واحد، أو اثنان أو ثلاثة محركات في محطات القدرة المتعددة محاور الدفع. لذلك من الواضح أنّ الزمن النسبي لاستخدام السفينة  $\bar{T}_k$  على السرعة  $v_k$  يتكون من مجموع الأزمنة النسبية لأنظمة عمل محطة القدرة على الأنظمة  $\bar{t}_j$ ، التي تؤمن الطيف المطلوب لسرعات إبحار السفينة:

$$\bar{T}_k = \sum_{j=d}^f \bar{t}_j \quad (23)$$

حيث:  $z$  رقم نظام عمل محطة القدرة الرئيسية الذي يؤمن السرعة  $v_k$  للسفينة. عند وجود طيف محدد من السرعات المطلوبة يتم حل المسألة وفق التسلسل الموضح على الشكل (4)، الحالة رقم (2). مصفوفة أنظمة العمل تكون على الشكل التالي:

$$\begin{array}{ccccccc}
 i & \bar{t}_i & v_i & z_{d_i} & O_i & B_i & C_i \\
 1 & \bar{t}_1 & v_1 & z_{d_1} & O_1 & B_1 & C_1 \\
 2 & \bar{t}_2 & v_2 & z_{d_2} & O_2 & B_2 & C_2 \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 j & \bar{t}_j & v_j & z_{d_j} & O_j & B_j & C_j \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 n & \bar{t}_n & v_n & z_{d_n} & O_n & B_n & C_n
 \end{array} \tag{24}$$

حيث:  $O_i$  عدد القطاعات العاملة في محرك رئيسي واحد على النظام رقم  $(i)$ ؛  $C_i$  كلفة ساعة الإبحار على النظام رقم  $(i)$   $[u.e/h]$ .



الشكل (4) خوارزمية تشكيل مصفوفة أنظمة العمل لحل مسألة الأمثلة (الحالة رقم 2)

الشكل (3) خوارزمية تشكيل مصفوفة أنظمة العمل لحل مسألة الأمثلة (الحالة رقم 1)

استناداً إلى مصفوفة أنظمة العمل التي تم تشكيلها وحسب أهداف الأمثلة يتم اختيار معايير الفعالية ومن ثم الانتقال إلى الصياغة الرياضية للمسألة المطلوب حلها. معيار الفعالية (التابع الوظيفي) يمكن أن يُحدد كما يلي:

1. عند البحث عن الأنظمة المثالية لعمل محطة القدرة الرئيسية حسب استهلاك الوقود: متوسط الاستهلاك الساعي للوقود في محطة القدرة خلال فترة حركة السفينة  $T_h$ ، العلاقة (19):  $[kg/h]$ .
  2. عند البحث عن الحالة المثالية بالنسبة لاستهلاك العمر الفني للمحركات الرئيسية (أمثلة استهلاك العمر الفني للمحركات الرئيسية): ثابت استخدام المحركات الرئيسية أثناء حركة السفينة، العلاقة (18).
  3. عند البحث عن السرعات المثالية (أمثلة السرعة): السرعة المتوسطة أثناء استخدام السفينة خلال الزمن  $T_h$ ، العلاقة (15).
  4. عند البحث عن أقل كلفة استثمارية (أمثلة الكلفة الاستثمارية): متوسط كلفة ساعة واحدة من المصاريف على محطة القدرة خلال الزمن  $T_h$ ، العلاقة (20).
- إن الصياغة الرياضية لمسألة البحث (الأمثلة) في الحالة العامة وحسب معيار الفعالية تملك أشكالاً مختلفة:

**أولاً:** عند أمثلة استهلاك الوقود:

$$\otimes \text{ التابع الوظيفي: } B_{sr} = \sum_{i=1}^n B_i \cdot \bar{t}_i \rightarrow \min$$

✦ منظومة المحددات (القيود):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n z_{d_i} \cdot \bar{t}_i &= K_{ME}^h; \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i = v_{sr}; \sum_{i=1}^q \bar{t}_i = \bar{T}_i \dots \\ \sum_{i=d}^f \bar{t}_i &= \bar{T}_k; \dots \sum_{i=m}^n \bar{t}_i = \bar{T}L \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

