مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (3) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (3) 2008

تأثير شروط عمل السفينة على تصميم مخطط عمل محركات الديزل البحرية

الدكتور بسام حمود*

(تاريخ الإيداع 13 / 5 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/7/7)

□ الملخّص □

من المعلوم أن 97 % من محطات دفع السفن التجارية الموجودة في الوقت الحاضر تستخدم محركات الديزل، وتعتمد قيمة استطاعة الجر وسرعة السفينة بشكل رئيس على شكل البدن وتصميم الرفاص؛ لذلك ولتشغيل السفينة بشكل أفضل فقد عرضت في هذه المقالة أهم بارامترات السفينة التي تؤثر في سلوك محرك الديزل ومحطة الدفع.

تم في هذا البحث إيضاح أهمية اختيار نقطة عمل المحرك الرئيس عند الحمولة القصوى MCR وكذلك نقطة العمل الأمثل للمحرك في محطة الدفع، من أجل تحديد مخطط حمولة المحرك بناءً على النقطة التصميمية لعمل الرفاص، كذلك عرضت خطوط عمل المحرك المهمة بالتفصيل عبر دراسة حالات نمطية عديدة يدير بها المحرك الرئيس الرفاص وحده أو الرفاص ومولد الكهرباء على السفينة معاً.

الكلمات المفتاحية: محركات الديزل البحرية– دفع السفن– مخطط حمولة المحرك.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة البحرية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (3) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (3) 2008

The Influence of Ship Working Conditions on the Layout of Marine Diesel Engines

Dr. Bassam Hammoud *

(Received 13 / 5 / 2008. Accepted 7 / 7 / 2008)

□ ABSTRACT □

97% of today's marine power plants of merchant ships use diesel engines. The power requirement and rate of revolution depend very much on the ship's hull form and the propeller design. Therefore, in order to reach optimal working conditions, the most important parameters of ship which affect the diesel engine and the power plant behavior have been mentioned.

This paper clears also the importance of choosing the correct specified MCR and optimizing point of the main engine, and thereby engine's load diagram in consideration to the propeller's design point. Also the construction of the relevant load diagram line is studied in detail by means of several typical situations, where the main engine feeds the propeller alone or the propeller and the shaft generator together.

Key words: marine diesel engines , propulsion , engine's load diagram

* **Associate Professor at Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen University, Syria.**

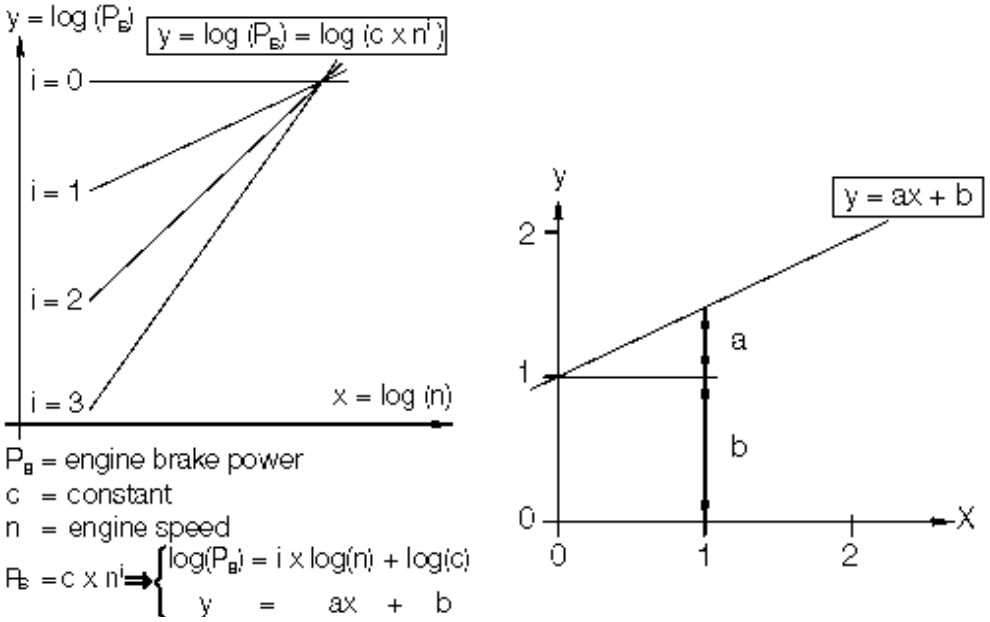
مقدمة:

معلوم أن الاستطاعة المكبحية P_B لمحرك الديزل تتناسب طرداً مع الضغط المتوسط الفعلي p_e وسرعة دوران المحرك n [1].

وهكذا يمكن كتابة العلاقة التالية: $P_B = c \times p_e \times n$ ، وهذا يعني أنه عند ثبوت الضغط المتوسط الفعلي p_e تصبح الاستطاعة: $P_B = c \times n'$

عندما يعمل المحرك مع رفاص ذي خطوة ثابتة فإن قانون الاستطاعة يكون على الشكل التالي: $P_B = c \times n^3$ (منحني الرفاص)، وبالتالي فإنه يمكن التعبير عن الاستطاعة المكبحية P_B وفقاً لقانون الرفاص من خلال تابع كالتالي: $P_B = c \times n^i$

ويبين الشكل (1) العلاقة بين التوابع الخطية (على الشكل A - 1) $y = ax + b$ باستخدام المقاييس الخطية وتوابع الاستطاعة $P_B = c \times n'$ (انظر الشكل B -1) باستخدام المقاييس اللوغارتمية.



B **A**

الشكل (1) العلاقة بين التوابع الخطية باستخدام المقاييس الخطية وتوابع الاستطاعة باستخدام المقاييس اللوغارتمية

إن توابع الاستطاعة عند استخدام المقاييس اللوغارتمية ستصبح خطية ، حيث إن:

$$\log(P_B) = i \times \log(n) + \log(c)$$

وهذا يكافئ: $y = ax + b$

وبالتالي فإن منحنيات الرفاص ستصبح موازيةً للخطوط ذات الميل $i = 3$ ، أما خطوط الضغط المتوسط الفعلي p_e فستكون موازية للخطوط ذات الميل $i = 1$.

لذلك تستخدم المقاييس اللوغارتمية في مخططات عمل محرك الديزل وحمولته بالشكل الذي عرضناه، لأنها تسمح بالحصول على مخططات بسيطة ذات خطوط مستقيمة.

أهمية البحث وأهدافه:

يعدّ تحديد العوامل الأساسية المتعلقة بحالة السفينة وظروف تشغيلها نقطة الانطلاق لدى تصميم المحرك الرئيس اللازم لدفعها وتزويدها بالكهرباء؛ لذلك يبدأ البحث بعرض المخطط العام *layout* لمحرك الديزل البحري ومخططات تحميله، و يلي ذلك دراسة خمس حالات نمطية مهمة لتشغيل السفينة برفاص ثابت الخطوة (FPP) *Fixed Pitch Propeller*. اثنتان من الحالات يعمل بهما المحرك من دون وصل مولد الكهرباء على السفينة بالمحور الرئيس للمحرك *shaft generator*، واثنتان مع وصل المولد بالمحرك الرئيس، أما الحالة الخامسة التي تمت دراستها فهي لسفينة برفاص متغير الخطوة *Controllable Pitch Propeller (CPP)*.

