

طرق تحديد مؤشرات عمل محركات الديزل البحرية أثناء تغير الشروط الخارجية

الدكتور معروف أحمد*
حسين صلاح يوسف**

(تاريخ الإيداع 21 / 12 / 2006. قبل للنشر في 2007/3/7)

□ الملخص □

يتضمن هذا البحث نتائج الدراسة التي أُجريت لتحديد تأثير تغيرات مؤشرات الوسط الخارجي (EMP) على الحالة الإجهادية والمؤشرات الاقتصادية (ECh) لمحركات الديزل البحرية المشحنة (CMDE) المستخدمة لدفع السفينة السورية "الأسد". استخدمت في هذا البحث أكثر الطرق المعتمدة عالمياً مثل: K.Cinner، DIN 6270، CIMAC، GOST 24.060.07 (بعد اتخاذ الإجراءات الخاصة لجعلها مناسبة للاستخدام في شروط منطقة شرق المتوسط (ERMS) حيث أنجز هذا البحث). تمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج تطبيق طريقة العالم "Vasiliev-Jugin" على المعطيات الإحصائية التي تم تجميعها خلال فترة استثمار السفينة المذكورة. في هذا البحث تم وضع ثوابت تصحيح وإنشاء مخططات بيانية بواسطة النموذج الرياضي الذي أُعدَّ في هذا البحث من أجل محركات الديزل (DE) المستخدمة لدفع السفن خلال إبحارها في ERMS.

كلمات مفتاحية: تأثير تغيرات مؤشرات الوسط الخارجي على محركات الديزل في منطقة شرق المتوسط.

* أستاذ مساعد - عضو هيئة تدريسية - كلية الهندسة الميكانيكية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.
** طالب ماجستير - كلية الهندسة الميكانيكية - فرع الميكانيك البحري - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.

Methods of Determination of Characteristics for Marine Diesel Engines by Variation of External Working Conditions

Dr Marouf Ahmaad*
Hussein S.Yousef **

(Received 21 / 12 / 2006. Accepted 7/3/2007)

□ ABSTRACT □

This research contains the results of a study, which has been done to determine the effect of external parameters (**EMP**) variation upon stress case, and economical characteristics (**ECh**) of charged marine diesel engines (**CMDE**) that are used to propel Syrian ship "Al-Assad". The most international related methods as: K.Cinner, DIN 6270, CIMAC, GOST 24.060.07 had been used in this research (after making them suitable to use in eastern region of Mediterranean (**ERMS**) where this research had been done). These results had been compared with results that were obtained by applying "Vasiliev Jugin" method on the statistical data which are grouped during exploitation of that ship. In this research correction factors and histograms had been built by mathematical model which has been done in this research, for diesel engines (**DE**) that are used to propel ships during its navigation in **ERMS**.

* Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering, Aleppo, Syria.

**Postgraduate Student, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Marine Mechanical, Al-Assad Academy for Military Engineering, Aleppo, Syria.

مقدمة:

أدى استخدام التشحيم العنفي الغازي لمحركات الديزل البحرية (MDE) ليس فقط إلى رفع مستوى الطاقة لهذه المحركات حتى $P_{em} \geq (20 \div 25) \cdot 10^5 Pa$ ، وإنما أيضاً إلى تحقيق انخفاض فعلي في الاستهلاك النوعي للوقود حتى $g_e = (185 \div 190) g/(kW.h)$. لا يمكن تحقيق هذا المستوى العالي من الاقتصاد في أي نوع آخر من المحركات الحرارية المعروفة حالياً. لذلك فإن محدودية احتياطات النفط تجعل مسألة الاقتصاد في استهلاك الوقود عاملاً أساسياً في اختيار الأنواع المناسبة من المحركات في المجالات كافة.

إن التنوع الكبير لمحركات الديزل (DE) والشروط التي تُستثمر فيها يتطلب دراسة العديد من المسائل المتنوعة التي تتجاوز الإطار البحثي. المعرفي وتملك أهمية تطبيقية كبيرة لتطوير صناعة واستثمار محطات الطاقة الديزلية المستخدمة في المجالات كافة. من المسائل المطروحة ضمن هذا السياق يُمكن أن نذكر ما يلي:

- 1- إعداد وتحليل الطرق التي تُحدد أنظمة العمل المسموحة لـ MDE عند تغيير شروط الوسط الخارجي؛
 - 2- تحديد تأثير تغيير EMP على فعالية أداء واقتصادية MDE وحالتها الإجهادية؛
 - 3- دراسة خصوصيات التأثير المتبادل بين المحرك المكبسي وعنفه التشحيم الغازية وضغط التشحيم عند ارتفاع وانخفاض درجة حرارة الوسط الخارجي، وعند ازدياد المقاومة الأيروديناميكية على خطي سحب الهواء وطرد الغازات، وعند تغييرات أنظمة تبريد المحرك.
 - 4- دراسة طرق تحسين المؤشرات الفنية والاقتصادية لـ MDE المخصصة للعمل في الشروط الخارجية الغير مستقرة.
 - 5- تحديد التعديلات التصميمية ومقادير ضبط DE للوصول إلى الحالات الملائمة للعمل مع منظومة التشحيم العنفي الغازية عند تغيير EMP عن قيمها النظامية (القياسية).
- في هذا البحث أُجريت دراسة تجريبية للمسائل المطروحة أعلاه، حيث يشمل التقرير العلمي الوارد أدناه النتائج العامة لهذه الدراسة. أثناء ذلك تم التركيز على الطرق الأكثر انتشاراً التي تُستخدم لإعادة حساب مؤشرات الاستطاعة و ECh عند تغيير الشروط الخارجية التي تعمل فيها MDE ذات التشحيم العنفي الغازي.

أهمية البحث وأهدافه:

بالنسبة لـ MDE تتحدد أنظمة العمل الطبيعية عادةً بشكل مسبق في تعليمات استخدام وسائط ومعدات حركة السفينة، وفي نشرات قواعد الاستثمار وفي السجلات والوثائق الاستثمارية الأخرى. إن الهدف الرئيس لتقييم تأثير الشروط الخارجية على عمل MDE هو تحديد أنظمة العمل في الشروط غير النظامية، ومنع تعرض المحركات إلى مستويات عالية من الإجهادات الحرارية والميكانيكية، وتحديد القيم الأعظمية للاستطاعة على أنظمة العمل كافة، واختيار الأنظمة التي تُحقق أفضل حالة اقتصادية لعمل هذه المحركات.

الشروط الخارجية بالنسبة لكافة محركات الديزل (DE) تتضمن ما يأتي:

- الشروط المناخية: الضغط p_a ، الحرارة T_a ، والرطوبة النسبية φ_a لهواء الوسط الخارجي،
- شروط العمل: درجة حرارة مياه التبريد T_{cool} قبل مبرد الهواء، درجة حرارة الوقود T_f ، الخلطة في مجمع هواء السحب Δp_{inp} ، والضغط المضاد Δp_{g2} عند مخرج غازات العادم.

الوثائق الفنية (السجلات والنشرات) لـ MDE تتضمن معلومات محددة لكل من الاستطاعة P_e ، والاستهلاك النوعي للوقود g_e ، ومؤشرات العمل الأخرى، التي تتعهد المصانع المنتجة بتحقيقها عند عمل هذه المحركات في شروط خارجية محددة تدعى بالشروط النظامية أو القياسية.

في الوقت الراهن واستناداً إلى المواصفات القياسية الدولية ISO 3046/1-95 في قسمه الأول تعتمد القيم التالية

$$p_a = 100kPa (750mmHg), T_a = 300k, \varphi_a = 60\%, T_{cool} = 300k$$

في عدد من الدول تُستخدم مواصفات قياسية خاصة لتحديد الشروط النظامية، انظر الجدول (1).

الجدول (1) الشروط الخارجية النظامية وفق المواصفات القياسية الدولية

اسم المواصفة القياسية	درجة حرارة الوسط الخارجي $T_a [K]$	ضغط الوسط الخارجي $p_a [kPa, mmHg]$	الرطوبة النسبية للوسط الخارجي $\varphi_a [\%]$	درجة حرارة مياه التبريد على مدخل مبرد هواء التشحيم $T_{cool} [K]$
المواصفة القياسية الدولية ISO 3046/1-95	300	100 (750)	60	300
المواصفة القياسية البريطانية BSS 649-1968	302,4	99,86 (749)	-	-
المواصفة القياسية الأمريكية ASME	293	101,32 (760)	100	-
المواصفة القياسية الألمانية DIN 6270	293	98,12 (736)	60	-
المواصفة القياسية الروسية GOCT 10448-80	293	101,32 (760)	70	293

إن غالبية محطات القدرة الديزلية ذات المهام المتنوعة تعمل في شروط غير نظامية. إن السبب الرئيس لتغيرات الضغط الجوي على سطح البحر هو التبدلات المناخية. القيمة المتوسطة لهذا الضغط على سطح البحر تساوي $760mmHg$ ، لكن القيمة الفعلية تتأرجح ضمن المجال $p_a = (700 \div 780)mmHg$.