**ثانياً:** عند أمثلة استهلاك العمر الفني للمحركات الرئيسية:

$$\blacklozenge \text{ التابع الوظيفي: } K_{ME}^h = \sum_{i=1}^n z_{d_i} \cdot \bar{t}_i \rightarrow \min$$

● منظومة المحددات (القيود):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n B_i \cdot \bar{t}_i &= B_{sr}; \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i = v_{sr}; \sum_{i=1}^q \bar{t}_i = \bar{T}_i \dots \\ \sum_{i=d}^f \bar{t}_i &= \bar{T}_k; \dots \sum_{i=m}^n \bar{t}_i = \bar{T}L \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

**ثالثاً:** عند أمثلة كلفة ساعة الإبحار:

$$\blacklozenge \text{ التابع الوظيفي: } \sum_{i=1}^n C_i \cdot \bar{t}_i \rightarrow \min$$

✦ منظومة المحددات (القيود):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n B_i \cdot \bar{t}_i = B_{sr}; \sum_{i=1}^n z_{d_i} \cdot \bar{t}_i = K_{ME}^h \cdot \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i = v_{sr}; \sum_{i=1}^q \bar{t}_i = \bar{T}_{i\dots} \\ \sum_{i=d}^f \bar{t}_i = \bar{T}_{k\dots} \sum_{i=m}^n \bar{t}_i = \bar{T}L \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

رابعاً: عند أمثلة سرعة السفينة:

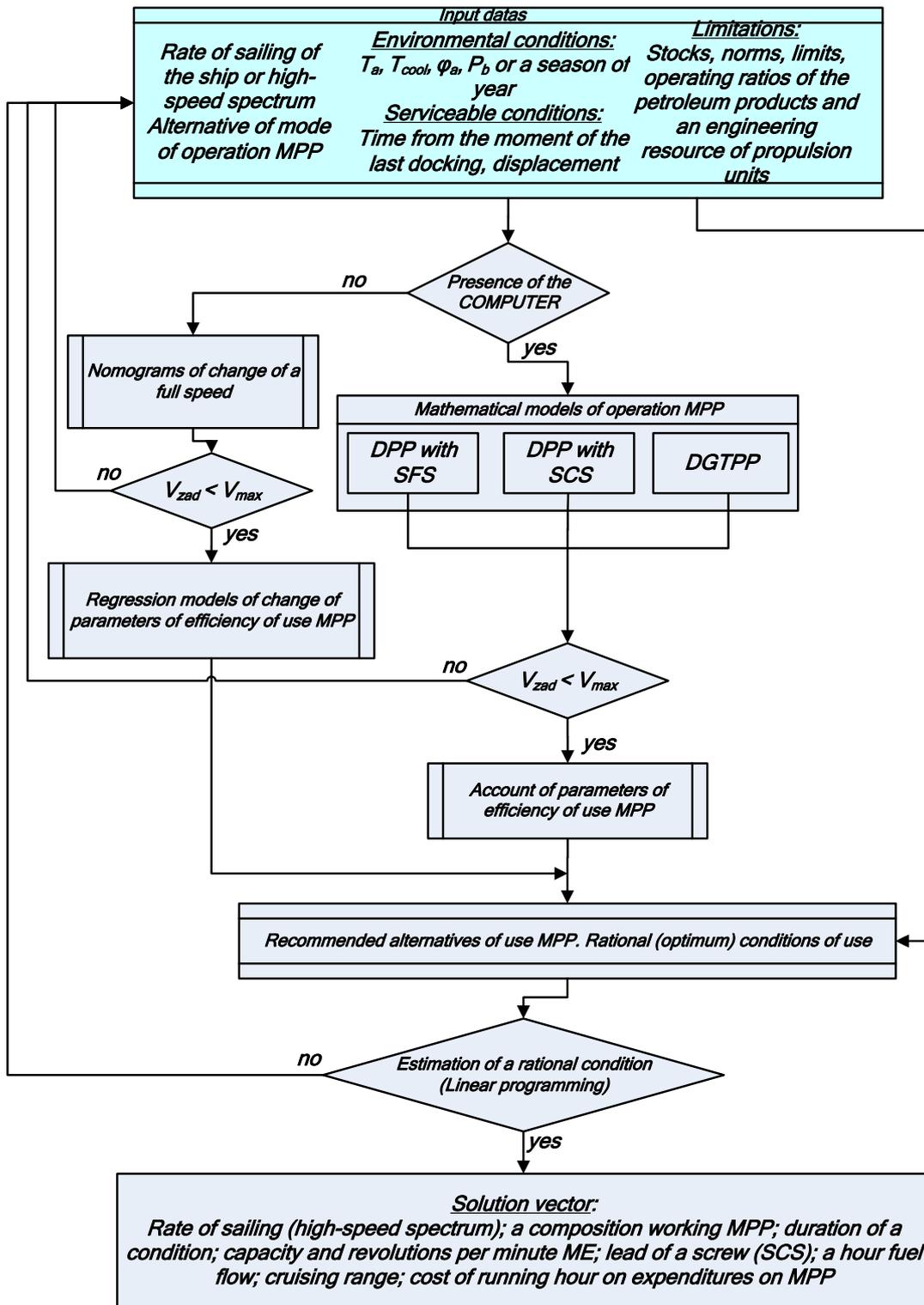
$$v_{sr} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \bar{t}_i \rightarrow \max \quad \bullet^*$$