الغاية الأساسية من البحث هي إيضاح تغيّر شكل مخطط عمل المحرك مع تغيّر شروط عمل السفينة و رفاصها من خلال دراسة أمثلة واقعية نموذجية.

طريقة البحث ومواده:

يعتمد البحث طريقة عرض ما ورد في أحدث المراجع عن مجال عمل المحرك ومخططات حمولته، ثم القيام بتصميم المخطط العام لمحرك ديزل بحري يعمل بشروط مختلفة تشمل:

- العمل في الشروط العادية لدى الوصل برفاص ثابت الخطوة.
- العمل في الشروط الخاصة لدى الوصل برفاص ثابت الخطوة.
- العمل في الشروط العادية لدى الوصل برفاص ثابت الخطوة وبمولد للكهرباء.
- العمل في الشروط الخاصة لدى الوصل برفاص ثابت الخطوة وبمولد للكهرباء
- العمل لدى الوصل برفاص متغير الخطوة وبمولد للكهرباء أو من دونه.

النتائج والمناقشة:

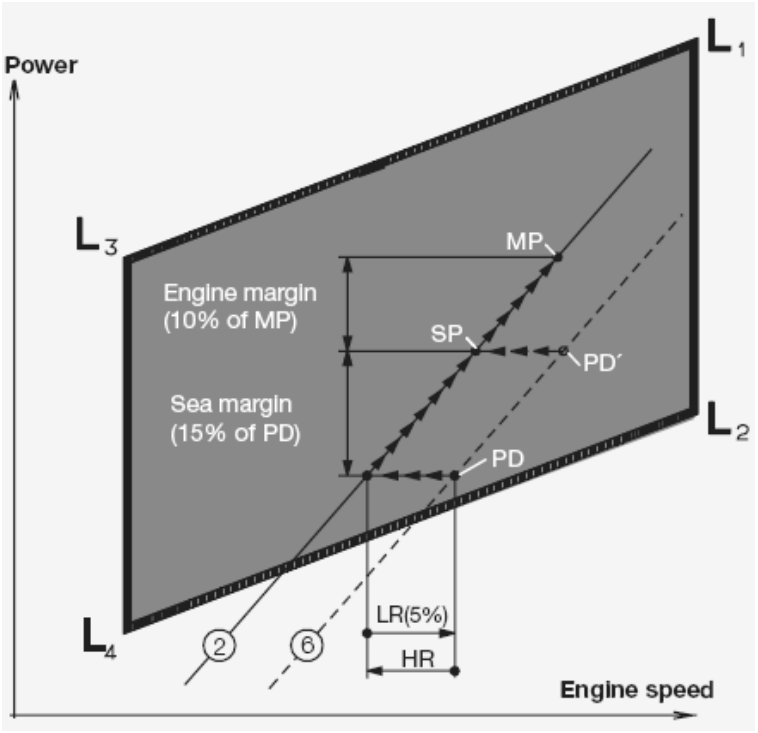
أولاً: دفع السفينة والنقاط المميزة لعمل المحرك:

1) النقطة التصميمية للرفاص :

عادةً يعتمد تقدير سرعة الرفاص والاستطاعة اللازمة لتدويره على الحسابات النظرية للسفينة المحمّلة، وغالباً ما يتم الاعتماد على تجارب بخزانات اختبار. في كلتا الحالتين تُفترض شروط عمل مثلى؛ أي أن بدن السفينة نظيف والطقس جيد. والنقطة الواقعة على منحني عمل الرفاص التي تُحدّد السرعة والاستطاعة الناتجة يطلق عليها اسم " **النقطة التصميمية للرفاص PD** " [2] ، وهي تقع على منحني الرفاص الخفيف كما هو مبين على المنحني رقم 6 في الشكل (2). ولكن بعض منتجي الرفاصات والعاملين في ترسانات بناء السفن يستخدمون نقطة تصميمية أخرى للرفاص هي ´PD (أعلى من سابقتها) تتضمن مجالاً احتياطياً كما سنوضح لاحقاً.

2) اتساخ بدن السفينة :

بعد عمل السفينة لفترة زمنية معينة يتسخ بدنها ورفاصها، وتزداد مقاومة المياه لحركة بدنها الإجمالية. وهذا يؤدي إلى تخفيض سرعة السفينة وانتقال منحني الرفاص إلى اليسار كما هو مبين في الشكل (2) إذا لم يكن المحرك قادراً على تقديم استطاعة إضافية؛ أي أن الرفاص سيصبح محمّلاً بشكل إضافي، أو ثقيلاً *heavy running HR*. تمتلك النماذج الحديثة من السفن ذات الفعالية العالية عندما تكون السفينة جديدةً سرعاتٍ عالية وبدناً ورفاصاً شديدي النعومة. ومن المحتم أن تزداد خشونة هذه السطوح بعد الخدمة وأن يُصبح الرفاص بمرور الوقت ثقيلاً، وهذا أمر يجب مراعاته عند التصميم.



2 منحني الرفاص الثقيل (بدن سفينة متسخ وشروط جوية صعبة)
6 منحني الرفاص الخفيف (بدن نظيف وشروط جوية هادئة)
MP النقطة المختارة لدفع السفينة،
SP نقطة الخدمة
PD النقطة التصميمية للرفاص،
PD´ النقطة التصميمية البديلة للرفاص
LR عامل الدوران الخفيف
HR الدوران الثقيل للرفاص

الشكل (2) مخطط المحرك ونقاط عمله المختلفة

3) عامل الطقس السيئ واحتياطي البحر :

إذا وجد في الوقت نفسه بدن سفينة متسخ وطقس سيئ برياح مواجهة للسفينة، فمن الطبيعي أن تتوفر استطاعة احتياطية مضافة لمواجهة ذلك، يطلق عليها احتياطي البحر *sea margin*، ومن المعتاد أن تبلغ قيمتها 15% من استطاعة النقطة التصميمية لعمل الرفاص PD . ولكن من أجل السفن الكبيرة المخصصة لنقل الحاويات تضاف أحياناً نسبة 20 إلى 30% [3] .

لدى تحديد السرعة اللازمة لوضع مخطط عمل المحرك، فإنه يُنصَح – انطلاقاً من مخطط الرفاص عندما يكون بدن السفينة نظيفاً والطقس هادئاً (المنحني 6 على الشكل 2) – باختيار المنحني 2 الأثقل الذي تفوق سرعة الدوران عنده نظيرتها للمنحني 6 بمقدار 3 إلى 7% ، والاختيار المناسب في العادة هو 5%.

لاحظ أن الاستطاعة الاحتياطية التي تم اختيارها لمواجهة ظروف البحر مختلفةٌ عن استطاعة منحني الرفاص الثقيل.

4)نقطة الدفع المتواصل للسفينة *(SP)* :

يُطلَق على النقطة (التي تحدد السرعة والاستطاعة) الواقعة على منحني الرفاص الثقيل مع مراعاة احتياطي البحر اسم "**نقطة الدفع المتواصل للسفينة**" **SP** ، وهي تُراعي رداءة الجو واتساخ بدن السفينة معاً. يُستَخدَم منحني الرفاص 2 من أجل طقس رديء وبدن متسخ للسفينة كأساس عند استثمار المحرك النقطة SP تقع على المنحني 2 وتمتلك استطاعة النقطة PD، أما المنحني 6 للرفاص (عندما يكون البدن نظيفاً والطقس هادئاً) فيعدّ منحني العمل الخفيف للرفاص أي (LR) *light running propeller*.

