مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

التشحين العنفي في محركات الديزل البحرية الكبيرة ثنائية الأشواط

الدكتور بسام حمود*

(تاريخ الإيداع 21 / 3 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/5/19)

□ الملخّص □

يعد تطوير جمل التشحين أحد أهم شروط تحسين أداء محركات الديزل البحرية ثنائية الأشواط التي تكون عادةً ذات حجوم كبيرة وتقوم بدفع معظم السفن التجارية في العالم.

يتناول هذا البحث التقانات المستخدمة في الوقت الحاضر لتطوير محركات السفن من خلال التشحين ويركز على نسبة انضغاط الشاحن ومردوده باعتبارهما البارامترين الأساسيين في تحسين أداء محركات الديزل البحرية ثنائية الأشواط ورفع مردودها.

ولمراعاة المتطلبات المستقبلية من جهة التشحين فإن البحث يعرض التقانات التي هي قيد الدراسة في مراكز التطوير والبحث مثل التحكم بزاوية دخول الغازات إلى العنفة الغازية، والتشحين ثنائي المراحل، وتدوير غازات الاحتراق، وأجهزة التشحين باستخدام مصدر مساعد للقدرة.

الكلمات المفتاحية: محركات الديزل البحرية، التشحين.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (2) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (2) 2008

Turbo Charging of Large Two-Stroke Marine Diesel Engines

Dr. Bassam Hammoud *

(Received 21 / 3 / 2008. Accepted 19 / 5 / 2008)

□ ABSTRACT □

Turbo-charging is very important for further performance development of large two-stroke diesel Engines which power the majority of ships. This paper deals with the state of current technology in terms of turbochargers and their interaction with these large engines. Pressure ratio and turbocharger efficiency are the key parameters for further development of large two-stroke engine performance. This paper also looks forward to future requirements of turbo-charging systems and comments on concepts such as variable turbine geometry, two-stage turbo-charging, internal exhaust gas recirculation, and turbochargers with auxiliary drives that have been proposed or are being developed for future application.

Keywords: Marine diesel engines – Turbocharging.

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

مقدمة:

تُستخدَم لدفع السفن بشكل خاص محركات الديزل ثنائية الأشواط، وهذه المحركات هي المهيمنة الآن في التجارة البحرية العالمية. أما محركات الديزل الكبيرة رباعية الأشواط فيقتصر استخدامها على السفن الصغيرة أو السفن ذات المتطلبات الخاصة كالسفن الجوالة cruisers والعبّارات ferries وسفن الدحرجة RoRo . العنفات البخارية ما تزال تُستَخدم على نطاق واسع في ناقلات الغاز الطبيعي المسيّل LNG ، أما العنفات الغازية فقد تقلص دورها على السفن التجارية خلال السنوات الخمسين الأخيرة.

بُدئ بتشحين محركات الديزل رباعية الشوط في الثلاثينيات، ولم ينتشر تشحين المحركات ثنائية الشوط إلاّ في منتصف الخمسينيات [1]. مردّ هذه الفاصل الزمني البالغ عشرين عاماً بين تشحين محركات الديزل رباعية وثنائية الشوط هو الفارق التصميمي بين المحركين، حيث تتم عملية تبادل الغاز في المحرك الرباعي من خلال صمامات الملء والتصريف مع وجود تقاطع زمني صغير بين فترة عمليهما. لذلك كان مردود شاحنات الهواء المبكرة مناسباً لتزويد الكميات الضرورية من هواء الشحنة للمحركات رباعية الشوط فقط.

أما عمليات سحب الهواء وضغطه والاحتراق والتمدد والتصريف في المحركات ثنائية الشوط فيجب أن تنجز كلها خلال دورة واحدة لعمود المرفق. وبدلاً من طرد غازات الاحتراق عبر دفع المكبس – كما هو الحال في المحركات رباعية الشوط – فإن تنظيف الأسطوانة من نواتج الاحتراق في المحركات ثنائية الشوط يتحقق من خلال هواء التكنيس الجديد scavenging air خلال فترة تقاطع عمل فتحات الامتصاص والتصريف، ولذلك يلزم للتكنيس الجيد توفر فرق واضح في الضغط بين هواء التكنيس ومجاري تصريف الغازات ليتأمن التدفق الضروري للهواء عبر الأسطوانة. عموماً تتطلب المحركات ثنائية الشوط – مقارنةً بالرباعية – مردوداً أعلى للشاحن بحيث يمكن تأمين كميات الهواء الأعلى للتكنيس، مما يجعل الطاقة التي تحملها غازات الاحتراق لتدوير العنفة الغازية في المحركات ثنائية الشوط أقل من الرباعية. لذلك استغرق إدخال التشحين إلى المحركات ثنائية الشوط فترة أطول ريثما أمكن تطوير شاحنات ذات مردود كافٍ. يضاف إلى ذلك الجهد الذي بُذل لتوفير التقانات اللازمة للمواءمة بين المحرك والشاحن.