درجة حرارة الهواء في الوسط الخارجي يمكن أن تتبدل من القيم السالبة أثناء الإبحار في المناطق القطبية إلى أكثر من $45^\circ C$ عند الإبحار في المناطق الاستوائية. إذا أخذنا بعين الاعتبار التسخين الناتج عن الآلات والدارات الساخنة (من $3^\circ C \div 2^\circ C$ إلى $15^\circ C \div 10^\circ C$) فإن درجة حرارة الهواء في قطاع المحركات قد تتجاوز القيمة $50^\circ C$ ، وفي أثناء ذلك يمكن أن تتراوح الرطوبة النسبية ضمن المجال $\varphi_a = (25 \div 100)\%$. في MDE يتم تبريد هواء

التشخين في المبردات التي تستخدم مياه البحر، حيث تتراوح درجة حرارة هذه المياه ضمن مجال واسع

$$T_{cool} = (0 \div 35)^{\circ}C$$

إنَّ الأسباب الرئيسة لانخفاض ضغط الهواء عند مدخل المحرك Δp_{inp} هي: الطول الكبير نسبياً والخصائص التصميمية لمجرى الهواء، وجود مصافي الهواء ومخمدات الضجيج داخل هذا المجرى، وجود معدات الدارات الخاصة بنقل الغازات من منطقة الإفلات إلى منطقة التشخين، دارات تهوية المشعات. إنَّ قيمة Δp_{inp} تتعلق بنظام عمل المحرك ويُمكن أن تصل إلى $(0.006 \div 0.008) MPa$.

الضغط المضاد على خط الإفلات يحدث بسبب ما يلي: وجود كواتم الصوت، الطول الكبير نسبياً لمجرى غازات العادم، إفلات غازات العادم تحت سطح الماء، وجود منظومات حماية البيئة من المركبات الضارة في نواتج الاحتراق. تتراوح قيمة هذا الضغط المضاد حسب وظيفة محطة القدرة الديزلية ضمن المجال

$$\Delta p_{g2} = (0.25 \div 0.3) MPa$$

في نهاية الخمسينيات من القرن العشرين أجرى البروفسور V.Y.Gittis دراسات مهمة وقام بتحليل أداء محركات الديزل الغير مشحنة عند تغيير ضغط ودرجة حرارة الوسط الخارجي، وقد توصل هذا البروفسور إلى الاستنتاجات المهمة الواردة أدناه والتي يُمكن تعميمها على المحركات المشحنة [1]:

■ إنَّ تأثير الشروط الخارجية على مؤشرات DE لا يُمكن توصيفه بدقة كافية للتطبيقات العملية من خلال علاقات تجريبية كانت عامة بالنسبة للمحركات المختلفة من حيث عدد الأشواط وسرعة الدوران.

■ درجة تأثير عوامل الوسط الخارجي على مؤشرات عمل المحركات تتعلق بالقيمة الابتدائية لمعامل فائض الهواء ويقانون تنظيمه (التحكم بقيمة هذا المعامل).

لذلك اقترح العالم V.Y.Gittis أن يتم تقييم تغيرات الاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود تحت تأثير EMP عن طريق الحساب الحراري الكلاسيكي للمحرك، وذلك استناداً إلى المعطيات التجريبية عن المردود الدليلي والاستطاعة الضائعة على الاحتكاك في أقسام المحرك كافة.

إنَّ الاهتمام بمسألة حساب وتحديد استطاعة DE واستهلاكها النوعي من الوقود أثناء العمل في الشروط غير النظامية، يعود للأسباب الآتية:

1- ازدياد مستوى طاقة MDE بسبب ضغط تشخينها، مما أدى إلى زيادة حساسية هذه المحركات تجاه تغيرات EMP.

2- استثمار بعض المحركات يجري ليس فقط في ظروف تغيرات شروط الوسط الخارجي، وإنما في حالات وتراكيب متنوعة لشروط الوسط الخارجي وشروط العمل؛

3- الضرورة الملحة في معرفة تأثير EMP على استطاعة واقتصادية عمل MDE وما ينجم عن ذلك من تأثير على حالته الإجهادية الميكانيكية والحرارية؛

4- تحديد القيم المثالية لمؤشرات أداء المحرك عن طريق إعادة ضبط ومعايرة منظومة التشخين، ومعدات ووسائط آلية توزيع الغازات، وأجهزة حقن الوقود؛

5- تحديد العلاقة بين المقادير الخاضعة للتنبؤ وشروط الوسط الخارجي، واستخدامها في التشخيص الفني البارومتري للمحركات.

استناداً إلى ما تقدم فإن أهداف هذا البحث تنحصر بما يأتي:

- 1- إجراء تحليل علمي للطرق والأساليب المتوفرة حالياً والمستخدمه في تحديد استطاعة DE واقتصادية أدائها أثناء العمل في الشروط الخارجية غير النظامية.
- 2- دراسة التأثير المشترك لتأثير EMP على فعالية استخدام محطة القدرة الرئيسة المستخدمة على سفينة التدريب "AI-Assad".
- 3- إعداد المقترحات المتعلقة بتقييم استطاعة واقتصادية عمل المحركات الرئيسة المستخدمة لدفع السفن عند تغير شروط الوسط الخارجي في أثناء الإبحار في ERMS.

طريقة البحث:

تتم معالجة مسألة تأثير الشروط الخارجية على المحركات الموجودة في الاستثمار من الناحيتين الآتيتين:

- 1- ينصب اهتمام المصممين والمختبرين والمستثمرين على كيفية التنبؤ بالتغيرات التي ستطرأ على الاستطاعة P_e (والاستهلاك النوعي للوقود g_e)، وكذلك على المؤشرات التي تصف الحالة الإجهادية (الميكانيكية والحرارية) للمحرك في أثناء تثبيت الاستهلاك النوعي للوقود وسرعة دوران المحرك، وذلك عند اختلاف (تغير) الشروط الخارجية للعمل بالمقارنة مع الشروط النظامية، أي وبشكلٍ آخر الإجابة على السؤال الآتي: كيف ستتغير أثناء ذلك الاستطاعة الفعلية P_e ؟ والتي تتعلق عند تثبيت استهلاك الوقود $G_f = const$ ، بكلٍ من المردود الدليلي η_i واستطاعة الضياعات الميكانيكية P_m :

$$P_e = P_i - P_m = const(G_f) \cdot \eta_i - P_m \quad (1)$$

في الوقت نفسه يجب تقييم تغيرات قيم المؤشرات المعتمدة كمعايير حدية للعمل، مثل: درجة حرارة غازات العادم T_{g1} ، درجة حرارة المكبس T_p ، معامل فائض الهواء α (أو α_Σ)، الضغط الأعظمي للاحتراق p_{max} ، سرعة دوران ضاغط التشحيم العنفي الغازي n_{ic} ، وغيرها.

- 2- السؤال الثاني: كيف سيتم تخفيض استهلاك الوقود G_f ، وتخفيض الاستطاعة الفعلية P_e ؟

$$P_e = var(G_f) \cdot \eta_i - P_m \quad (2)$$

عند التغيرات السلبية (غير المناسبة) لـ EMP وثبات سرعة دوران المحرك $n_D = const$ ، بحيث تبقى مؤشرات عمل المحرك ضمن الحدود المسموحة، وكذلك كيف ستكون بقية المؤشرات التي تهم الباحثين، بما في ذلك g_e . إنَّ جميع الطرق المبسطة لإعادة حساب قيم كلٍ من P_e و g_e عند تغيرات EMP، وكذلك الحسابات الحرارية والميكانيكية المفصلة تتركز على حل المسائل المذكورة أعلاه. إنَّ دقة النتائج التي يتم الحصول عليها أثناء ذلك تتعلق بالفرضيات والمسلمات المعتمدة أثناء تقييم تغيرات العوامل المؤثرة على كلٍ من η_i و P_m .

استناداً إلى أهداف البحث فقد تم تحليل مجموعة كبيرة من العلاقات الرياضية والطرق الحسابية المستخدمة حالياً لتقييم وتحديد تأثير تغيرات EMP على عمل MDE ومقارنة مزايا وعيوب هذه الصيغ والطرق، ومن ثم تحديد الطريقة الأكثر ملائمة من وجهة النظر التطبيقية (العملية) واستخدامها لتنفيذ الحسابات المتعلقة بتحديد التغيرات التي ستطرأ على الاستطاعة و ECh للمحركات الرئيسة المستخدمة على سفينة التدريب "AI-Assad" أثناء إبحارها في ERMS.

إنَّ أكثر الصيغ الرياضية المستخدمة لتحديد استطاعة DE عند تغير EMP هي:

1- إن الصيغة التي تُحدد علاقة الاستطاعة الفعلية P_e لـ DE الغير مشحنة بـ EMP تعتمد على افتراض أن تغيرات الاستطاعة P_e الناجمة عن تغيرات كل من ضغط ودرجة حرارة الوسط الخارجي، تتناسب طردياً مع تغيرات كثافة الهواء ρ_x الداخل إلى المحرك. تُعتمد هذه الصيغة في عدد من الدول الأوروبية وفي روسيا بموجب المواصفة القياسية GOST 10448-80، وتُكتب كما يلي:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = \frac{\rho_{xx}}{\rho_{xr}} = \frac{P_{ax}}{P_{ar}} \cdot \frac{T_{ar}}{T_{ax}} \quad (3)$$

حيث: r - دليل سفلي يرمز إلى الشروط النظامية؛ x - دليل سفلي يرمز إلى الشروط الجارية.

يُمكن كتابة هذه الصيغة مع الأخذ بالاعتبار لتغيرات معامل ملئ الاسطوانة $\eta_{vx} = \sqrt{\frac{T_{ar}}{T_{ax}}}$ كما يلي:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = \frac{P_{ax}}{P_{ar}} \cdot \sqrt{\frac{T_{ar}}{T_{ax}}}, \quad \frac{b_x}{b_r} = \frac{P_{ax}}{P_{ar}} \cdot \sqrt{\frac{T_{ax}}{T_{ar}}} \quad (4)$$

إن هذه الصيغ تُعطي أخطاءً كبيرةً في نتائج تقييم كل من الاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود، فهي تعتبر أنه عند ثبات قيمة معامل فائض الهواء α_1 وحدث أي تغير في قيمة كثافة الهواء فإن تغيرات الضياعات الميكانيكية تكون مشابهة لتغيرات الاستطاعة الدليلية. في الحقيقة هذه الفرضية تتعارض مع النتائج التي توصل إليها العديد من الباحثين في هذا المجال [1, 2, 3, 8].