5)نقطة الخدمة المتواصلة (S) :

هي النقطة S التي يعمل عندها المحرك وتكون قيمة استطاعته مراعيةً لاحتياطي البحر، وهي تنطبق على النقطة السابقة الذكر SP ما لم يُرَكَّب على محور المحرك الرئيس مولد للكهرباء *shaft generator*.

6)عامل الدوران الخفيف للرفاص :

يُستخدَم منحني الرفاص الثقيل عندما يكون بدن السفينة متسخاً والطقس رديئاً (بشرط ألا يوصل مولد كهربائي بمحور المحرك) كأساس لاستثمار المحرك عند الخدمة (المنحني 2)، أما منحني الرفاص الخفيف 6 فهو صالحٌ للسفن الحديثة ومكافئٌ لمنحني تصميم الرفاص وعمله؛ لذلك يعدّ منحني الرفاص الخفيف LR (لبدن نظيف وطقس هادئ) ممثلاً لدوران الرفاص الخفيف وتتم مقارنته بمنحني الرفاص الثقيل من خلال عامل الدوران الخفيف للرفاص f_{LR}، الذي يُمثل (عند استطاعة محددة) النسبة المئوية لزيادة سرعة الدوران مقارنة بسرعة الدوران الثقيل، أي:

$$f_{LR} = \frac{n_{light} - n_{heavy}}{n_{heavy}} \times 100\%$$

7)احتياطي المحرك (النقطة MP) :

يوجد إلى جانب "احتياطي البحر" ما يُطلَق عليه "**احتياطي المحرك**"، وهو عبارة عن زيادة في استطاعة المحرك تتراوح بين 10 و 15% تُضاف إلى استطاعته لمراعاة ظروف التشغيل الصعبة. النقطة الناتجة هي MP على الشكل 2؛ أي أن استطاعة النقطة SP على الشكل (2) أخفض من استطاعة النقطة MP بـ 10 إلى 15%، وبالتالي فإن استطاعة النقطة SP تعادل 85 إلى% 90 من استطاعة النقطة MP .

8)نقطة العمل المتواصل بالاستطاعة القصوى MCR أو M :

هي النقطة القصوى التي يُطلَب من المحرك أن يكون قادراً على العمل عندها سواءٌ في الترسانة أم عند مالك المحرك، وهي تنطبق على النقطة MP بشرط ألا يكون هناك مولد كهربائي موصول بمحور المحرك الرئيس. وإلاّ يجب مراعاة الاستطاعة الإضافية اللازمة لمولد الكهرباء [4].

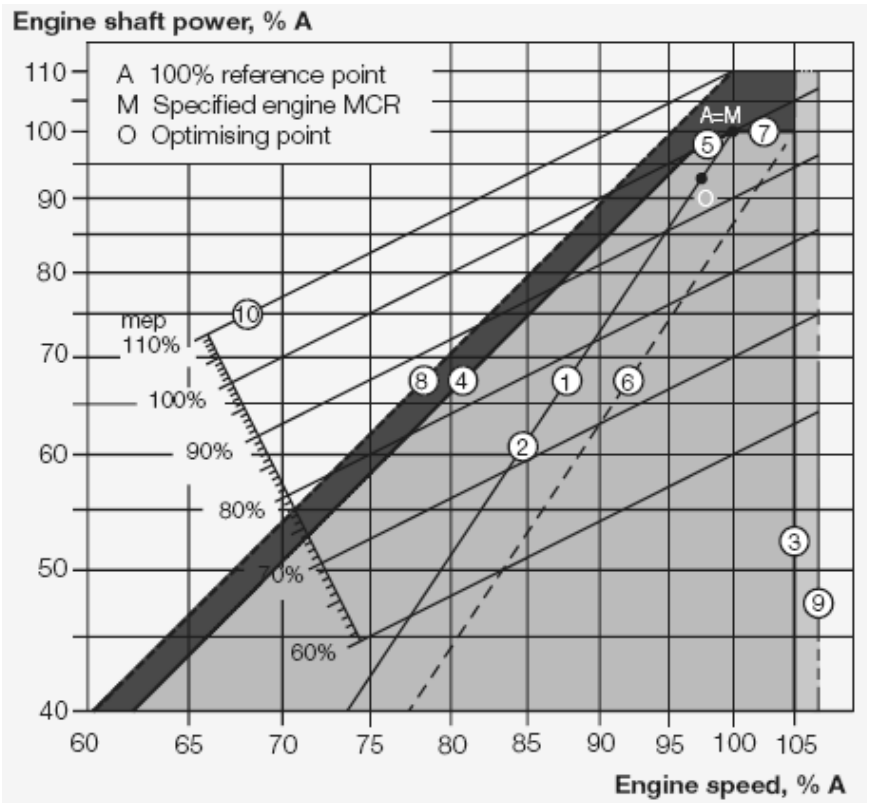
ملاحظة: إن مصطلحات الدوران الخفيف والثقيل واتساخ البدن واحتياطي البحر متداخلة؛ إذ يرتبط الدوران الثقيل أو الخفيف للرفاص بتردي حالة سطح كلٍّ من بدن السفينة ورفاصها إضافةً إلى تأثير الطقس السيئ ومراعاة احتياطي البحر، أي الاستطاعة الإضافية للرفاص لمراعاة الرياح والبحر.

انطلاقاً من خبرات الخدمة فقد اتضح أن تصميم الرفاص بشرط أنْ يكون دورانه خفيفاً بنسبة 3 إلى 7% هو الحل المناسب، وأن درجة الخفة يجب أن تتحدّد بناءً على الخبرات وعلى تصميم البدن، ولكن نسبة 5% تعدّ اختياراً مناسباً.

ثانياً: مخطط عمل المحرك :

يتحدد مخطط عمل المحرك من خلال خطين ثابتين للضغط المتوسط الفعلي (mep) هما (L_1-L_3 و L_2-L_4) وخطين آخرين لسرعة المحرك الثابتة هما (L_1-L_2 و L_3-L_4) كما هو مبين في الشكل (2). تمثل النقطة L_1 السرعة الاسمية القصوى التي يُمكن أن يعمل عندها المحرك بشكل متواصل.

يُمكن اختيار MCR (النقطة M) ضمن مجال عمل المحرك بكل حرية، وكذلك الأمر بالنسبة إلى النقطة O المبينة على الشكل (3) التي تعدّ مثلى للسفينة ولشروط التشغيل *Optimizing point*.



الخط 1 منحي الرفاص الذي تقع عليه النقطة المثلى O
الخط 2 منحني الرفاص الثقيل – البدن متسخ والبحر هائج
الخط 3 حدود السرعة
الخط 4 حدود العزم/ السرعة
الخط 5 حدود الضغط المتوسط الفعلي
الخط 6 منحني الرفاص الخفيف– بدن نظيف وبحر هادئ
الخط 7 حدود الاستطاعة عند العمل المتواصل
الخط 8 حدود التحميل الإضافي
الخط 9 حدود السرعة
الخط 10 خطوط الضغط المتوسط الفعلي mep

الشكل (3) مخطط عمل المحرك

عادةً يكون الاستهلاك النوعي الأدنى للوقود من أجل نقطة مختارة O عند 70% من استطاعة المحرك إذا كان منظمه إلكترونياً ، وعند 80% من استطاعته إذا كان المنظم ميكانيكياً.