أهمية البحث وأهدافه:

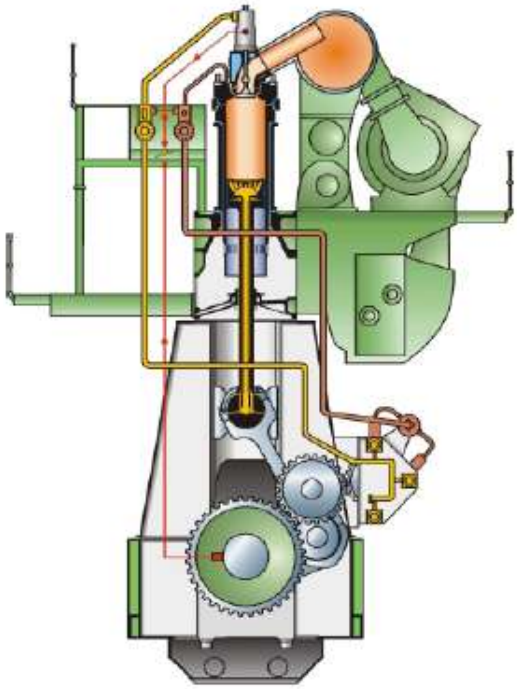
يستعرض هذا البحث العوامل الأساسية التي يجب مراعاتها لدى تصميم جمل التشحين في محركات الديزل البحرية، ويركز على تشحين محركات الديزل البحرية ثنائية الشوط، مبيناً المتطلبات الأساسية للتشحين العنفي وتأثير ذلك على أداء المحركات. كما يتطرق إلى مشكلة تصميمية واستثمارية مهمة تهدد المحركات المشحنة وهي نباح أو جيشان الشاحن surging، فيوضح أسبابها ويعرض الأساليب التصميمية والاستثمارية المختلفة لتجنبها.

طريقة البحث ومواده:

يعتمد البحث طريقة التحليل العلمي لما ورد في أحدث المراجع عن تصاميم جمل التشحين للمحركات ثنائية الشوط، ويركز على التوجهات المستقبلية لتطوير التشحين العنفي من أجل تلبية الارتفاع الكبير الذي يتواصل في استطاعة المحركات البحرية ، ويوضح كيفية مراعاة المتطلبات البيئية التي تزداد صرامتها مع الوقت.

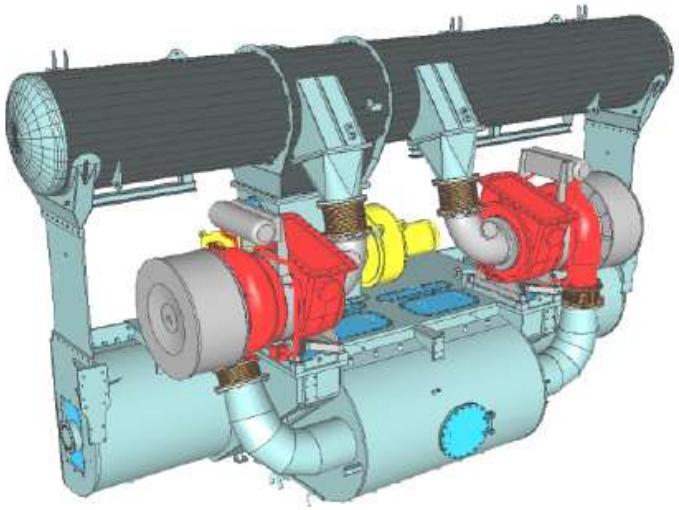
جمل تشحين محركات الديزل ثنائية الشوط:

حدث في العقود الأخيرة تطور مهم في أداء المحركات وتخفيض استهلاكها للوقود. تجدر الإشارة إلى أن جمل تشحين المحركات ثنائية الشوط أصبح لها تصميم وشكل قياسي كما هو مبين في الشكل (1) فإن جميع المحركات الحديثة ذات كسح مستقيم، أي أن الهواء يدخل من فتحات موزعة على محيط الجزء السفلي من الأسطوانة بينما يتم تصريف غازات الاحتراق عبر صمام مركب وسط قمة الأسطوانة.