2- في الصيغة المقترحة من قبل المهندسين [2] T.M.Melkumov; V.VMihaldiani (Russia)، تم الأخذ بعين الاعتبار لتغيرات الضياعات الميكانيكية، كما تم توضيح اختلافاتها المبدئية (الكبيرة) بالنسبة لقوانين تنظيم ضخ الوقود المختلفة. مثلاً بالنسبة لنظام ثبات قيمة معامل فائض الهواء ($\alpha_1 = const$):

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = \frac{\Delta}{\eta_{mr}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$\Delta = (P_{ax} / P_{ar}) \cdot \sqrt{(T_{ar} / T_{ax})} \quad \text{حيث:}$$

أما بالنسبة لقانون ثبات الاستهلاك الساعي للوقود ($G_f = const$)، فإنه يفضل استخدام الصيغة التالية:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = \frac{\Delta}{\eta_{mr}} \cdot \frac{(4.77 / \alpha_1) - \Delta}{(4.77 / \alpha_1) - 1} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1 \right) \quad (6)$$

حيث η_{mr} المرود الميكانيكي للمحرك في الشروط النظامية.

العلاقات الأخيرة (5) و(6) أيضاً تُعطي نتائج غير دقيقة في تحديد العلاقة بين تغيرات الاستطاعة الفعلية P_e ودرجة حرارة الهواء المحقون في المحرك.

3- في الصيغة المعتمدة في المواصفات القياسية الألمانية DIN 6270 (Germany)، ومن قبل لجنة المؤتمر الدولي لمحركات الاحتراق الداخلي (CIMAC)، تم إدخال تابع أسي لدرجة الحرارة $n = (0.75 \div 1.0)$ يُعبر عن تبعية أقل شدةً لمعامل ملئ الاسطوانة η_v بدرجة حرارة الهواء الداخل إلى المحرك:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = K + 0.7 \cdot (K - 1) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1 \right) \quad (7)$$

حيث: $k = \frac{P_{ax} - P_{sx}}{P_{ar} - P_{sx}} \cdot \left(\frac{T_{ar}}{T_{ax}} \right)^n$ ، p_s - الضغط الجزئي لإشباع بخار الماء عند درجة الحرارة T_a .

أما بقية الصيغ المستخدمة في تحديد تغيرات الاستطاعة والمؤشرات الاقتصادية (ECh) لعمل MDE والمعتمدة في دول عديدة من مختلف أنحاء العالم فهي تتميز بأن العلاقات الموجودة فيها هي علاقات تجريبية، وتُعتبر عن تغيرات المردود الدليلي والمردود الميكانيكي لأنماط محددة من المحركات، لذلك فإنه لا يجوز استخدام هذه الصيغ إلا للمحركات التي تم تنفيذ التجارب عليها (أو لمحركات مشابهة لها) بهدف تحديد الثوابت التجريبية الداخلة في هذه الصيغ.

في عدد من الدول (Germany, Russia, Poland) تُستخدم مجموعة أخرى من الطرق لتحديد أنظمة عمل DE وذلك بالاعتماد على حدود معينة لقيم بعض المؤشرات التي تُسمى مؤشرات الحماية (الوقاية). تُستخدم في هذه الطرق علاقات رياضية أسية لكل من الاستطاعة الدليلية والاستهلاك النوعي للوقود بالنسبة لضغط ودرجة حرارة ورطوبة هواء الوسط الخارجي. نوضح فيما يلي مضمون بعض هذه الطرق:

1- لتحويل القيم الجارية لكل من الاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود في المحركات الرباعية الأشواط إلى نسبة بينها وبين قيمتها في الشروط النظامية اقترح العالم [4] K.Cinner الصيغ الآتية:

$$(P_{ex} / P_{er}) = 1 - (1 - k) \cdot (1 - \alpha_1) \cdot (1 / \eta_{mr}) \quad (8)$$

$$\frac{g_{ex}}{g_{er}} = k \cdot \frac{P_{er}}{P_{ex}} \quad (9)$$

$$\text{حيث: } k = \frac{P_{ix}}{P_{ir}} = \left(\frac{P_{ax}}{P_{ar}}\right)^m \cdot \left(\frac{T_{ar}}{T_{ax}}\right)^n$$

K - ثابت تحويل الاستطاعة الدليلية؛ α_1 - الضياعات الميكانيكية المتعلقة بالشروط الخارجية

η_{mr} - المردود الميكانيكي للمحرك في الشروط الابتدائية؛ $\alpha_1 = 0.3 \div 0.4$

يتم اختيار قيم المؤشرات الأسية (m, n) استناداً إلى نوع بارامترات الحماية (الوقاية) من الجدول (2).

الجدول (2) قيم المؤشرات الأسية (m, n) .

n	m	بارامترات الحماية (الوقاية)
0,3÷0,6	0,1÷0,2	الاستهلاك الساعي للوقود $G_f = const$
1,5	0,7	درجة حرارة غازات العادم $T_{gl} = const$
0,5	0,7	سرعة دوران الضاغط العنفي الغازي $n_{ic} = const$
1,0	0,15	الحمولة الحرارية $Q_w = const$
0,3÷0,6	0,1÷0,2	تثبيت وضعية مسند الجريدة المسننة لمضخة الوقود
0,75	1,0	مستوى (كثافة) التدخين لغازات العادم

العلاقات السابقة (8) و(9) تعكس بشكل جيد مستوى تأثير ضغط ودرجة حرارة الوسط الخارجي على استطاعة واقتصادية عمل المحرك. لكن القيم التجريبية لـ (m, n) لا تأخذ بالحسبان تأثير مجموعة الخصائص المميزة لعمل المحركات المشحنة مثل: مخطط التشحين، نسبة الانضغاط في ضاغط التشحين، القيم الابتدائية لمعامل فائض الهواء،

طريقة مزج الخليط القابل للاشتعال، مستوى تبريد الهواء، درجة رطوبة هواء الوسط الخارجي، ودرجة حرارة المياه قبل مبرد الهواء.

2- المواصفات القياسية الألمانية (Germany) DIN 6270 تستخدم صيغة مشابهة لصيغة العالم K.Cinner:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = k + 0,7(k-1) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1\right) \quad (10)$$

حيث:

$$k = \frac{P_{ix}}{P_{ir}} = \frac{P_{ax} - \varphi_{ax} \cdot P_{sx}}{P_{ar} - \varphi_{ar} \cdot P_{sr}} \cdot \left(\frac{T_{ar}}{T_{ax}}\right)^{0,75} \quad (11)$$

φ_{ar} - الرطوبة النسبية الابتدائية (النظامية) للهواء.

في العلاقة السابقة نستخدم القيم الابتدائية الآتية: $\varphi_{ar} = 0.6$; $T_{ar} = 20^\circ C$; $p_{ar} = 736 \text{ mmHg}$. خلافاً للصيغة (8) يؤخذ تأثير الرطوبة النسبية بعين الاعتبار، وعندما $n = 0.75$ و $m = 1$ ، فإن العلاقة الأخيرة تتفق مع حالة تحديد سقف حمولة المحرك بالنسبة لمستوى (كثافة) التسخين لغازات العادم.

3- العلاقات والمخططات المستخدمة لإعادة حساب (تحديد) الاستطاعة الفعلية والاستهلاك النوعي للوقود في المحركات الرباعية الأشواط المشحنة، والتي تم اقتراحها من قبل المؤتمر الدولي لمحركات الاحتراق الداخلي (CIMAC) تختلف عن العلاقة (8) بقيم المؤشرات الأسية (m, n) وبإدخال العلاقة التي تربط بين الاستطاعة الدليلية ودرجة حرارة مياه التبريد على مدخل مبرد هواء التسخين:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = k - 0,7 \cdot (1-k) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1\right) \quad (12)$$

حيث:

$$k = \frac{P_{ix}}{P_{ir}} = \left(\frac{P_{ax} - a \cdot \varphi_{ax} \cdot P_{sx}}{P_{ar} - a \cdot \varphi_{ar} \cdot P_{sr}}\right)^m \cdot \left(\frac{T_{ar}}{T_{ax}}\right)^n \cdot \left(\frac{T_{coolr}}{T_{coolx}}\right)^q \quad (13)$$

a - معامل الرطوبة؛ φ_a - الرطوبة النسبية؛ p_s - ضغط إشباع بخار الماء؛ T_{cool} - درجة حرارة مياه التبريد على مدخل مبرد هواء التسخين.

في العلاقة الأخيرة (13) يُقترح إعطاء القيم المدرجة أدناه للمؤشرات الأسية:

- بالنسبة للمحركات التي لا يتم تبريد هواء التسخين فيها $q = 0$; $m = 0.7$; $n = 2$ ؛
- بالنسبة للمحركات التي يتم تبريد هواء التسخين فيها $q = 1$; $m = 0.7$; $n = 1.2$ ؛

هذه القيم تتوافق مع حالة تحديد القيمة العظمى لدرجة حرارة غازات العادم $T_{g1} = const$. العلاقة المستخدمة لإعادة حساب الاستهلاك النوعي للوقود لا تختلف عن العلاقة (9). إن القيم المعتمدة (m, n, q) تم اختيارها بحيث تبقى درجة حرارة غازات العادم المتجهة إلى عنفة التسخين ثابتة.

يعتقد العالم K.Cinner بأن معامل زيادة الهواء في DE المشحنة لا يصل إلى القيم الحدية المسموحة، ولذلك يُمكن إهمال تأثير الرطوبة وذلك بوضع $a=0$ في العلاقة (13).