بناءً على الدفع المطلوب وشروط عمل المحرك يمكن رسم المجال المهم لعمل المحرك الرئيس. النقطة المميزة لحمولة MCR التي تختصر بـ M يجب أن تكون ضمن حدود مخطط المحرك، وإلا فإنه يجب تغيير سرعة الرفاص أو اختيار محرك رئيس آخر. ومع ذلك فهناك حالات خاصة؛ إذ توجد النقطة M على يمين الخط L_1-L_2 (كما سنبين لاحقاً)، أما النقطة O فتكون دائماً داخل المجال المهم لعمل المحرك، ويتعلق تحديد موقعها بتوقيت المحرك ونسبة الانضغاط مع مراعاة ضغط تكنيس الشاحن العنفي.

ثالثاً: مخطط الحمولة :

1.تعاريف:

يحدِّد الشكل (3) أعلاه حدود السرعة والاستطاعة عند عمل المحرك بشكل متواصل وكذلك عند تحميله بشكلٍ زائد، مع العلم أن النقطتين O و M تتوافقان مع مواصفات السفينة.

تُمثل النقطة A الموقع الذي تبلغ عنده كلٌّ من السرعة والاستطاعة 100%، وتُعرَّف بأنها النقطة الواقعة على منحني الرفاص (الخط 1) و منحني المحرك الذي تقع عليه النقطة O الموافقة للاستطاعة MCR.

تنطبق النقطة M في الحالة العادية على A، ولكن في بعض الحالات الخاصة، مثلاً لدى وصل محور المولد الكهربائي بالمحرك، عندها يُمكن اختيار النقطة M على يمين النقطة A على الخط 7. ونقاط الخدمة للمحرك المركب تتضمن الاستطاعة اللازمة للمحرك من أجل دفع السفينة إضافة إلى الاستطاعة اللازمة لتدوير المولد إن وجد [5].

في أثناء اختبار المحرك يجب دائماً أن يتم التشغيل على المنحني 1 حيث تمثل A نقطة العمل المتواصل عند الحمولة 100%. إذا لزم استخدام رفاص ثابت الخطوة وبحيث يتم التشغيل عند سرعة ثابتة، فإن اختبار التسليم يجب أن يتم عند منحني سرعة الدوران الثابتة *constant speed test*.

2.حدود التشغيل المتواصل :

هذه الحدود تصنعها الخطوط الأربعة (3, 7,5,4) المبينة على الشكل (3) في الصفحة السابقة [7,6] وهي:

- **الخطان 3 و 9** يمثل الخط 3 السرعة القصوى المقبولة من أجل عمل متواصل، أي 105% من A، أو 105% من L_1. في أثناء شروط العمل في البحر فإنه يُسمَح برفع السرعة حتى 107% من A، انظر الخط 9 في الشكل (3).

يجوز عادةً توسيع هذه الحدود حتى 105% من L_1 (السرعة الاسمية للمحرك)، وفي أثناء العمل في البحر حتى 107% ، بشرط أن تكون اهتزازات الفتل الناتجة عنها ضمن الحدود المسموح بها.

السرعة الزائدة الناتجة ستكون 109% من السرعة عند A، و يجوز أن تصل إلى 109% من السرعة الاسمية عند L_1 بشرط أن تكون اهتزازات الفتل الناتجة ضمن الحدود المسموح بها. ولكن يجب تفادي العمل لفترة طويلة بحمولة منخفضة وعند سرعة للمحرك تفوق 100% من L_1 (السرعة الاسمية للمحرك)؛ لأن ذلك يؤدي إلى إجهاد المحرك.

- **الخط 4** يمثل الحدّ الذي يمكن عنده تأمين هواء خارجي لتحقيق الاحتراق، ويشير إلى حدود القيم القصوى التي يمكن تأمينها للعزم والسرعة معاً.

- **الخط 5** يمثل القيمة القصوى لـ mep المسموح بها عند العمل المتواصل.
- **الخط 7** يشير إلى الاستطاعة القصوى المسموح للمحرك بالعمل عندها بشكل متواصل.
- **الخط 10** يشمل خطوط mep ، مع الإشارة بأن الخط 5 يعادل القيمة 100% لخط mep. تعبّر خطوط mep عن كمية الوقود المستخدمة لدى عمل المحرك.

3.حدود تحميل المحرك بشكل زائد

هذه الحدود مبينة على الشكل (3)، والخط 8 يمثل أحد حدود التحميل الزائد لفترة محدودة، ولا يُسمح للمحرك أن يعمل في المساحة الواقعة بين الخطوط 8,7,5,4 لأكثر من ساعة خلال 12 ساعة.

4.المنظمات الإلكترونية وحدود الحمولة

لضمان عدم تعرض محرك الديزل للإجهاد الحراري والميكانيكي الزائدين فإن المنظمات الإلكترونية تتضمن ما يلي:

- **محدِّد العزم: *Torque limiter*** الغاية منه ضمان أن حدود الاستطاعة تقع دوماً تحت المراقبة. تقارن خوارزمية محدد العزم بين كمية الوقود المحقونة والسرعة الفعلية المقاسة للمحرك من جهة و منحنيات مرجعية تعطي الاستهلاك الأقصى المسموح به للوقود عند كل سرعة للمحرك، فإذا كانت كمية الوقود المحقونة أعلى من القيم المحددة لهذا المنحني، عندها يجري تخفيض كمية الوقود المحقونة بالشكل المناسب.
- **محدّد ضغط هواء التكنيس: *scavenge air pressure limiter*** الغاية منه ضمان عدم تقديم كمية من الوقود أكبر مما يلزم عند تسريع المحرك، كما هو الحال عند المناورة. تقارن خوارزمية هذا المحدد كمية الوقود و ضغط هواء التكنيس من جهة مع منحنٍ مرجعي يتضمن كمية الوقود القصوى المسموح بها المقابلة لضغط هواء التشحين، فإذا كانت كمية الوقود المحقونة أعلى فإنه يتم تخفيض الكمية المحقونة من الوقود. ويجب معايرة منحني المقارنة المرجعي لضمان استمرار توفر كمية الهواء اللازمة الاحتراق كامل.

5. ملاحظات واستنتاجات:

إن المجال المسموح للمحرك أن يعمل ضمنه من دون أية قيود محدد بالخطوط 7,5,4 و 3. عندما يكون الرفاص من النوع ذي الشفرات الثابتة ويكون الطقس هادئاً والسفينة محملة وذات بدن نظيف فإن المحرك والرفاص يُمكن أن يعملا وفق المنحني 6 للرفاص أو بقربه.

ولكن بعد عمل السفينة لفترة زمنية معينة فإن بدنها سوف يتسخ، الأمر الذي يؤدي إلى تثاقل عمل رفاصها، وانتقال المحرك للعمل من المنحني 6 إلى المنحني 2 وستلزم استطاعة إضافية لدفع السفينة عند السرعة نفسها.