الشكل (1) مقطع في محرك ديزل ثنائي الشوط حديث

وكما هو مبين في الشكل (2) فإنه في الأعلى يوجد مجمع تصريف الغازات وفي الأسفل مجرى هواء التكنيس. وثمة شاحنان يرسلان الهواء إلى مبرِّد واحد وفاصل لقطرات الماء.



الشكل (2) جملة التشحين لمحركات الديزل البحرية الحديثة

تعمل الشاحنات العنفية بطريقة الضغط الثابت ويصل ضغط هواء الكسح فيها إلى 3.9 bar [2] . يتراوح عدد الشاحنات بين 1 و 4 وجميعها تكون في الأعلى خلف مجمع تصريف غازات الاحتراق، بقصد تأمين موقع جيد لمبرد هواء الكسح مع وحدة فصل الماء المتصلة به الموجودة تحت الشاحن العنفي في موقع قريب من حيز هواء التكنيس في الجزء السفلي للمكبس. وعندما تكون المحركات أصغر فإنه لا يوجد إلا شاحن واحد، في هذه الحالة يركب الشاحن ومبرد الهواء على جانب المحرك.

لدى عمل المحرك عند حمولات تقل عن 30% ولتأمين مقدارٍ كافٍ من هواء التشحين، فإنه يُلجَأ إلى تشغيل مراوح هواء blowers تتلقى طاقتها من منبع كهربائي منفصل عن المحرك. وهذا ضروري لأنه عندما تكون حمولة المحرك وسرعته منخفضةً فإن الشاحن العنفي لا يستطيع تأمين تدفق الهواء اللازم للمحركات ثنائية الشوط. يبين الجدول (1) مقارنة بين جمل تشحين الحركات رباعية وثنائية الشوط، وهو يوضح تشابه البارامترات المميزة لهما باستثناء ارتفاع تدفق الهواء اللازم للمحركات ثنائية الشوط وارتفاع مردود الشاحن العنفي المرافق لذلك. الفارق الأكبر هو في الحجوم الكبيرة لشاحنات المحركات ثنائية الشوط حتى تتمكن من تأمين التدفقات العالية للهواء. على سبيل المثال يستخدم محرك سولتزر 12RTA96C ذو الاستطاعة الاسمية (MCR) 68640 kW ثلاثة شواحن من النوع TPL85-B التي تنتجها شركة ABB ، ويزن كل منها 10.5 طن. يبلغ مجموع الاستطاعات اللازمة لهذه الشاحنات 24675 kW أي ما يزيد على ثلث استطاعة المحرك. ويبلغ تدفق الهواء الذي تقدمه الشاحنات عند الاستطاعة الكاملة 132 m^3/sec.

الجدول (1) مقارنة جمل التشحين العنفي

نوع المحرك	ثنائي الشوط	رباعي الشوط
التشحين	بثبوت الضغط	مجرى واحد لغازات الاحتراق
عدد الشواحن	1 – 4	1 – 2
نسبة الانضغاط	حتى 4	حتى 4.5
المردود الأدنى لجملة الشاحن [%]	68	66
الاستهلاك النوعي للهواء [kg/kWh]	حتى 8	حتى 7
موقع تثبيت الشاحن العنفي	على جانب المحرك أو نهايته	على نهاية المحرك
وزن الشاحن العنفي [بالطن]	حتى 14.5	حتى 4

أكبر الشاحنات العنفية هو النوع TPL91-B الذي تنتجه شركة ABB، حيث يبلغ تدفق الهواء 132 m^3/sec عند الحمولة 10450 kW ، ويبلغ وزن الشاحن 14.5 طناً.

إن الشاحنات العنفية المستخدمة لتشغيل المحركات ثنائية الشوط التي تنتجها الشركات المختلفة متشابهة في الوقت الحاضر، فهي جميعها تتضمن ضاغطاً محورياً أو نابذياً يدير عنفة غازية أحادية المرحلة. تصنع الضواغط التي تصل نسبة انضغاطها إلى 4.0 من الألومنيوم ويكون غلاف مخرج غازات الاحتراق مستطيل الشكل لتأمين مردود عالٍ. ويستخدم جزء صغير من الهواء المضغوط لمنع دخول الغازات إلى غلاف المحامل.