4- في المواصفات القياسية الروسية [5] Russia GOST 24.060.07: فإن العلاقات المستخدمة في هذه

الطريقة هي توابع أسية أيضاً مشابهة للعلاقات المدرجة أعلاه والمعتمدة من قبل العالم K.Cinner:

$$\frac{P_{ex}}{P_{er}} = \alpha \quad (14)$$

حيثُ:

$$\alpha = \left[k - 0,7 \cdot (1 - k) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mr}} - 1 \right) \right] \cdot \Delta$$

$$k = \frac{P_{ix}}{P_{ir}} = \frac{(p_{ax} - p_{sx})^m}{748} \cdot \left(\frac{293}{T_{ax}} \right)^n \cdot \left(\frac{T_{coolr}}{T_{coolx}} \right)^q \quad (15)$$

$$\Delta = \frac{\rho_{fx}}{\rho_{fr}}$$

$$\rho_{fx} = \rho_{fr} + \gamma (20 - T_{fx})$$

حيثُ:

α - معامل إعادة حساب (تحديد) الاستطاعة الفعلية؛ k - انحراف قيمة الاستطاعة الدليلية عند عمل المحرك في الشروط الخارجية غير النظامية؛ p_{ax} - الضغط الجوي أثناء إجراء التجربة، $[mmHg]$ ؛ p_{sx} - الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة الحرارة T_{ax} والرطوبة النسبية φ_a المقاسة على خط السحب $[mmHg]$ ؛ ρ_{fx} - كثافة الوقود عند الدرجة $20^\circ C$ ؛ γ - القيمة المتوسطة للتصحيح الحراري بالنسبة لدرجة واحدة $1^\circ C$ ؛ T_{fx} - الدرجة الحالية (الجارية) لحرارة الوقود؛ Δ - معامل يأخذ بعين الاعتبار تغيرات كثافة الوقود بسبب تغيرات درجة الحرارة عند مدخل مضخة الضغط العالي للوقود، يستخدم هذا المعامل لإعادة حساب استطاعة DE عندما يعمل هذا المحرك في حالة الضخ (الاستهلاك) الأعظمي للوقود، أما في بقية الحالات فيتم اعتماد $\Delta = 1$.

في المواصفة الروسية [5] تم اعتماد طريقة معينة لتحديد القيمة الأعظمية المسموحة لاستطاعة المحرك P_{ex}

في الحالتين الآتيتين:

أولاً: عندما تكون قيمة درجة حرارة غازات العادم أقل من الأعظمية $T_{g1} < T_{g1pred}$ ، عند تثبيت قيمة كمية الوقود المحقونة في الاسطوانات خلال دورة واحدة $G_f^{cycle} = const$. في هذه الحالة تؤخذ قيم (m, n, q) من الجدول (3) وذلك بدلالة α_{Σ} وقيمة المردود الحراري لمبرد الهواء η_{xv} .

الجدول (3) قيم المؤشرات الأسية (m, n, q) عندما تكون $T_{g1} < T_{g1pred}$

q	n	m	القيمة الإجمالية لمعامل زيادة الهواء
$0.2 \cdot \eta_{xv}$	$0.2 \cdot (1 - 0.5 \eta_{xv})$	0, 1	$> 2,1$
$0.3 \cdot \eta_{xv}$	$0.35 \cdot (1 - 0.5 \eta_{xv})$	0, 1	$1,7 \div 2,1$
$0.6 \cdot \eta_{xv}$	$0.55 \cdot (1 - 0.5 \eta_{xv})$	0, 3	$< 1,7$

ثانياً: عندما تكون درجة حرارة غازات العادم مساوية للقيمة الأعظمية $T_{g1} = T_{g1pred} = const$ ، وتخفيض قيمة كمية الوقود المحقونة في الاسطوانة خلال دورة واحدة $G_f^{cycle} = const$. الانتقال إلى تحديد القيمة الأعظمية المسموحة لاستطاعة المحرك عند ثبات القيمة الأعظمية لدرجة حرارة غازات العادم لا يتم قبل تحقق الشروط التالية:

$$T_{ax} = +30^{\circ} C; p_a - p_s = 736 \text{ mmHg}; \left(\frac{T_{coolr}}{T_{coolx}} \right) = 0,98 \text{ or } \left(\frac{p_{ax} - p_{sx}}{748} \cdot \frac{293}{T_{ax}} \cdot \frac{T_{coolr}}{T_{coolx}} \right) = 0,95$$

عندما تكون $T_{g1} = T_{g1pred}$ فإن قيمة k تتحدد من خلال المؤشرات الأسية (m, n, q) ، انظر الجدول (4).

الجدول (4) قيم المؤشرات الأسية (m, n, q) عندما تكون $T_{g1} = T_{g1pred}$

q	n	m
η_{xv}	$2(1 - 0.8 \cdot \eta_{xv})$	0,85

على التوازي في العلاقة (15) يتم استبدال القيمة 748 بالقيمة 736، والقيمة 293 بالقيمة 305، والنسبة $(T_{coolr} / 0.98 T_{coolx})$ بالنسبة (T_{coolr} / T_{coolx}) .

5- إن طريقة التغيرات الصغرى التي اقترحها العالم [8] Vasiljev-Jugin R.M. (Russia) لحساب استطاعة DE ذات مخططات التشحيم المختلفة أثناء تغير EMP تتضمن توصيفاً مفصلاً للعمليات الجارية كافة في قطع ومنظومات المحركات المشحنة، حيث يتم الأخذ بعين الاعتبار تأثير العوامل الآتية:

A. تأثير EMP على استطاعة العنفة والضغوط المستخدمان في التشحيم؛

B. تغيرات كل من معامل الملئ ومعامل التهوية (التكنيس)؛

C. تأثير ديناميكية عملية الاحتراق على المردود الدليلي؛

D. الضياعات الميكانيكية وعلاقتها بمخطط التشحيم وآلية التشحيم.

العلاقة الأساسية التي تربط بين الاستطاعة الفعلية وبين استهلاك الوقود والمردود الفعلي تُكتب كما يأتي:

$$P_e = A \cdot B \cdot \eta_e \quad (16)$$

باستخدام التغيرات النسبية الصغيرة عند تثبيت تدفق الوقود يمكن كتابة العلاقة الأخيرة كما يأتي:

$$\delta P_e = \delta \eta_e = \delta \eta_i + \delta \eta_m \quad (17)$$

وعندها يكون: $P_e = const \Rightarrow \delta P_e = 0; \delta \eta_e = -\delta \eta_g$

في هذه الطريقة تُستخدم العلاقات الرياضية التي تُحدد كلاً من المقادير التالية: العمل والاستطاعة لكل من العنفة والضغوط، تدفق الهواء عبر المحرك، معامل فائض الهواء، درجة حرارة غازات العادم.. وغيرها. بعد اشتقاق هذه العلاقات نحصل على مجموعة من العلاقات المكتوبة بدلالة التغيرات النسبية الصغيرة التي يُمكن استخدامها لتحديد مؤشرات عمل المحرك عند تغير أحد الشروط الخارجية، والتي يمكن تحويلها إلى جملة معادلات مغلقة يتم حلها بواسطة الحواسيب الإلكترونية. تسلسل عمليات الحساب لجملة المعادلات المذكورة أعلاه بالنسبة لمنظومات التشحيم المختلفة موضحة في الأعمال [7, 8]. في هذه المراجع تمت الإشارة إلى أن التوافق بين النتائج الحسابية والنتائج التجريبية كان ضمن الحدود المقبولة تقنياً بالنسبة لكافة مؤشرات عمل المحرك.

إن الحسابات المنفذة وفق هذه الطريقة تتناول دراسة التغيرات التي تطرأ على مجموعة كبيرة من المقادير والمؤشرات تحت تأثير تغيرات EMP مع الأخذ بعين الاعتبار لمخططات التشحيم ومكونات آلية التشحيم. تُنفذ الحسابات استناداً إلى الفرضيات التالية:

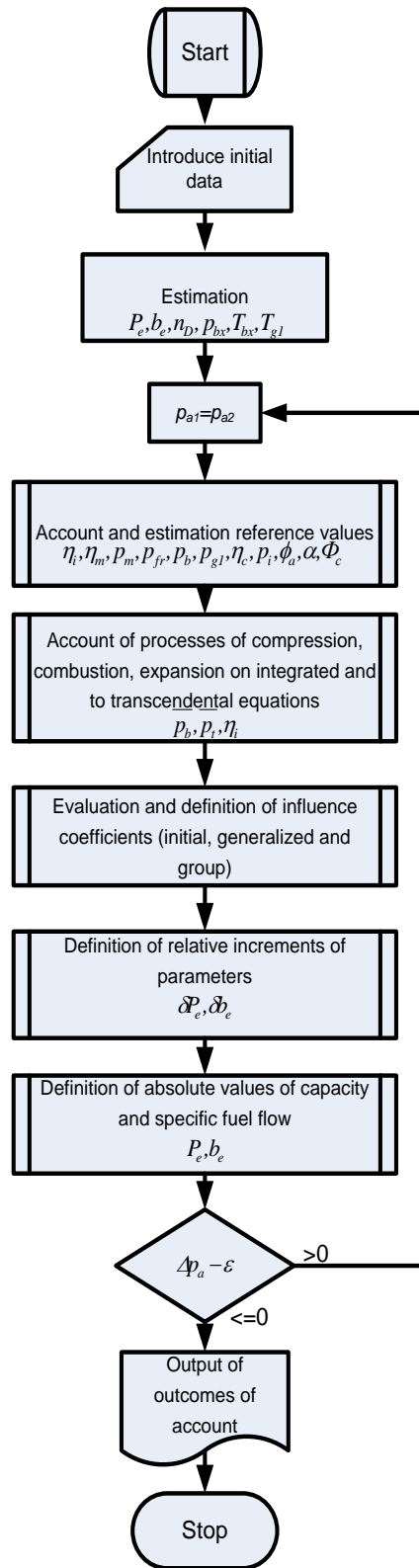
- 1- المردود الدليلي يُعتبر تابعاً لمتغير وحيد هو معامل فائض الهواء؛
 - 2- لا تتعلق الضياعات الميكانيكية بتغيرات الشروط الخارجية عندما $n_D = const$.
 - 3- لا تؤخذ بعين الاعتبار تغيرات قيم كلٍ من معامل الملئ ومعامل التهوية (التكنيس) وكذلك مردود كلٍ من العنفة والضاغط.
- إنَّ طريقة التغيرات النسبية الصغيرة والمستندة إلى الفرضيات الواردة أعلاه تُعطي أخطاءً إضافية لنتائج الحسابات، بالإضافة إلى أنَّ أخطاء جملة المعادلات الأولية (الابتدائية) لا تستطيع أن تصف بشكلٍ دقيق كافة العمليات والإجراءات الحقيقية التي تحدث فعلياً:
- الأخطاء الناتجة عن تبسيط المعادلات (يتم حذف حدود سلسلة تايلور بدءاً من الحد الثاني)؛
 - لا يتم تحديد غالبية المؤشرات بشكل مباشر، وإنما عن طريق متغيرات مستقلة وباستخدام مقادير مرحلية، لذلك يحدث تراكم وتجميع للأخطاء.
 - الأخطاء المرتبطة بعدم دقة احتساب تأثير ديناميكية عملية الاحتراق والانتقال الحراري، وكذلك علاقة الضياعات الميكانيكية بـ EMP.
 - الأخطاء الناتجة عن عدم دقة احتساب العوامل المؤثرة على أداء المحرك عند حدوث تغيرات في EMP (α, T_{g1}, \dots) واستخدام العلاقات التجريبية في حساب مؤشرات عمل المحرك مثل $p_{fr} = a + b \cdot C_m$.
- إنَّ خوارزمية الحسابات (الموضحة على الشكل (1)) وفق طريقة العالم Vasiljev-Jugin R.M تتلخص في حل جملة المعادلات التفاضلية وفق التسلسل الآتي:
- 1- تدون مؤشرات المحرك على نظام العمل الابتدائي، والتي تمثل المعطيات الأولية والمفترض أن تكون معلومة $P_e, g_e, n_D, p_{bx}, T_{bx}, T_{g1}$ ؛
 - 2- باستخدام العلاقات والصيغ المعروفة في نظرية المحركات يتم حساب وتدقيق قيم البارامترات الآتية: $\eta_i, \eta_m, p_m, p_{fr}, p_b, p_{g1}, \eta_c, p_i, \phi_a, \alpha, \Phi_c$ وغيرها؛
 - 3- تحديد القيم النسبية للمؤشرات: p_b, p_i, η_i وغيرها؛
 - 4- تحديد قيم ثوابت (معاملات) التأثير (الابتدائية، المعممة، الجماعية،... الخ)؛
 - 5- تحديد التغيرات النسبية التي تطرأ على مؤشرات عمل المحرك مثل $\delta P_e, \delta \eta_e$ وغيرها؛
 - 6- تحديد القيم المطلقة لكلٍ من الاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود باستخدام العلاقات الآتية:

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_{ex}}{P_{er}} &= 1 + \delta P_e \\ \frac{b_{ex}}{b_{er}} &= 1 - \delta \eta_e \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

خوارزمية النموذج الرياضي لهذه الطريقة، الشكل (1)، تسمح بحل طيف واسع من المسائل المتعلقة بدراسة الأنظمة المستقرة لعمل MDE، بما في ذلك:

- ◆ تحديد مؤشرات عمل DE وفق منحنيات السرعة ومنحنيات التحميل؛
- ◆ تقييم تأثير شروط الوسط الخارجي على مؤشرات عمل DE البحرية عند الحالات والطرق المختلفة لتقييد (لتحديد)

الحمولة: $T_{g1} = const, \alpha_1 = const, p_{max} = const, P_e = const, G_f = const$



الشكل (1) خوارزمية النموذج الرياضي المستخدمة لدراسة الخصائص الاستثمارية لمحركات

الدفع الرئيسية الموجودة على متن سفينة "AI-Assad"

♦ تحديد تأثير مؤشرات الحالة الفنية لمنظومات المحرك ودرجة ضبطه على مؤشرات عمله (مردود المبردات والضواغط والعنفات، المقطع المكافئ لمرور الغازات في عنفة التشحين، زاوية تسبيق (سبق) حقن الوقود، درجة الانضغاط، زاوية تقاطع فتح الصمامات... الخ).

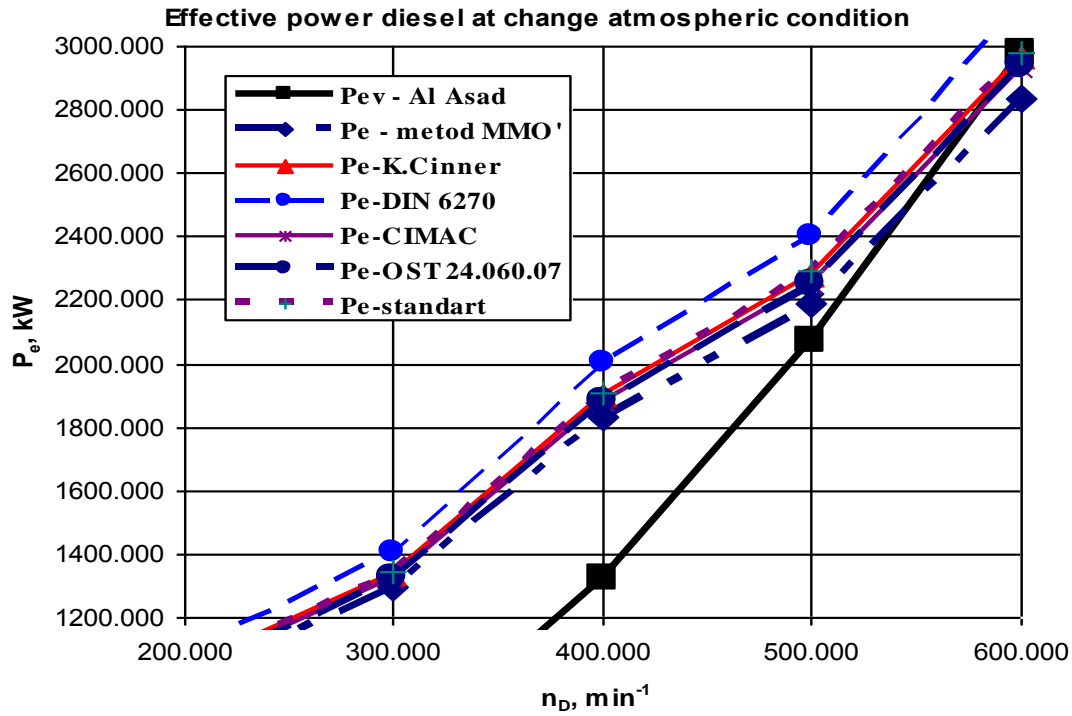
دقة النموذج الرياضي الموضح على الشكل (1) والمخصص لدراسة الخصائص الاستثمارية لـ MDE المستخدمة لدفع السفن تم اختبارها عن طريق مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة هذا النموذج مع النتائج التجريبية التي تم جمعها خلال استثمار DE الرئيسية لسفينة AI-Assad وهي من نوع "ZL 40/48".

النتائج والمناقشة:

في هذا العمل تمت مناقشة نتائج الحسابات التي تم تنفيذها وفق العلاقات المبينة في كلٍ من الطرق الآتية: (K.Cinner, DIN6270, CIMAC, OCT 24.060.07) والنتائج التي تم الحصول عليها بطريقة التغيرات النسبية الصغيرة (Vasiljev-Jugin R.M)، واستناداً إلى نتائج التجارب والقياسات المنفذة على المحركات الرئيسة لسفينة التدريب "AI-Assad" تم التوصل إلى الاستنتاج الآتي: دقة النتائج التي يتم الحصول عليها بالطرق التجريبية المبسطة أثناء دراسة تأثير تغيرات شروط الوسط الخارجي على مؤشرات عمل محركات الاحتراق الداخلي غير كافية وبالتالي عدم إمكانية تعميم هذه النتائج.

العجز المنهجي الرئيس للطرق التي تم استعراضها يتركز في عدم قدرتها على أن تأخذ بعين الاعتبار الفارق الذي يمكن أن يظهر في درجة حرارة غازات العادم أمام العنفة عند سرعة دوران محددة للمحرك وبين الدرجة الفعلية لهذه الغازات أثناء العمل في الشروط الخارجية النظامية. عدم الأخذ بعين الاعتبار لهذه الظاهرة يمكن أن يؤدي إلى ضياعات غير معللة في استطاعة المحرك عند العمل في الشروط غير النظامية.