عندما يكون الجو هادئاً فإن تثاقل الرفاص في العمل يشير إلى ضرورة تنظيف البدن وربما الرفاص أيضاً.

يُمكن العمل في المنطقة الواقعة بين الخطين 4 و 1 من دون قيود زمنية، عندما تكون المياه ضحلة ويكون الطقس سيئاً وعند التسريع؛ أي من أجل شروط للعمل غير مستقرة.

بما أنه يُنصح باستخدام قيمة مرتفعة لعامل خفة الدوران f_{LR} عند تصميم الرفاص، فيجب أن تكون سرعات الرفاص في المخطط أعلى بقليل. وهذا يعني انخفاضاً في مردود الرفاص، وقد يدفع هذا صانع الرفاص إلى الامتناع عن استخدام احتياطي كبير لدوران الرفاص. ولكن هذا الانخفاض في المردود (بسبب القيمة العالية لعامل خفة دوران الرفاص) غير مهم مقارنةً بتحسن أداء المحرك عند الإبحار في طقس سيئ أو برفاص متسخ.

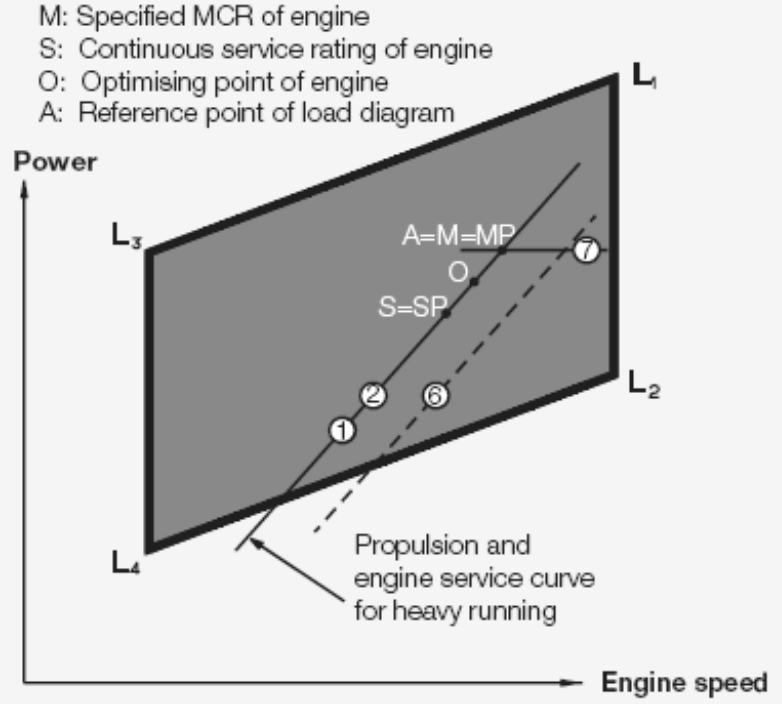
رابعاً: تصميم مخطط عمل المحرك لحالات نموذجية

سنعرض فيما يلي تصميم مخطط عمل المحرك في خمس حالات، أربع منها على رفاص ثابت الخطوة *fixed pitch propeller* (FPP) والحالة الخامسة على رفاص متغير الخطوة *controllable pitch propeller* (CPP). وسنوضح في هذا السياق الأثر الكبير لاختيار نقطة العمل المثلى O.

أ- عمل الرفاص ثابت الخطوة (FPP) :

الحالة 1: شروط عادية للعمل من دون مولد للكهرباء

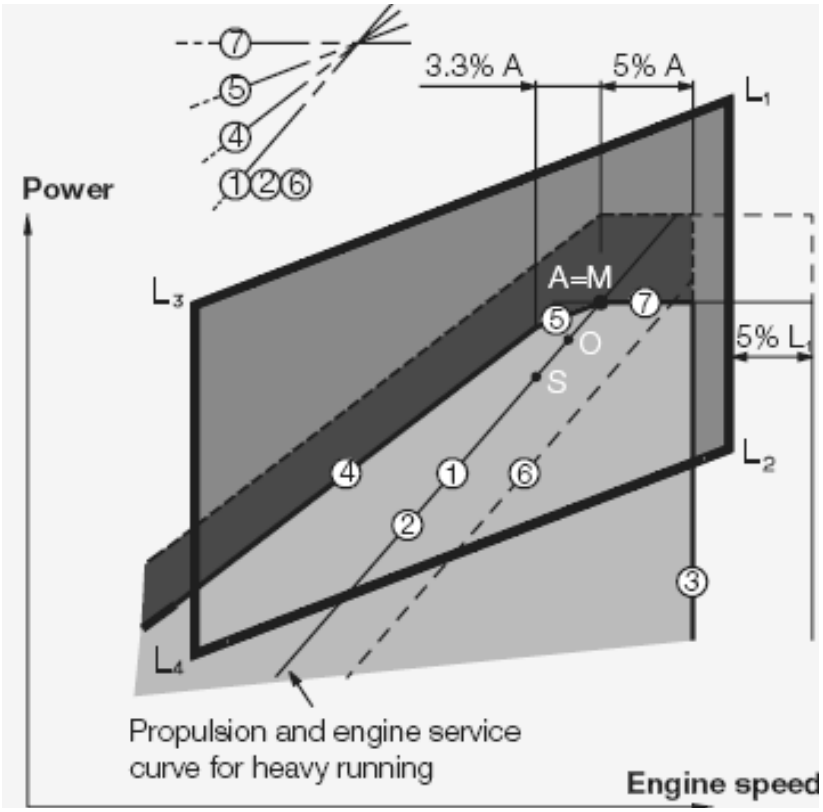
في العادة يجري اختيار النقطة O وبالتالي منحني عمل المحرك 1 بحيث تقع النقطة O على منحني خدمة المحرك 2 لدى العمل الثقيل، كما هو مبين على الشكل **(4)**.



الخط 1 منحني الرفاص المار عبر النقطة المثلى O
الخط 7 خط الاستطاعة الثابتة المار من MCR (M)
النقطة A نقطة تقاطع الخطين 7 و 1

الشكل (4) للحالة 1 : مجال عمل محرك موصول برفاص ثابت الخطوة من دون مولد كهربائي (في الحالة العادية)

في هذه الحالة سوف تنتج النقطة A عن تقاطع منحني الرفاص 1 (2) ومنحني الاستطاعة الثابتة المار من M؛ أي الخط 7، وهي ستنطبق على M. بعد تحديد A ضمن المخطط يُمكن رسم المخطط كما هو مبين في الشكل (5)، حيث إن الحدود الفعلية لتحميل محرك الديزل يُمكن إيجادها.