تزود محامل الشاحن بزيت التزليق من المحرك، ولكن لكل شاحن عنفي خزان زيت خاص به من أجل الطوارئ يستخدم عندما تفشل عملية إيصال الزيت من المحرك ، حيث ينبغي ضمان استمرار التزييت حتى إذا مالت السفينة

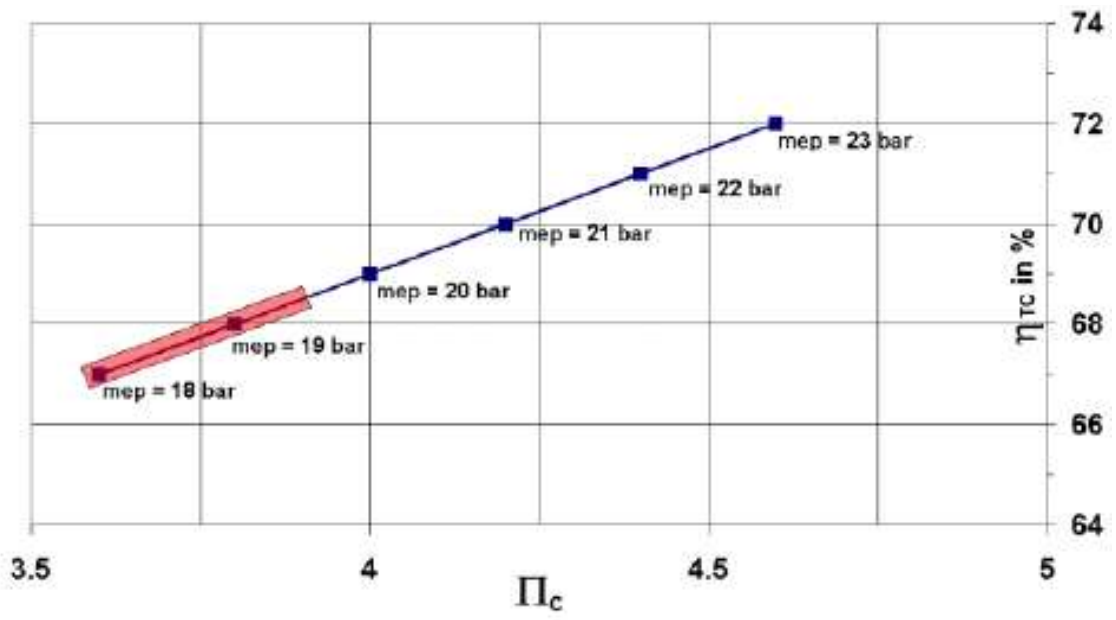
بمقدار 22 درجة، الأمر الذي يمكن أن يحدث في الأحوال الجوية السيئة. وتتلقى مضخات الزيت القدرة اللازمة من منبع كهربائي (مستقل عن المحرك).

المتطلبات الأساسية للشاحنات العنفية وتأثيرها على أداء المحرك:

للاختيار المناسب للشاحن العنفي تأثير كبير على أداء المحرك يتجلي فيما يلي:

1. استهلاك أمثل للوقود بسبب نظافة الأسطوانة الناتج عن التكنيس الجيد
2. انخفاض إصدار أكاسيد النيتروجين عبر ضبط ضغط هواء التكنيس بدقة
3. انخفاض إصدار الدخان عند الحمولات الجزئية بسبب ارتفاع عامل فائض الهواء
4. انخفاض درجة حرارة صمامات التصريف عند جميع الحمولات وإطالة عمرها.

أهم عوامل تقييم الشاحنات العنفية مستقبلاً هي المردود الإجمالي ونسبة الانضغاط. يبين الشكل (3) منحى تطور الضغط الوسطي الفعلي (mep) بالنسبة لهذين المقدارين (π و η_{TC}).



الشكل (3) منحى تغير الضغط المتوسط الفعلي mep بالنسبة إلى المردود الإجمالي للشاحن η_{TC} ونسبة الانضغاط π

يتضح من الشكل (3) بأن قيم mep في الوقت الحاضر تصل إلى 19.5 bar عند مردود إجمالي للشاحن العنفي قدره 68% ونسبة انضغاط تصل إلى 3.95. إذا توجب رفع قيمة mep إلى 21 bar فيجب أن يصل مردود الشاحن إلى 70% وأن تصبح نسبة الانضغاط 4.2.