في هذا العمل تمت دراسة إمكانية استخدام مجموعة الطرق الموضحة في المعايير المدرجة أعلاه لتحديد استطاعة MDE ومؤشراتها الاقتصادية وتأثير الشروط الخارجية عليها. نُفذت الدراسة باستخدام برنامج (Excel). نتائج هذه الدراسة موضحة في الجدول (5)، والشكل (2) يوضح مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام الطرق المختلفة لتحديد أهم مؤشرات عمل MDE عند تغيير كلٍ من درجة حرارة (T_a) وضغط (p_a) ورطوبة (φ_a) الوسط الخارجي، وكذلك درجة حرارة مياه التبريد (T_{cool}) قبل مبرد الهواء. تحليل هذه النتائج يؤكد أن أفضل الطرق لتحديد تأثير الشروط الخارجية على مؤشرات عمل محركات الاحتراق الداخلي المختلفة ذات مخططات التشحين المختلفة هي النموذج الرياضي الذي تم إعداده من قبل العالم الروسي فاسيلف يوجين [8] (Vasiljev-Jugin).



الشكل (2) مقارنة نتائج الحسابات التي تم التوصل إليها باستخدام الطرق المختلفة لتحديد التغيرات التي تطرأ على مؤشرات عمل MDE عند تغير شروط الوسط الخارجي

أثناء ذلك تركزت مسألة الدراسات الحسابية لأنظمة العمل المستقرة للمحركات المختلفة على تحديد القيمة التي يتم البحث عنها للمؤشر y_i عن طريق الحل المشترك لمجموعة n من المعادلات ذات الشكل:

$$y_i = \Phi_j(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_{j-1}, \dots, y_n) \quad (18)$$

هذه المعادلات تقوم بتوصيف العمليات التي تجري في المحرك المكبسي ودارات تأمين الهواء وطرد الغازات وغيرها من المعدات والآلات المحمولة على المحرك. أثناء ذلك وبمناخ المتغيرات المستقلة x_k تم استخدام البارامترات التي توصف العوامل التصميمية، وعوامل التحكم وشروط العمل..... وغيرها.

إنّ أساس النموذج الرياضي المعتمد لتوصيف عمل المحرك على الأنظمة المستقرة عبارة عن جملة من المعادلات التفاضلية، مع الإشارة إلى أنّ قسماً منها عبارة عن معادلات لاختطية. يتم حل جملة المعادلات هذه بعد تحويل المعادلات للاختطية إلى معادلات خطية واستخدام الجبر الخطي والطرق المعروفة في هذا المجال.

إنّ تحويل المعادلات للاختطية إلى معادلات خطية ومن ثمّ تنفيذ الحسابات للتغيرات النسبية الصغيرة لمؤشرات عمل DE يسمح بتحقيق ما يلي:

- 1- استثناء معالجة الكثير من الحدود (القيم) الثابتة التي تتطلب عملية تقييمها بذل جهود كبيرة؛
- 2- زيادة دقة نتائج الحسابات وذلك باستخدام معطيات الاختبارات المصنعية للمحرك كقاعدة معلومات لنظام العمل الابتدائي (القاعدي)؛
- 3- إدخال تأثير الظواهر الهيدروديناميكية بشكل غير مباشر دون توصيفها بشكل دقيق.
- 4- استخدام العلاقات النسبية المعممة في الحسابات التي تقوم بتوصيف شدة (مستوى) التغيرات في أداء المجموعات المختلفة من المحركات.

الجدول (5) تحديد أنظمة العمل المسموحة أثناء استثمار DE الرئيسية المستخدمة لدفع سفينة Al-Assad عند تغير EMP

البارامتر					العلاقة	القيمة الحسابية
المعطيات الأولية والمؤشرات الأساسية لمحركات الديزل الرئيسية أثناء استثمارها في الشروط النظامية						
600.000	500.000	400.000	300.000	200.000	n_D	سرعة دوران المحرك $n [min^{-1}]$
0.300	0.250	0.200	0.150	0.100	\bar{n}_D	سرعة الدوران النسبية \bar{n}
4050.00	3110.00	2592.00	1823.00	1418.00	P_e	استطاعة محرك الديزل بالحصان البخاري [hp]
2980.80	2288.96	1907.71	1341.72	1043.64	P_e	استطاعة محرك الديزل بالكيلو واط [kW]
81.000	62.200	51.840	36.460	28.360	\bar{P}_e	الاستطاعة النسبية للمحرك [%]
2.250	1.790	1.580	1.370	1.240	π_c	نسبة ارتفاع الضغط في الضاغط النابذي [K]
389.000	367.000	351.000	334.000	325.000	T_b	درجة حرارة الهواء خلف الضاغط النابذي [K]
863.000	810.000	763.000	710.000	674.000	T_{gl}	درجة حرارة الغازات أمام العنفة الغازية [K]
110.000	103.000	98.200	90.500	85.500	p_{max}	الضغط الأعظمي للاحتراق في المحرك [kPa]
0.445	0.460	0.456	0.445	0.450	η_i	المردود الدليلي للمحرك
0.835	0.848	0.877	0.890	0.862	η_m	المردود الميكانيكي للمحرك
0.372	0.390	0.400	0.397	0.388	η_e	المردود الفعلي للمحرك
0.280	0.268	0.250	0.251	0.261	g_e	الاستهلاك النوعي للوقود $[kg/(kW.h)]$
1.850	1.850	1.850	1.850	1.850	α	معامل زيادة الهواء
300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	T_a	درجة حرارة الوسط الخارجي [K]
750.000	750.000	750.000	750.000	750.000	p_a	ضغط الوسط الخارجي [mmHg]
99.990	99.990	99.990	99.990	99.990	$p_a = p_a \cdot 13332/1000$	ضغط الوسط الخارجي بالباسكال [kPa]
300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	T_{cool}	درجة حرارة مياه التبريد [K]
60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	ϕ_a	الرطوبة النسبية للوسط الخارجي [%]
قيم بارامترات الوسط الخارجي في الشروط غير النظامية						
308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	T'_a	درجة حرارة الوسط الخارجي [K]
305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	T'_{cool}	درجة حرارة مياه التبريد [K]
105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	p'_a	ضغط الوسط الخارجي بالباسكال [kPa]
787.579	787.579	787.579	787.579	787.579	$p'_a = p_a \cdot 1000/13332$	ضغط الوسط الخارجي [mmHg]
90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	ϕ'_a	الرطوبة النسبية للوسط الخارجي [%]
2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	m''	قيمة الأس في العلاقة الرياضية
0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	B_{cool}	بارامتر نوعية الهواء
0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	η_x	المردود الحراري لمبرد الهواء
2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	$P_s^{H_2O}$	ضغط الإشباع لبخار الماء في الشروط النظامية [kPa]
35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	$P_s^{H_2O'}$	ضغط الإشباع لبخار الماء في الشروط الجارية عند T'_a و ϕ'_a [mmHg]
4.757	4.757	4.757	4.757	4.757	$P_s^{H_2O'}$	ضغط الإشباع لبخار الماء في الشروط الجارية عند ϕ'_a و T'_a [kPa]
1.940	1.710	1.650	1.630	1.540	m'	الأس البوليتروبي للانضغاط في الضاغط

نتائج الحسابات عند استثمار المحركات في الشروط غير النظامية وفق الطريقة المقترحة في هذا البحث						
2.210	1.766	1.563	1.360	1.234	$\pi'_c = \left[\frac{T'_a}{T'_b} (\pi_c^{0.286} - 1) + 1 \right]^{3.5}$	نسبة ارتفاع الضغط في الضاغط عند T'_a
-0.018	-0.013	-0.011	-0.007	-0.005	$\delta\pi_c = \pi'_c / \pi_c - 1$	التغير النسبي في الضغط (π_c)
0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	$\delta T'_a = T'_a / T_a - 1$	التغير النسبي في درجة الحرارة T_a
0.020	0.022	0.022	0.024	0.024	$\delta T'_b = \delta T'_a + (m' - 1) / m' \cdot \delta\pi_c$	التغير النسبي في درجة الحرارة T_b
406.718	383.735	367.263	349.914	340.973	$T'_b = T'_a \cdot \pi_c^{\left(\frac{m'-1}{m'}\right)}$	درجة حرارة الهواء خلف الضاغط [K]
335.600	326.800	320.400	313.600	310.000	$T_{int} = T'_b \cdot B_{cool} \cdot (T'_b - T_{cool})$	درجة حرارة الهواء على مدخل اسطوانات المحرك عند T_a [K]
345.687	336.494	329.905	322.966	319.389	$T'_{int} = T'_b \cdot B_{cool} \cdot (T'_b - T_{cool})$	درجة حرارة الهواء على مدخل اسطوانات المحرك عند T'_{cool} و T'_a [K]
1.159	1.123	1.096	1.065	1.048	$\omega = T'_b / T_{int}$	مستوى (درجة) تبريد الهواء في الشروط النظامية
1.177	1.140	1.113	1.083	1.068	$\omega' = T'_b / T'_{int}$	مستوى تبريد الهواء عند T'_{cool} و T'_a [K]
0.015	0.015	0.016	0.017	0.018	$\delta\omega = \omega' / \omega - 1$	التغير النسبي في مستوى تبريد الهواء
-0.023	-0.019	-0.017	-0.014	-0.011	$\delta P_{II} = \delta\pi_c - \delta T'_b + \delta\omega$	لتغير النسبي في الاستطاعة الدليلية عند T'_{cool} و T'_a [K]
1.305	1.305	1.305	1.305	1.305	$p_s = p_s^{H2O} \cdot \phi_a / 100$	الضغط الجزئي لبخار الماء في الشروط النظامية
0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	$d = 0.622 \cdot (p_s / (p_a - p_s))$	كمية الرطوبة في الهواء في الشروط النظامية
1.835	1.835	1.835	1.835	1.835	$\alpha_{dry} = a / (1+d)$	معامل زيادة الهواء في الشروط النظامية
4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	$p'_s = p_s^{H2O} \cdot \phi'_a / 100$	الضغط الجزئي لبخار الماء عند T'_a و ϕ'_a [kg/cm ²]
0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	$d' = 0.622 \cdot (p'_s / (p'_a - p'_s))$	كمية الرطوبة في الهواء عند T'_a و ϕ'_a
1.802	1.802	1.802	1.802	1.802	$\alpha_{dry}' = a' / (1+d')$	معامل زيادة الهواء عند T'_a و ϕ'_a
-0.018	-0.018	-0.018	-0.018	-0.018	$\delta P_{i\phi} = \alpha_{dry}' / (\alpha_{dry} - 1)$	التغير النسبي في الاستطاعة الدليلية عند T'_a و ϕ'_a
-0.041	-0.037	-0.035	-0.032	-0.029	$\delta P_i = \delta P_{II} + \delta P_{i\phi}$	التغير النسبي في الاستطاعة الدليلية عند T'_{cool} ، T'_a و ϕ'_a
-0.049	-0.044	-0.040	-0.035	-0.033	$\delta P_e = \delta P_i / \eta_m$	التغير النسبي في الاستطاعة الفعلية عند T'_{cool} ، T'_a و ϕ'_a
3851.15	2973.94	2489.49	1758.41	1370.64	$P'_e = P_e \cdot (1 + \delta P_e)$	الاستطاعة الفعلية عند T'_{cool} ، T'_a و ϕ'_a [hp]
2834.44	2188.82	1832.26	1294.19	1008.79		الاستطاعة الفعلية عند T'_{cool} ، T'_a و ϕ'_a [kW]
0.198	0.179	0.140	0.124	0.160	$K_{\eta_m} = (1 - \eta_m) / \eta_m$	ثابت تأثير الضياعات الميكانيكية
0.008	0.007	0.005	0.004	0.005	$\delta g_e = -K_{\eta_m} \cdot \delta P_i$	التغير النسبي في الاستهلاك النوعي للوقود
0.282	0.269	0.251	0.252	0.262	$g'_e = g_e \cdot (1 + \delta g_e)$	الاستهلاك النوعي للوقود عند T'_{cool} ، T'_a و ϕ'_a [kg/(kW.h)]
2980.80	2070.00	1324.80	745.200	331.200	P_{ev}	الاستطاعة الفعلية عند العمل على الرفاص