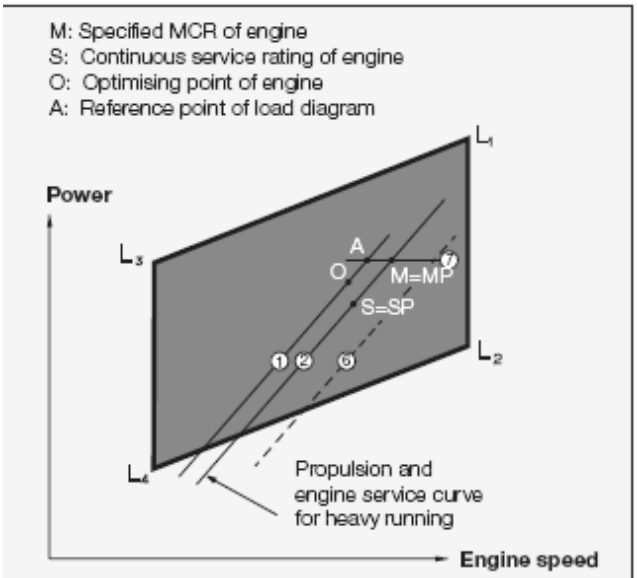
M النقطة المقابلة للحمولة MCR
S نقطة الخدمة المتواصلة للمحرك
O النقطة المثالية لخدمة المحرك
A نقطة الحمولة 100%

الشكل (5) للحالة (1): مخطط حمولة محرك متصل برفاص ثابت الخطوة من دون مولد كهربائي (في الحالة العادية)

الحالة 2: شروط خاصة للعمل من دون مولد للكهرباء

عندما تتسارع السفينة فإن الرفاص سيكون عرضةً لحمولات أكبر مما هي عليه الحال عند الإبحار العادي. ويحدث الشيء نفسه عند تعرض السفينة لمقاومة إضافية، كما هي الحال عند الإبحار بمواجهة رياح قوية وفي بحر ذي أمواج عالية. في كلتا الحالتين سوف تقع نقطة عمل المحرك على يسار منحني العمل العادي، وسيدور الرفاص بتثاقل.

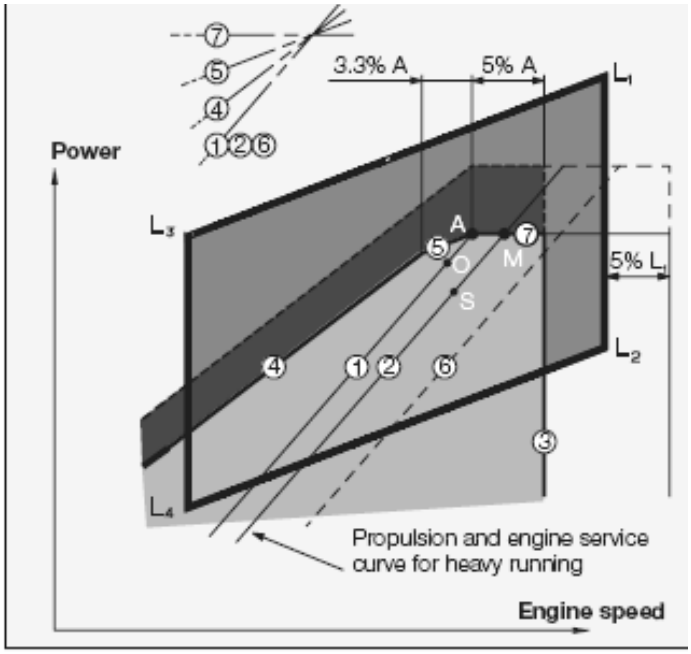
لتفادي الحدود الواقعة على يسار خط الحمولة 4 في المخطط (5) فإنه من الضروري في بعض الحالات تحديد مجالات التسارع و استطاعة الدفع. إذا كانت السفينة من النوع الذي يعمل كثيراً في ظروف تكثر فيها الرياح والأمواج القوية، فمن الأفضل إزاحة مخطط الحمولة نحو اليسار. ويمكن تنفيذ ذلك عبر تحريك النقطة O نحو اليسار وبالتالي إزاحة منحني الرفاص1 المار في O أيضاً نحو اليسار. لكن هذا سوف يؤدي إلى زيادة قليلة في استهلاك الوقود.



الخط 1 منحني الرفاص المار عبر النقطة المثلى O
الخط 7 خط الاستطاعة الثابتة المار من MCR (M)
النقطة A نقطة تقاطع الخطين 7 و 1

الشكل (6) للحالة 2 : مخطط عمل محرك متصل برفاص ثابت الخطوة من دون مولد كهربائي (في شروط عمل خاصة)

هذه الحالة مبينة في الشكلين (6) و (7). وبمقارنة هذين الشكلين بالشكلين 4 و 5 يُلاحظ انتقال الخط 4 باتجاه اليسار، مما يعطي احتياطياً أوسع بين الخطين 2 و4؛ أي أن عامل الدوران الخفيف المستخدم يُصبح في هذه الحالة أكبر.



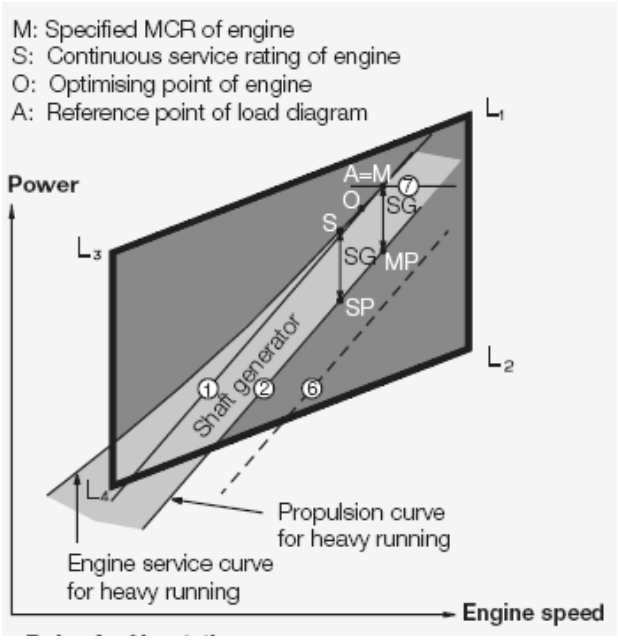
M النقطة المقابلة للحمولة MCR
S نقطة الخدمة المتواصلة للمحرك
O النقطة المثالية لخدمة المحرك
A نقطة الحمولة 100%

الشكل (7) للحالة 2: مخطط حمولة محرك متصل برفاص ثابت الخطوة من دون مولد كهربائي (في شروط عمل خاصة)

الحالة 3: شروط عادية للعمل مع مولد **للكهرباء :**

يجب في هذه الحالة زيادة الاستطاعة التي يقدمها المحرك بما يتلاءم مع الاستطاعة الإضافية المطلوبة للمولد