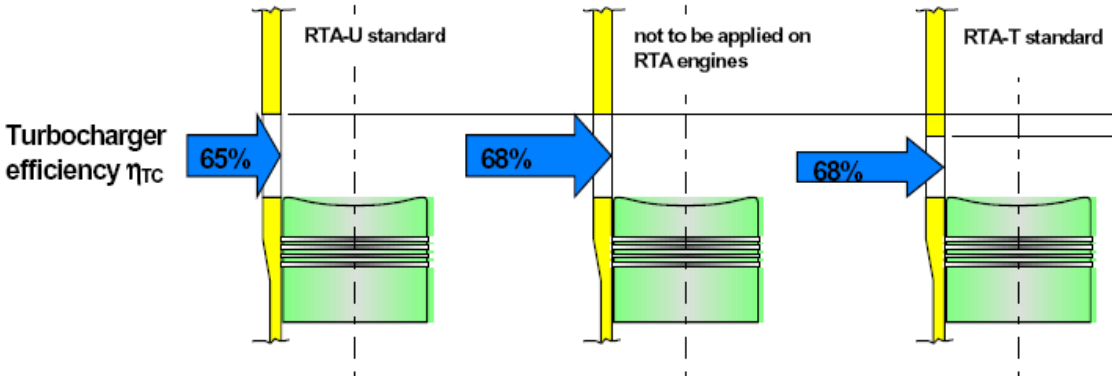
سبب ارتباط أداء الشاحن بالضغط الوسطي الفعلي mep للمحرك هو أن ارتفاع الضغط المتوسط الفعلي يتطلب نسبة انضغاط أعلى للمحافظة على معامل فائض الهواء ثابتاً. بنفس الوقت يجب رفع مردود الشاحن للمحافظة على تدفق الهواء ونظافة الأسطوانة عند نفس الحدود.

لسرعة دوران الشاحن العنفي في المحركات رباعية الشوط أهمية خاصة، نظراً لضرورة تأمين نسب انضغاط أعلى، أما في المحركات ثنائية الشوط فليست السرعة أحد المقادير الحدية المهمة.

1) طريقة تخفيض ارتفاع فتحات امتصاص الهواء

تعدّ هذه الطريقة التي أدخلت في عام 1997 أحد أهم أساليب المواءمة بين المحرك والشاحن العنفي [2]، حيث تمت الاستفادة من مزية توفر شاحنات عنفية ذات مردود أعلى يبلغ 68% مقارنة بسابقتها ذات المردود65%.

بما أن تدفق الهواء اللازم لتكنيس الأسطوانات يمكن تأمينه باستخدام طاقة أقل لغازات الاحتراق، فإن من الممكن تخفيض ارتفاع فتحات امتصاص الهواء كما هو مبين في الشكل (4) وتأخير فتح صمام إفلات الغازات، مما يسمح بإطالة شوط عمل التمدد وتخفيض استهلاك الوقود (انظر الجدول 2).



الشكل (4) مخطط يبين توضع فتحات تصريف غازات الاحتراق في التصاميم السابقة والحديثة

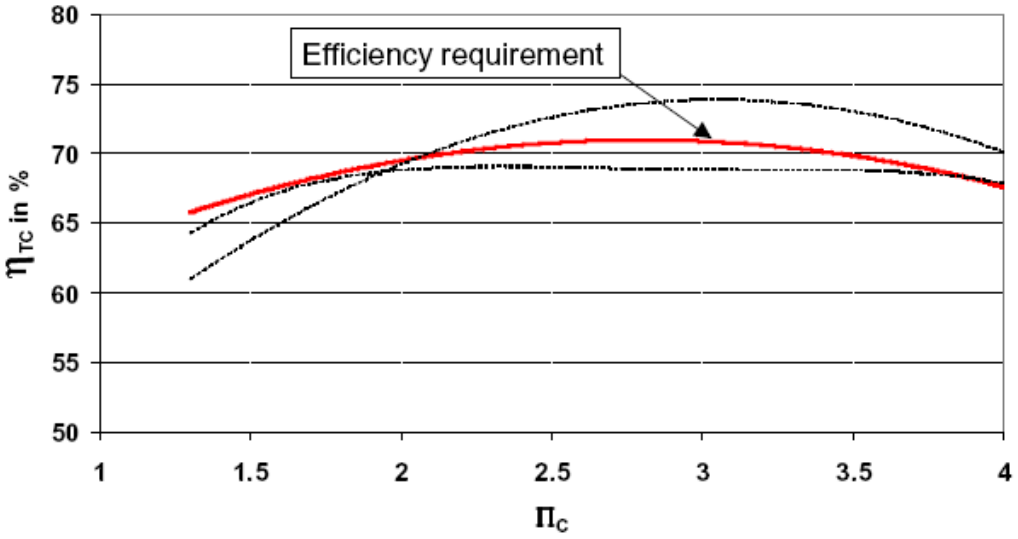
أحد الاعتبارات المهمة كان تحقيق ما ذكر بدون ارتفاع درجة حرارة أجزاء المحرك، مع تأمين عدم حدوث انخفاض شديد لدرجة حرارة الغازات واستمرار إمكانية الاستفادة من طاقتها في الموفر بقصد التسخين.