منظومة المحددات (القيود):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \bar{t}_i = 1; \sum_{i=1}^n z_{d_i} \cdot \bar{t}_i = K_{ME}^h \cdot \sum_{i=1}^n B_i \cdot \bar{t}_i = B_{sr} \dots \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

مخطط الطريقة المستخدمة في تحليل الأنظمة الملائمة لاستخدام محطات القدرة الرئيسية على السفن موضح على الشكل (5). الطريقة المقترحة لاختيار أنظمة العمل الملائمة لمحطات القدرة الديزلية المستخدمة على السفن تلاحظ اعتماد قيم ثابتة لبارامترات الوسط الخارجي  $(T_a, T_{cool}, \varphi_a, P_b)$  والعوامل الاستثمارية  $(D, T_{exp})$  عند شروط محددة للإبحار.

عند عدم وجود حاسوب فإنه يمكن استخدام مجموعة العلاقات الإرجاعية للبارامترات  $(B, S_v, C_{rhe})$  ذات الأرقام: (3 ÷ 8) أو العلاقات (9 ÷ 14) وذلك عند دراسة المنظومة "الوسط الخارجي - مجمع الدفع البحري"، لكل حالة مناخية ولكل حالة استخدام محدد لمحطة القدرة.



MPP - main propulsion plant; ME - main engine; SCS - screw of a controllable step;  
 DPP - Diesel propulsive plant; DGTPP - Diesel a gas-turbine propulsive plant; SFS - screw of the fixed step

الشكل (5) مخطط الطريقة المستخدمة لتعديل واختيار الأنظمة الملائمة لاستخدام محطات القدرة الرئيسية على السفن

#### 4- النتائج والمناقشة:

إن مقارنة نتائج الحسابات التي تم الحصول بواسطة النموذج الرياضي الذي يمثل أداء محطات القدرة البحرية الديزلية، والذي تم في هذا البحث تحويله إلى برنامج حاسوبي بلغة *Delphi* (واجهة تنفيذ هذا البرنامج موضحة على الشكل (6) والجدول (2) يوضح بعض نتائج تنفيذ هذا النموذج الرياضي)، مع النتائج التي تم الحصول عليها من خلال إجراء بعض التجارب العملية على السفن السورية، أكدت دقة نتائج هذا النموذج وإمكانية استخدامه في الأبحاث والدراسات المتعلقة بتصميم واستثمار محطات القدرة البحرية.

الجدولان (3) و(4) يوضحان مقارنة قيم مؤشرات عمل المحركات الرباعية الأشواط طراز *M-504* أثناء استثمارها في منطقة شرق المتوسط مع النتائج التي تم الحصول عليها من الحسابات المنفذة باستخدام النموذج الرياضي الذي تم إعداده في هذا البحث (في شروط ابتدائية متكافئة).