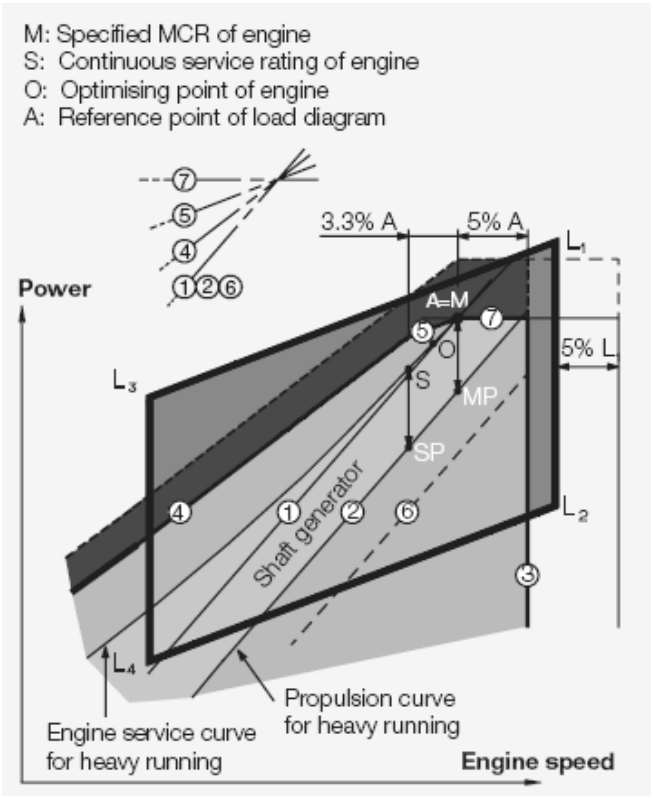
لتوليد الكهرباء. ويبين الشكل (8) منحني خدمة المحرك الثقيل المتوافق مع الاستطاعة الإضافية. النقطة O ومعها منحني المحرك 1 يجري اختيارهما بحيث ينطبقان في الحالة العادية على منحني الرفاص (منحني خدمة المحرك) ويمران من النقطة M.



الخط 1 منحني الرفاص المار عبر النقطة المثلى O
الخط 7 خط الاستطاعة الثابتة المار من MCR (M)
النقطة A نقطة تقاطع الخطين 7 و 1

الشكل (8) للحالة 3 : مخطط عمل محرك متصل برفاص ثابت الخطوة مع مولد كهربائي (في الحالة العادية)

تُحدَّد A عندها بالطريقة نفسها الواردة في الحالة 1، ويُصبح مخطط الحمولة كما هو مبين في الشكل (9).



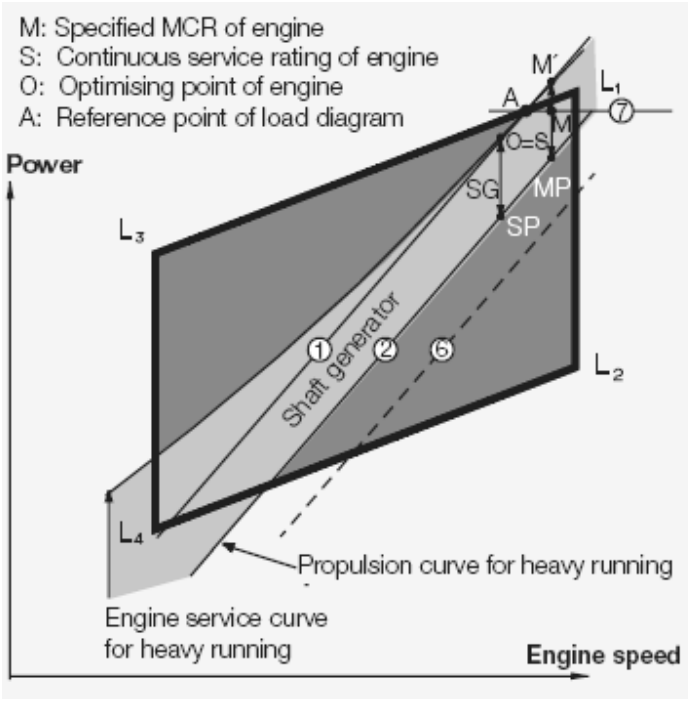
M النقطة المقابلة للحمولة MCR
S نقطة الخدمة المتواصلة للمحرك
O النقطة المثالية لخدمة المحرك
A نقطة الحمولة 100%

الشكل (9) للحالة 3: مخطط حمولة محرك متصل برفاص ثابت الخطوة مع مولد كهربائي (في الحالة العادية)

الحالة 4: شروط خاصة للعمل مع وصل مولد للكهرباء بمحور المحرك:

رغم وصل مولد كهربائي بالمحرك أحياناً، فإنه بخلاف الحالة 3، فإن نقطة MCR لدفع السفينة يتم اختيارها في قمة المجال كما في الشكل (10). وهذا يعني أن النقطة ´M المقابلة لـ MCR ستقع خارج مجال مخطط عمل المحرك. أحد الحلول هو اختيار محرك ديزل يتضمن عدداً إضافياً من الأسطوانات، ولكن الحل الأرخص هو تخفيض الاستطاعة الكهربائية لمحور المولد الكهربائي عند دفع السفينة في مجال الاستطاعات العليا.

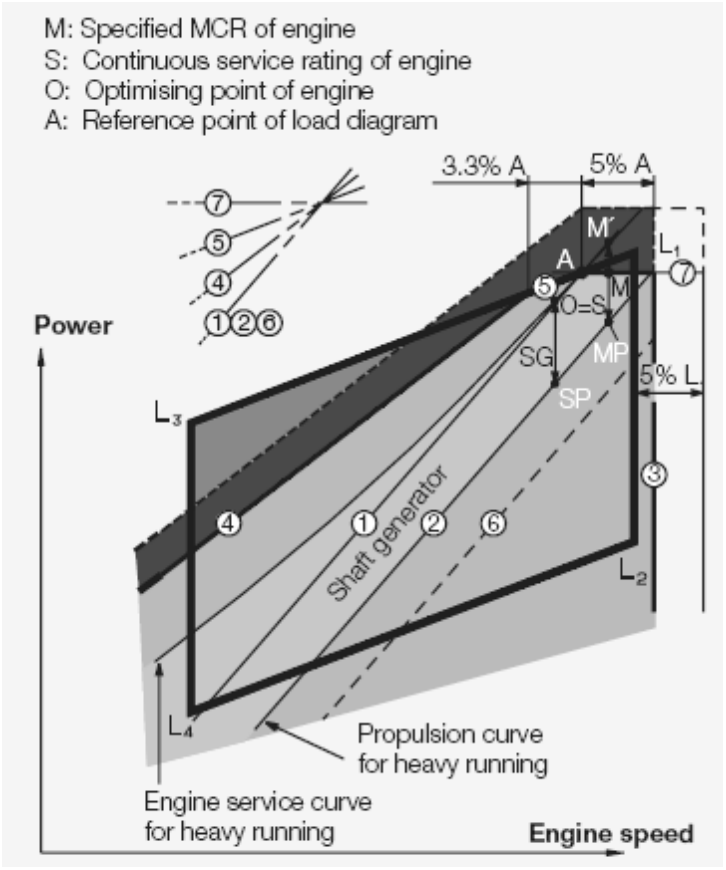
عند اللجوء إلى الحل الثاني فإنه يُمكن تخفيض الاستطاعة MCR من النقطة 'M إلى M كما في الشكل (10). ولذلك فإنه عند العمل في مجال الاستطاعات العليا يجب على المولد سحب كل الاستطاعة الكهربائية المحددة أو جزءٍ منها. ولكن ذلك نادراً ما يحدث؛ لأن السفن لا تفضّل العمل في القسم العلوي من مجال استطاعة الدفع. في هذه الحالة جرى اختيار النقطة المثلى O بحيث تنطبق على S (نقطة الخدمة المتواصلة)، ويمكن بالتالي إيجاد الخط 1.