الجدول (2) البارامترات الأساسية لطريقة تخفيض ارتفاع فتحات امتصاص الهواء

نوع الشاحن	أساسي	عالي المردود	عالي المردود
المردود الإجمالي للشاحن %	65	68	68
فتحات الامتصاص	عادية	عادية	قليلة الارتفاع
زاوية فتح صمام الإفلات بعد TDC	119	119	122
زاوية انكشاف فتحات الامتصاص بعد TDC	142	142	145
درجة حرارة غازات الاحتراق °C	275	250	270
الاستهلاك النوعي للوقود g/kWh	173	172	170
تغير درجة حرارة صمام الإفلات °C	عادي	6 −	± 0
تدفق غازات الاحتراقkg/kWh	8.2	9.0	8.3

2) المواءمة بين الشاحن والمحرك

لدى تصميم المحرك يتم التركيز على مواصفات الشاحن العنفي من خلال حساب بارامترات معينة مثل ضغط ضغط هواء التكنيس ومردود الشاحن عند الحمولة الكاملة والجزئية (انظر الشكل 5)، ويتم السعي عادةً لضمان توفر احتياطي أمان يبلغ 15% يمنع حدوث نباح الشاحن .



الشكل (5) المردود اللازم لشاحن محركات الديزل الكبيرة ثنائية الشوط تبعاً لحمولة المحرك معبراً عنها بنسبة انضغاط الشاحن

تتم في مراكز اختبار المحرك معايرة ضغط هواء التكنيس لضمان المواءمة بين المتطلبات مثل مردود الشاحن العنفي وشكل منحني المردود وحدود التسامح. وإذا لزم الأمر يُلجأ إلى تبديل حلقة فوهة العنفة.

كما يختبر استقرار المحرك إذا حدث نباح في الشاحن، عبر واحدة من الطرق التالية:

- رفع الضغط المقابل عند الحمولة الكاملة للمحرك
- قطع الوقود عن واحدة من أسطوانات المحرك القريبة من الشاحن عند عمل المحرك بالحمولة الجزئية
- التخفيض المفاجئ للحمولة بمقدار 25% عن الحمولة الكاملة.