الشكل (6) واجهة تنفيذ البرنامج الحاسوبي للنموذج الرياضي الذي تم إعداده في هذا البحث

الجدول (3) أثناء عمل ثلاث مجموعات للدفع (كافة مجموعات الدفع)

الاستهلاك الساعي للوقود في محطة القدرة $kg/h$		الاستطاعة التي ينتجها محرك واحد $M504, kW$		سرعة دوران المحرك $M504, min^{-1}$		سرعة السفينة
نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	
280	268	405	404	814	800	14
491	501	739	713	1072	1000	16
731	785	1110	1102	1274	1200	21
1258	1266	1907	1911	1514	1500	29
1318	1330	1995	2058	1542	1550	30
1739	1709	2561	2572	1724	1700	35
2091	1957	2890	2866	1848	1800	37

الجدول (4) أثناء عمل مجموعتين للدفع (الثالثة متوقفة)

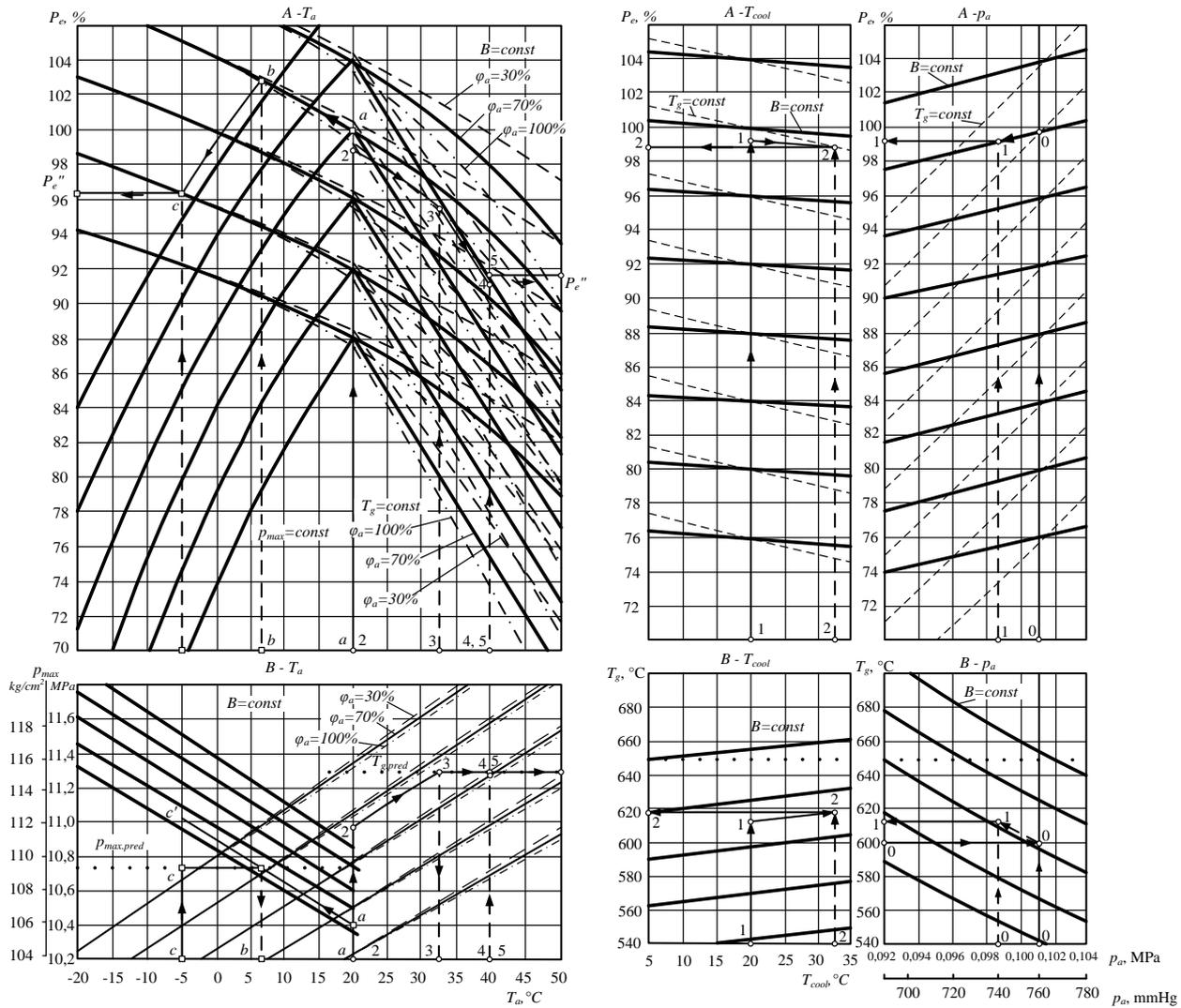
الاستهلاك الساعي للوقود في محطة القدرة $kg/h$		الاستطاعة التي ينتجها محرك واحد $M 504, kW$		سرعة دوران المحرك $M 504, min^{-1}$		سرعة السفينة
نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	نتائج حسابات النموذج الرياضي	معطيات حقيقية (سجلات الاستثمار)	
212	204	401	389	1000	800	12
626	616	1312	1470	1190	1200	18
1164	1080	2349	2330	1524	1500	25