نتائج الحسابات عند استثمار المحركات في الشروط غير النظامية وفق طريقة K.Cinner

0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	m	الثابت الأسي
1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	n	الثابت الأسي
0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	$k = (P_i'/P_i) = (P_a'/P_a)^m \cdot (T_a/T_a')^n$	الثابت الأسي
0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	$\frac{P_e'}{P_e} = 1 - (1-k)(1-\alpha_1) \frac{1}{\eta_m}$	التغير النسبي لاستطاعة المحرك ($\alpha_1=0.35$)
2968.6	2279.7	1900.3	1336.5	1039.5	$P_e'1$	الاستطاعة الاسمية عند تغير الشروط الخارجية [kW]
0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	$(g_e'/g_e) = k(P_e'/P_e)$	التغير النسبي في الاستهلاك النوعي للوقود
0.280	0.267	0.250	0.251	0.261	$g_e'1$	الاستهلاك النوعي للوقود kg/(kW.h)
نتائج الحسابات عند استثمار المحركات في الشروط غير النظامية وفق المواصفة القياسية الألمانية DIN 6270						
1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	$k = \frac{P_i'}{P_i} = \frac{P_a' - \varphi_a' \cdot P_s'}{P_a - \varphi_a \cdot P_s} \cdot \left(\frac{T_a}{T_a'}\right)^{0.75}$	الثابت k
1.051	1.051	1.050	1.049	1.050	$\frac{P_e'}{P_e} = k + 0.7 \cdot (k-1) \cdot \left(\frac{1}{\eta_m} - 1\right)$	التغير النسبي لاستطاعة المحرك
3133.9	2405.2	2002.2	1407.5	1096.0	$P_e'2$	الاستطاعة الاسمية عند تغير الشروط الخارجية [kW]
0.994	0.995	0.996	0.996	0.995	$(g_e'/g_e) = k(P_e'/P_e)$	التغير النسبي في الاستهلاك النوعي للوقود
0.278	0.266	0.249	0.250	0.260	$g_e'2$	الاستهلاك النوعي للوقود kg/(kW.h)
نتائج الحسابات عند استثمار المحركات في الشروط غير النظامية وفق طريقة CIMAC						
0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	m	الثابت m
1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	n	الثابت n
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	q	الثابت q
0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	$k = \frac{P_i'}{P_i} = \left(\frac{P_a' - \alpha \cdot \varphi_a' \cdot P_s'}{P_a - \alpha \cdot \varphi_a \cdot P_s}\right)^m \cdot \left(\frac{T_a}{T_a'}\right)^n \cdot \left(\frac{T_{cool}}{T_{cool}'}\right)^p$	الثابت ($\alpha=0$)
0.984	0.984	0.985	0.985	0.985	$(P_e'/P_e) = k - 0.7 \cdot (1-k) \cdot [(1/\eta_m) - 1]$	التغير النسبي لاستطاعة المحرك
2934.0	2253.4	1878.8	1321.6	1027.6	$P_e'3$	الاستطاعة الاسمية عند تغير الشروط الخارجية [kW]
1.002	1.002	1.001	1.001	1.002	$(g_e'/g_e) = k(P_e'/P_e)$	التغير النسبي في الاستهلاك النوعي للوقود
0.280	0.268	0.250	0.252	0.261	$g_e'3$	الاستهلاك النوعي للوقود kg/(kW.h)
نتائج الحسابات عند استثمار المحركات في الشروط غير النظامية وفق المواصفة القياسية الروسية GOST 24.060.07						
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	m	الثابت m
0.219	0.219	0.219	0.219	0.219	n	الثابت n
0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	q	الثابت q
0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	k	الثابت k
850.00	850.00	850.00	850.00	850.00	ρ_f	كثافة الوقود عند t_a [kg/m ³]
849.99	849.99	849.99	849.99	849.99	$\rho_f' = \rho_f + \gamma(20 - t_f')$	كثافة الوقود عند t_a' [kg/m ³]
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	$\Delta = \rho_f' / \rho_f$	الثابت Δ
0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	$(P_e'/P_e) = [k - 0.7 \cdot (1-k) \cdot [(1/\eta_m) - 1]] \cdot \Delta$	التغير النسبي لاستطاعة المحرك
2935.0	2254.2	1879.4	1322.0	1027.9	$P_e'4$	الاستطاعة الاسمية عند تغير الشروط الخارجية [kW]

1.002	1.002	1.001	1.001	1.002	$(g_e' / g_e) = k(P_e' / P_e)$	التغير النسبي في الاستهلاك النوعي للوقود
0.280	0.268	0.250	0.252	0.261	$g_e'^4$	الاستهلاك النوعي للوقود $kg/(kW.h)$

تحليل النتائج التي تم الحصول عليها يسمح بالتوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

1- الطرق الحسابية لدراسة تأثير الشروط الخارجية على أداء المحرك تعطي وتيرة انخفاض صحيحة ومقبولة للعلاقة بين الاستطاعة والظروف الخارجية فقط عند تقييد الحمولة بكمية الوقود المحقونة في الاسطوانات أي:

$$(G_f^{cycle} = const) ;$$

2- الخطأ النسبي في تحديد تغيرات الاستطاعة (تحت تأثير الشروط الخارجية) عند تقييد الحمولة بدرجة حرارة غازات العادم على مدخل عنفة التشحين باستخدام الطرق المختلفة من الممكن أن يصل إلى 3% (أو أكثر)، و فقط المواصفة القياسية GOST24.060.07 تسمح بتقييم تغيرات الاستطاعة تحت تأثير الشروط الخارجية بدقة كافية للأغراض التطبيقية؛

3- في الوقت نفسه فإن الخطأ النسبي في تحديد قيمة تغيرات الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود تحت تأثير الشروط الخارجية وفق المواصفة القياسية GOST24.060.07 قد يبلغ (9) (\geq) . يتم تفسير ذلك بأن الطرق المستندة إلى المواصفات القياسية المذكورة أعلاه وخلافاً لطريقة النمذجة الرياضية، لا تأخذ بعين الاعتبار الاحتياط ما بين القيمة الحدية والقيمة الفعلية لدرجة حرارة غازات العادم عند مدخل عنفة التشحين في الشروط النظامية؛

4- الصيغ التي تم اقتراحها من قبل العالم K. Cinner والصيغ المستخدمة في المواصفات القياسية CIMAC, DIN6270، وعند الاختيار المناسب (الموفق) لقيم المؤشرات الأسية (m, n) تُعطي نتائج جيدة (من وجهة نظر الدقة)، لكن فقط لتأثير درجة حرارة وضغط الوسط الخارجي.

تجدر الإشارة إلى أنه خلافاً لطرق الحساب المستندة إلى المواصفات القياسية المختلفة فإن طريقة النمذجة الرياضية تُعطي إمكانية الأخذ بعين الاعتبار للحساسية المختلفة للمحركات ذات مستويات الإجهاد المختلفة (التي تتعلق بالقيم الابتدائية لكل من: معامل فائض الهواء α_1 ونسبة ارتفاع الضغط λ)، ومخططات التشحين المختلفة (ميكانيكي، ضاغط عنفي غازي حر، تشحين ثنائي المراحل..الخ)، والمزودة بمبردات هواء ذات مراديد مختلفة.