الخط 1 منحني الرفاص المار عبر النقطة المثلى O
النقطة A تقاطع الخط 1 مع الخط L_1-L_3
النقطة M تقع على خط الاستطاعة الثابتة 7 المار بالنقطة A و عند سرعة النقطة MP

الشكل (10) للحالة 4: مجال عمل محرك متصل برفاص ثابت الخطوة مع مولد كهربائي (شروط عمل خاصة)

بما أن النقطة A تمتلك أقصى استطاعة ممكنة فمن الممكن تحديدها عبر تقاطع الخط L_1-L_3 مع الخط 1 كما في الشكل (10)، ويُصبح مخطط الحمولة كما هو مبين في الشكل (11). أما النقطة M فتتحدد على الخط 7 عند سرعة النقطة MP.



M النقطة المقابلة للحمولة MCR
S نقطة الخدمة المتواصلة للمحرك
O النقطة المثالية لخدمة المحرك
A نقطة الحمولة 100%

الشكل (11) للحالة 4: مخطط حمولة محرك متصل برفاص ثابت الخطوة مع مولد كهربائي (شروط عمل خاصة)

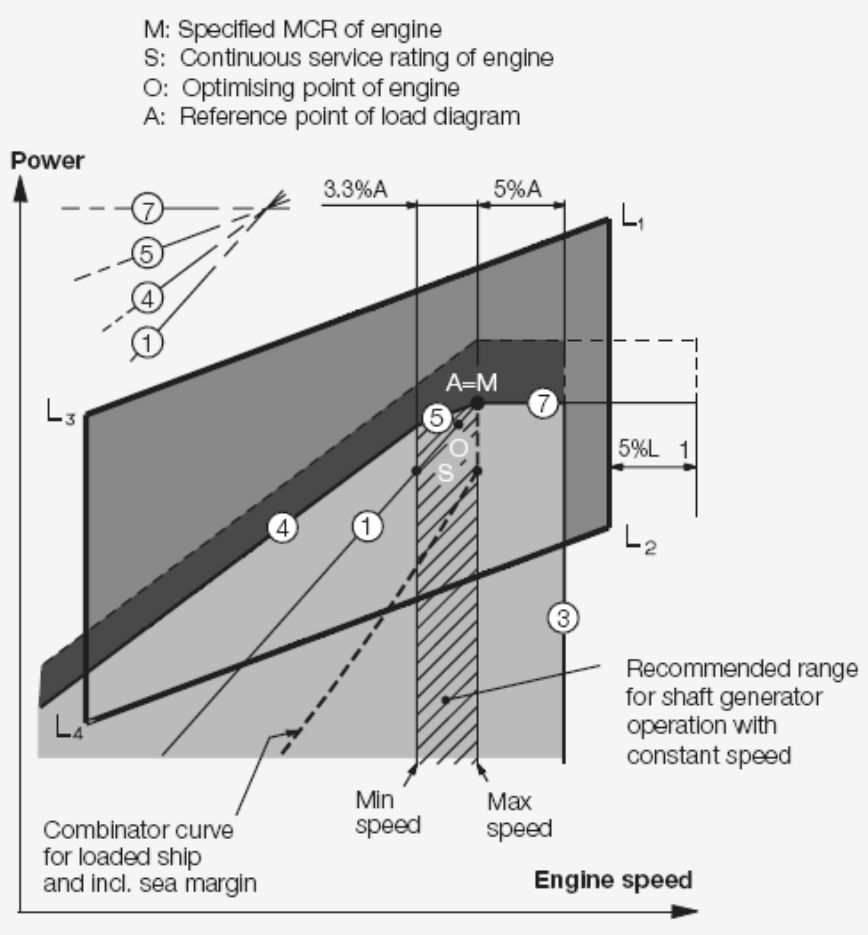
ب- عمل الرفاص متغير الخطوة (CPP) :

الحالة 5 مع مولد للكهرباء أو بدونه

1- مخطط حمولة المحرك بدون مولد:

عند تركيب رفاص متغير الخطوة يتم عادةً اختيار المنحني الموافق لمنحني الرفاص مع أنسب قيمة لمردود الرفاص وذلك من أجل السفينة وهي محملة مع مراعاة احتياطي البحر.

من أجل سرعة معينة للرفاص يُمكن أن يكون للمنحني الموافق خطوة محددة، مما يعني أن الرفاص يُصبح ثقيلاً في المياه الصعبة مثل الرفاص ذي الخطوة الثابتة؛ لذلك يُنصَح باستخدام المنحني الموافق للعمل الخفيف (المنحني المنقّط) كما في الشكل (12)، وذلك للحصول على احتياطي واسع لعمل محرك الديزل عندما يكون الطقس سيئاً للحمولات عند المنحنيين 4 و 5.



الشكل (12) للحالة 5: محرك برفاص متغير الخطوة مع مولد وبدونه

2- مخطط حمولة المحرك مع وجود مولد:

تبين المساحة المخططة على الشكل (12) مجال السرعة المرغوب فيه بين 100% و 96.7% من السرعة MCR من أجل محرك وصل به مولد يدور بسرعة ثابتة. أما نقطة الخدمة S فيُمكن أن تقع في أي موقع من المساحة المخططة.

والإجراء الذي ورد ذكره في الحالتين 3 و 4 للمحرك المتصل برفاص ثابت الخطوة يُمكن أيضاً تطبيقه على المحركات المتصلة برفاص متغير الخطوة يعمل على المنحني الموافق.

الاستنتاجات والتوصيات:

يبين هذا البحث الأهمية القصوى لعملية المواءمة بين مجالات المحرك الرئيس وظروف عمل السفينة، وضرورة الانطلاق من المنحنيات التشغيلية المفترضة للسفينة لدى تصميم مخططات الحمولة للمحركات حتى يمكن الحصول على نقطة العمل المثلى للدفع وتشغيل المحرك عندها.

كذلك تمت مناقشة مشكلة زيادة تحميل المحرك الرئيس عند شروط التشغيل الخاصة، وعُرضت طريقة معالجتها عبر إضافة احتياطيات مناسبة للاستطاعة أو تركيب منظم إلكتروني يضبط الحمولة.

وفي حالات وصل مولد كهربائي بمحور المحرك الرئيس من أجل تغذية السفينة بالطاقة الكهربائية فإن البحث يوضح مدى ازدياد تعقيد عملية تصميم مخطط عمل المحرك، ويشرح كيفية التوفيق بين متطلبات محطة دفع السفينة والمحرك الرئيس، ويُناقش أسس البحث عن الحل الأمثل.

المراجع:

1. KNAK, C. *Disel Motor Ships, Engines and Machinery*. Marine Management Ltd, London 1990, 137-152.

2. WOODYARD , D. *Pounder's Marine Engines*, seventh edition 2001, Butturworth Heinemann, England, 200 – 204.

3. MEIER-PETER, H. *Handbuch Schiffsbetriebstechnik*. 1.Auflage, Seehafen Verlag, Germany, 2006, 157-165.

4. MOECK, E., STRICKERT, H. , BERGMANN, J. *Schiffsmaschinenbetrieb,*
5. Auflage, Verlag Technik Gmbh Berlin, Germany, 1990, 90 - 96 .

5.NEUMEISTER, O., ERBLING, H.G. *Betrieb von Schiffsmotorenanlagen*.
Germany, 1989. 14-33. , 2. Auflage, Verlag Technik Berlin

6. http/www.Marinediesels_co_uk.

7. http/www.wärtsilä , Ship Power System.