اعتماداً على نتائج الحسابات يمكن صياغة مجموعة من التوصيات والإرشادات والاقتراحات التطبيقية التي تؤمن زيادة فعالية استخدام محطات القدرة البحرية المستخدمة على السفن السورية، وأهمها ما يلي:

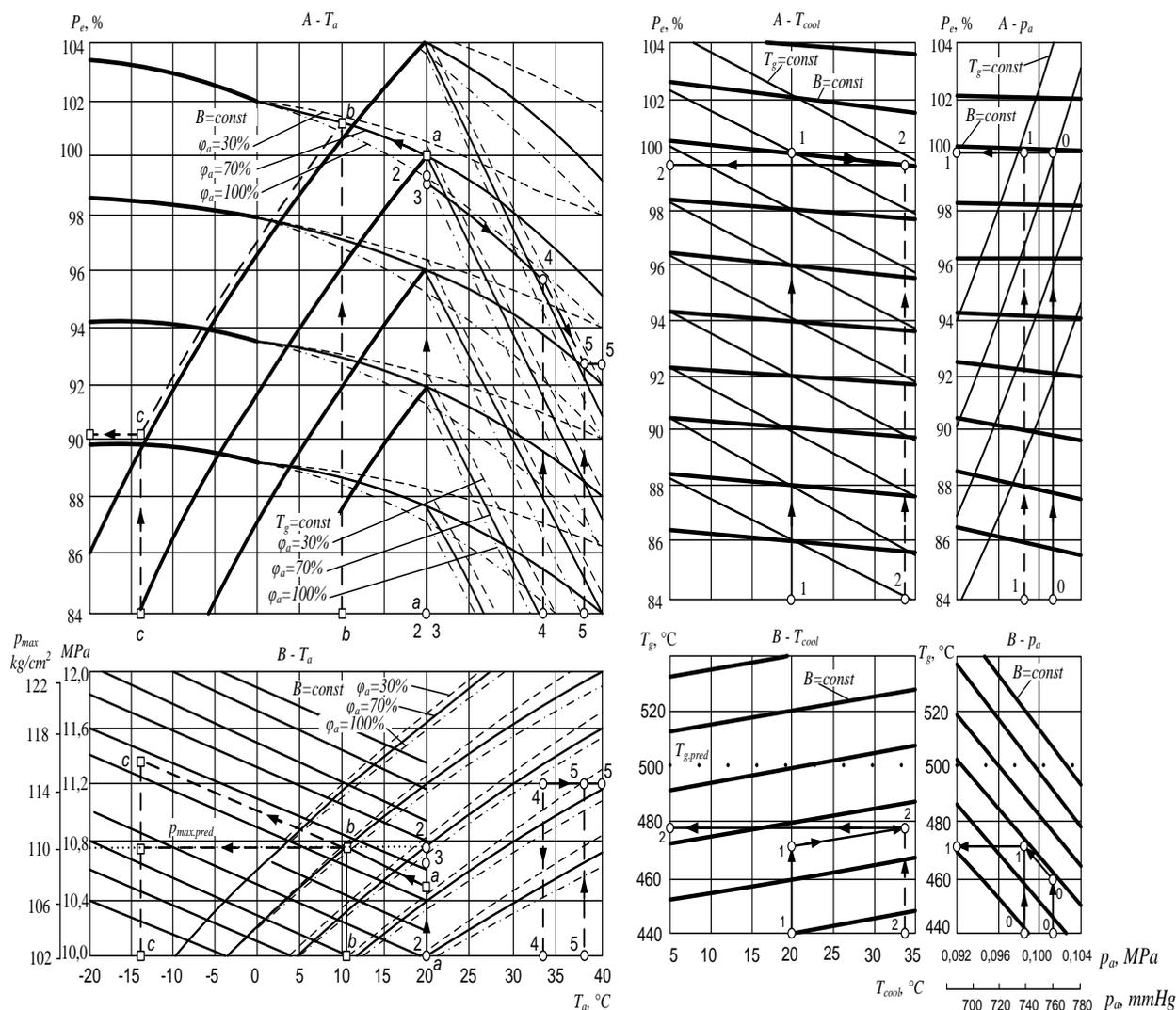
1. أثناء الاستخدام اليومي لسفن السطح يجب الأخذ بعين الاعتبار تأثير عوامل الوسط الخارجي على مواصفاتها الفنية وعلى مؤشرات أداء محطات القدرة الديزلية والمختلطة الموجودة على متنها.
2. إن استخدام الطرق والدهانات الحديثة أثناء تحويض السفن وتنظيف أبدانها ورفاصاتها من الحشيف، تلعب دوراً كبيراً في تأمين السرعة المطلوبة وبالتالي تأمين مدى كبير للإبحار مع اقتصاد في استهلاك الوقود.
3. للمحافظة على المستوى المطلوب من الجاهزية الفنية للسفن يجب القيام بالكشوفات الدورية والإصلاحات المخططة في مواعيدها المحددة. كما يجب التشديد على تنظيف مداخل الضواغط من الترسبات والأملاح، وكذلك ضبط ومعايرة آليات توزيع الغازات والوقود في المحركات الديزلية والعنفة الغازية، والمحافظة على الحالة الفنية العالية لمعدات وتجهيزات التحكم والأتمتة ومنظومات المراقبة والإنذار والحماية.
4. تأهيل وتدريب طواقم السفن بحيث تصبح قادرة على تقييم عواقب ونتائج تأثير عوامل الوسط الخارجي والعوامل الاستثمارية على أداء محطات القدرة البحرية، وكذلك تحسس التغيرات التي تحصل أثناء ذلك، واتخاذ كافة الإجراءات الملائمة والصحيحة حيالها بما يضمن للسفينة تنفيذ المهام الملقاة على عاتقها.