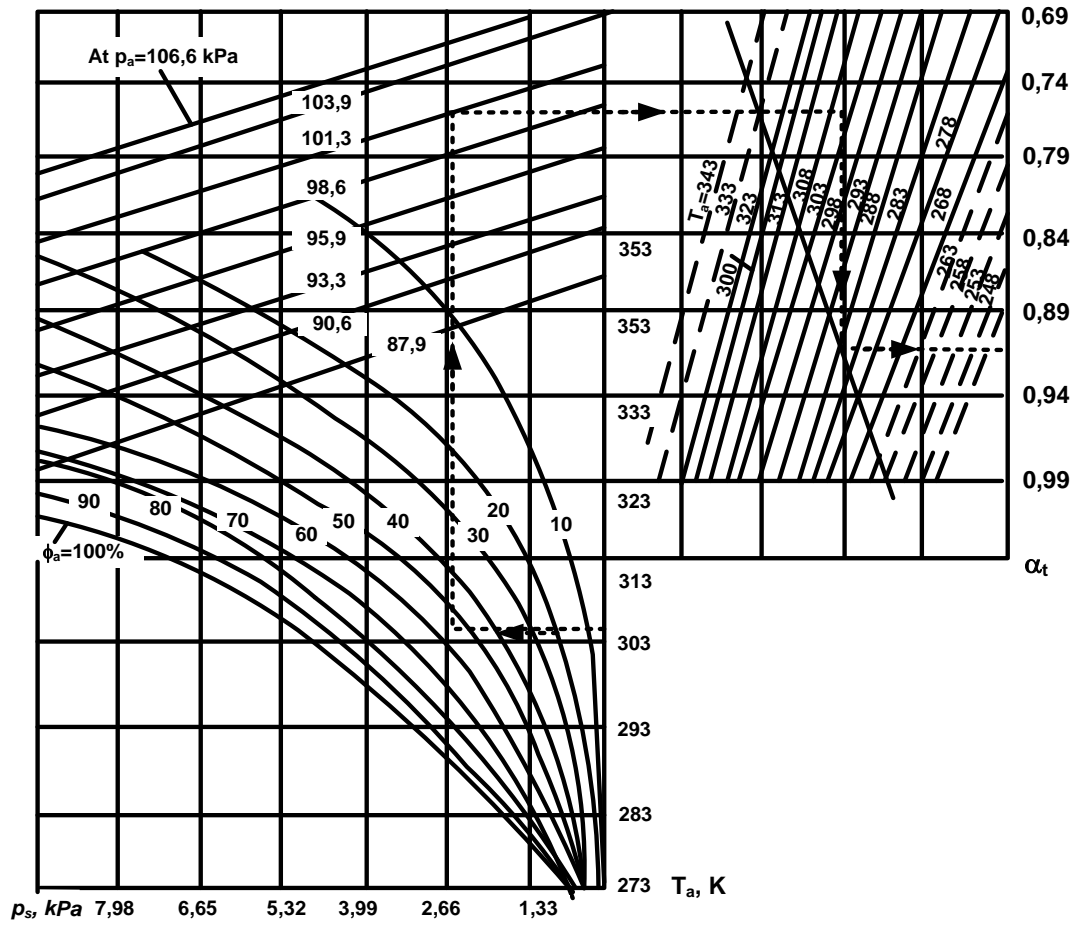
في هذا العمل تمت دراسة تأثير تغيرات الوسط الخارجي على أداء المحركات الرئيسية المستخدمة على سفينة التدريب AI-Assad، واستناداً إلى هذه الدراسة تم إعداد مقترحات عملية لتقييم استطاعة هذه المحركات واقتصادية عملها. وأجريت الحسابات باستخدام النموذج الرياضي وفق طريقة العالم الروسي Vasiljev-Jugin R.M. تم التحقق من نتائج هذه الحسابات من خلال مقارنتها مع نتائج القياسات والتجارب المنفذة فعلياً أثناء استثمار المحركات الرئيسية المستخدمة على سفينة التدريب AI-Assad. بناءً على ذلك يقترح منفذوا هذا العمل أن يتم تحديد استطاعة المحركات P_{ex} واستهلاكها النوعي من الوقود g_{ex} في الشروط الفعلية الجارية للوسط الخارجي بالعلاقات الآتية:

$$(P_{ex} / P_{er}) = \alpha_t ; (g_{ex} / g_{er}) = \beta \quad (20)$$

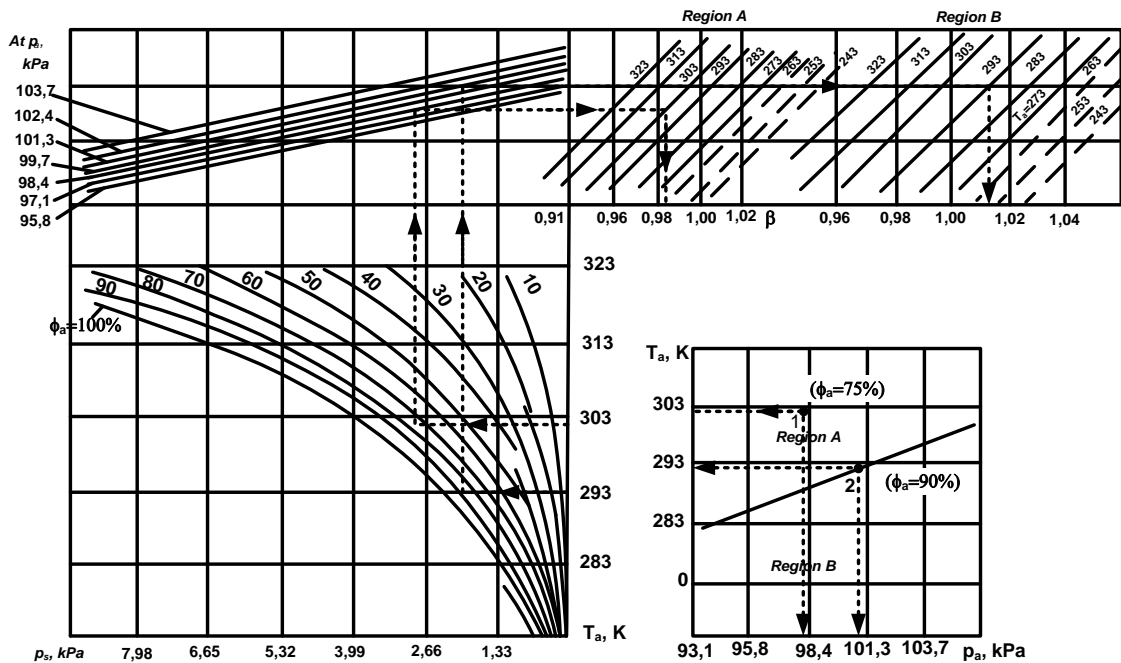
حيث:

α_t - ثابت تصحيح الاستطاعة الذي يتم تحديده من المخطط البياني (النوموغرام) الموضح على الشكل (3).

β - ثابت تصحيح الاستهلاك النوعي للوقود، الذي يتم تحديده من المخطط البياني (النوموغرام) الموضح على الشكل (4).



الشكل (3) المخطط البياني لتحديد ثابت تصحيح قيمة الاستطاعة α_t لـ MDE المستخدمة لدفع سفينة التدريب Al-Assad أثناء استئمارها في الشروط الفعلية للوسط الخارجي في ERMS



الشكل (4) المخطط البياني لتحديد ثابت تصحيح قيمة الاستهلاك النوعي للوقود β لـ MDE المستخدمة لدفع سفينة التدريب AI- Assad أثناء استثمارها في الشروط الفعلية للوسط الخارجي في ERMS

لقد تم إنشاء المخططات البيانية الموضحة على الأشكال (3) و(4) من قبل منفي هذا العمل بحيث تأخذ بعين الاعتبار الشروط الفعلية للوسط الخارجي في ERMS، وذلك استناداً إلى المعطيات الإحصائية التي تم جمعها ومعالجتها خصيصاً لهذا الغرض. إنَّ ثوابت التصحيح تسمح بتحديد تأثير تغيرات كلِّ من ضغط ودرجة حرارة ورطوبة هواء الوسط الخارجي. أما الطريقة البيانية فهي بسيطة ولا تتطلب جهوداً كبيرة في تحديد قيم ثوابت التصحيح. كما يمكن ببساطة تحويل هذه المخططات إلى برامج الكترونية بحيث يمكننا بسرعة كبيرة أن نحدد قيم ثوابت التصحيح.

المراجع:

1. KOLOSOV, V.D.; TOTKAYLO, V.V. *Shipboard diesel and diesel - gas-turbine propulsive plants. Settlement - graphic operations*. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2005, 129 pages.
2. 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 pages.
3. ROSLYKOV, E.M. *Energetic power equipment of life support systems of vessels*. Saint Petersburg: Polyengineering, 2004, 450 pages.
4. ZLOBIN, V.G; BARANOVSKIY, V.V. *Shipboard propulsive plants*. Saint Petersburg: Naval academy, 2003, 356 pages.
5. RUBALKO, V.V. *Shipboard propulsive plants. Problems of development and maintenance*. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2003, 381 pages.

6. 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 pages.
7. PERVUHIN, M.G. *Architecture of maintenance of shipboard power systems. The manual.* Saint Petersburg: Naval academy, 1993, 310 pages.
8. VASILJEV-JUGIN, R.M. *Shipboard internal-combustion engines. A part 1. The theory of working processes,* Leningrad: Naval engineering institute, 1989, 308 pages.
9. KONAKOV, G.A. *Ship propulsive plants and engineering maintenance of fleet.* The textbook for high schools. Moscow: Transport, 1980, 423 pages.
10. LEVKO, A.F; PILIPIENKO, N.N.; IVANOV, V.V. *Analytical designing, features of simulation and optimization of conditions of use of shipboard propulsive plants with internal-combustion engines.* Saint Petersburg: Naval academy, 2000, 223 pages.