5. الطريقة المبسطة لاختيار وتعليل أنظمة العمل المفضلة لمحطات القدرة الديزلية والتي تأخذ بعين الاعتبار تأثير العوامل الخارجية على أدائها واحتمال عدم توفر الحواسيب الالكترونية على السفن، وصعوبة تنفيذ الحسابات بواسطة العلاقات الإرجاعية، تعتمد على مجموعة من المخططات البيانية (النوموغرامات)، الأشكال (7) و(8)، التي تُستخدم لتحديد قيم تغيرات الاستطاعة بدلالة تغيرات كل من الضغط الجوي ( $p_a$ ) ودرجة حرارة مياه التبريد ( $T_{cool}$ ) ودرجة حرارة ( $T_a$ ) ورطوبة ( $\varphi_a$ ) الهواء الخارجي عند ثبات كمية الوقود ( $B$ ) أو درجة حرارة غازات العادم على مدخل عنفة التشحيم ( $T_g$ )، وفي مجال درجات الحرارة المنخفضة عند ثبات الضغط الأعظمي للاحتراق ( $p_{max}$ ). تتكون النوموغرامات من ثلاثة أقسام أساسية:

- I. القسم الأول (نوموغرام الضغط الجوي): الذي يسمح بتقييم تغيرات الاستطاعة بدلالة الضغط الجوي ( $p_a$ ) عند حدوث تغيرات في كل من ( $T_{cool}, T_a, \varphi_a$ ).
- II. القسم الثاني (نوموغرام درجة حرارة مياه التبريد): يُستخدم لتقييم تغيرات الاستطاعة بدلالة درجة حرارة مياه التبريد ( $T_{cool}$ ) عند حدوث تغيرات في قيم كل من ( $p_a, T_a, \varphi_a$ ).

III. القسم الثالث (نوموغرام درجة حرارة ورطوبة الهواء): يُستخدم لتقييم تغيرات الاستطاعة بدلالة درجة حرارة ورطوبة الهواء  $(T_a, \phi_a)$  عند حدوث تغيرات في قيم كلٍ من  $(T_{cool}, P_a)$ .



الشكل (7) المخططات البيانية (النوموغرامات) لتحديد تأثير تغيرات الوسط الخارجي على مواصفات (خصائص) المحركات البحرية الرباعية الأشواط المستخدمة على السفن السورية



الشكل (8) المخططات البيانية (النوموغرامات) لتحديد تأثير تغيرات الوسط الخارجي على مواصفات (خصائص) المحركات البحرية الثنائية الأشواط المستخدمة على السفن السورية

## 5- الاستنتاجات والتوصيات:

- إن الدراسة التي تم إجراؤها في هذا البحث سمحت بالتوصل إلى النتائج التالية:
- تم إعداد نموذج رياضي يمثل أداء محطة القدرة البحرية الديزلية التي تعمل على رفاصات ثابتة الخطوة والذي يأخذ بعين الاعتبار التأثير المشترك لعوامل الوسط الخارجي والعوامل الاستثمارية على مؤشرات أداء المحركات الرئيسية.
  - بطريقة النمذجة التمثيلية وباستخدام لغة البرمجة *Delphi* تم إجراء دراسة مستفيضة للمنظومة المكونة من "الوسط الخارجي - مجمع الدفع البحري" بهدف تقييم فعالية استخدام محطات القدرة المستخدمة على سفن السطح أثناء التغيرات التي تحصل في بارامترات الوسط الخارجي. بنتيجة التجارب المنفذة وبعد معالجة المعطيات التي تم الحصول عليها من هذه التجارب تم توضيح طبيعة التغيرات في السرعة الكاملة لحركة السفينة عند استخدامها

رفاصات ثابتة أو متغيرة الخطوة، وكذلك تمت معالجة الحالات المختلفة للعمل الإفرادي للرفاصات في محطات القدرة المتعددة محاور الدفع.

3. تم إعداد طريقة (منهجية) لاختيار وتعليل أنظمة العمل المفضلة (المثلى) لمحطات القدرة الموجودة على سفن أسطول الجمهورية العربية السورية، وذلك في ظروف الإبحار المختلفة.

4. إن تحليل ومقارنة نتائج التجارب المنفذة مع النماذج الإرجاعية التي تم إعدادها في هذا البحث أكدت أن التأثير الأكبر على مؤشرات عمل مجمع الدفع البحري تسببه العوامل التالية: نمو الحشف على القسم الغاطس من بدن السفينة، تموج البحر، تغيرات درجة حرارة الوسط الخارجي، وأنظمة العمل الإفرادية للرفاصات. أما بقية العوامل مثل: درجة حرارة مياه التبريد ورطوبة هواء الوسط الخارجي وتغيرات إزاحة السفينة، فيكون تأثيرها أقل.

## المراجع:

1. VENTCHEL, E. *Operations research*. Moscow: publishing house Soviet Radio, 2000, 552.
2. SHENON, R. *Simulation modeling of systems - art and a science*. Moscow: publishing house World, 1999, 418.
3. KOLOSOV, V.D.; TOTKAYLO, V.V. *Shipboard diesel and diesel - gas-turbine propulsive plants. Settlement - graphic operations*. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2005, 129.
4. ZLOBIN, V.G. *The theory, designing and maintenance of shipboard thermal engines. Part 3. Features of maintenance of shipboard thermal engines on different conditions*. Saint Petersburg: Naval academy, 2004, 287.
5. ROSLYKOV, E.M. *Energetic power equipment of life support systems of vessels*. Saint Petersburg: Polyengineering, 2004, 450.
6. ZLOBIN, V.G; BARANOVSKIY, V.V. *Shipboard propulsive plants*. Saint Petersburg: Naval academy, 2003, 356.
7. RUBALKO, V.V. *Shipboard propulsive plants. Problems of development and maintenance*. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2003, 381.
8. RADCHENKO, V.A; RUMB, V.K. *A fundamentals of designing and a strength calculation of details of piston group diesels. The manual*. Saint Petersburg: State sea technical university, 2003, 74.