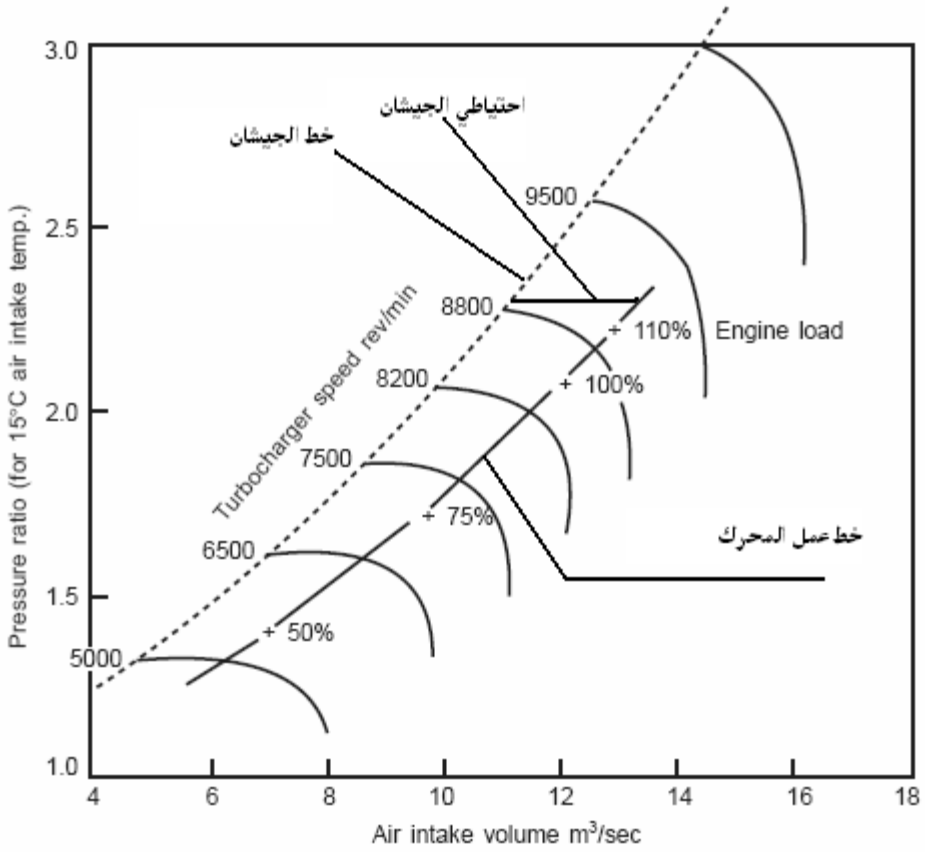
3) نباح الشاحن العنفي (الجيشان) surging

نباح الشاحن العنفي ظاهرة معروفة يمكن أن تحدث إذا اقتربت ظروف تشغيل المحرك من خط النباح surge line المبين على الشكل (6).

الأسباب المحتملة لهذه الظاهرة هي:

- التهوية غير الكافية لحجرة الآلات على السفينة
- انسداد مجرى الدخول إلى مخمد الشاحن العنفي و الضاغط و مبرد هواء التكنيس و شبكة حماية مدخل العنفة و حلقة فوهة العنفة ومخمد الموفر وتراكم الترسبات على شفرات العنفة الغازية
- تعطل صمامات هواء التكنيس
- تعطل أو تآكل في صمامات الحقن
- ارتفاع معدل التزويد بزيت التزليق

- تآكل مكونات الشاحن، مثل حلقة الفوهة وشفرات العنفة... إلخ.



الشكل (6) مثال على مخطط ضاغط، يبين مجال عمل المحرك واحتياطي النباح (الجيشان) surging

ويتضح من هذا العرض بأن أنجع وسيلة للوقاية من النباح هي الصيانة الجيدة للمحرك والاهتمام بنظافة الشاحن العنفي. يؤدي اتساخ دولاب الناشر وحلقة فوهة العنفة وشفراتها إلى تردي الأداء للشاحن، الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة غازات الاحتراق وأجزاء المحرك وإلى زيادة استهلاك الوقود، وفي بعض الحالات الحدية يؤدي إلى حدوث النباح. الأوساخ المتجمعة على الضاغط تأتي عادة من الجو المحيط إضافةً إلى رذاذ الزيت القادم من حجرة الآلات. أما في العنفة فإن مصدر الترسبات هو المركبات غير المحترقة من الوقود الثقيل heavy fuel ، وفائض زيت تزليق الأسطوانات. الحل هو التنظيف المنتظم للشاحن العنفي في فترات محددة. ويجرى هذا عادةً لدى عمل المحرك عند سرعة منخفضة. يلزم التنظيف الجاف للعنفة كل 24 حتى 28 ساعة عمل باستخدام وسيط حبيبي. أما التنظيف الرطب للعنفة فيلجأ إليه كل 48 حتى 500 ساعة عمل باستخدام الماء وحده، والتنظيف الرطب للضاغط يُجرى كل 25 حتى 100 ساعة عمل.

التوجهات المستقبلية:

يعكس منحى تطور التشحين للمحركات البحرية الكبيرة ثنائية الشوط طبيعة العلاقة بين المحرك وشاحنه. يمكن تحديد بعض التوجهات المهمة للمحرك التي يجب أن يراعيها مصممو الشاحنات العنفية أيضاً مثل:

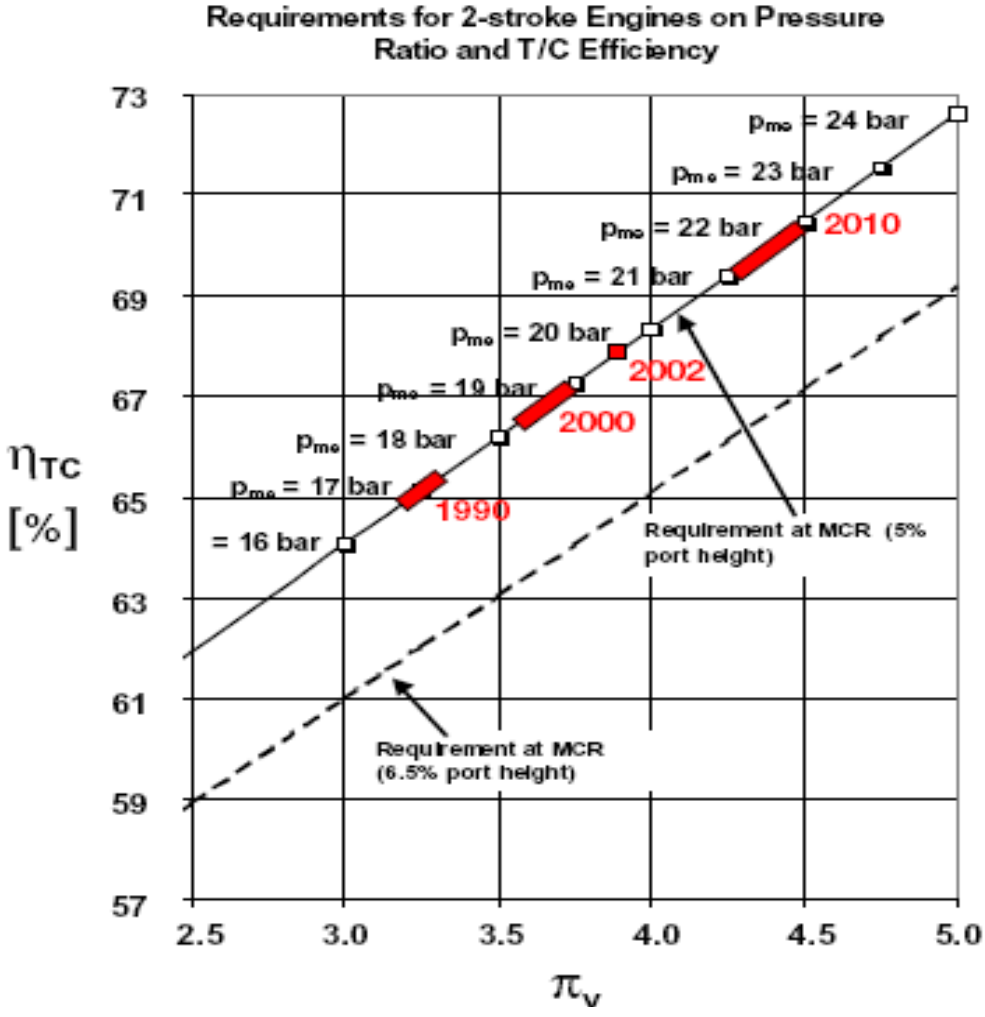
- رفع الاستطاعة النوعية لتخفيض الوزن اللازم لإنتاج الكيلو واط ورفع مردود المحرك

- تخفيض الإصدارات الضارة مع غازات الاحتراق
- تحسين وثوقية المحرك reliability وإطالة الفترة الفاصلة بين الصيانات وتخفيض تكاليف الإنتاج.

لتحقيق هذه الأهداف ينبغي أن يتم تطوير الشاحنات العنفية في مجال:

- رفع ضغط التشحين
- رفع مردود الشاحن العنفي
- تخفيض أبعاد الشاحن وكلفته.

يبين الشكل (7) منحى تغير بارامترات الشاحنات العنفية، ويتضح منه بأن قيمة mep في عام 1990 كانت 17 bar وفي عام 2000 أصبحت 19 bar، ويجري التخطيط للوصول إلى 22 bar في عام 2010.



الشكل (7) التطورات المستقبلية للمحركات الكبيرة ثنائية الشوط

سوف تؤدي إلى زيادة متطلبات المردود الإجمالي للشاحن و نسبة انضغاطه

يتطلب رفع قيم mep زيادة متطلبات المردود الإجمالي للشاحن و نسبة انضغاطه لأنه يجب المحافظة على شروط حدية معينة، حيث يتوجب أن تظل درجة حرارة مكونات المحرك بجوار حجرة الاحتراق ضمن الحدود السائدة حالياً لأن ذلك أمر حاسم في وثوقية المحرك.

بخصوص البيئة يجب أن يظل معدل الدخان عند الحمولة الجزئية للمحرك كما هو ولا يزيد. كذلك يجب أن يظل معدل استهلاك الوقود كما هو بلا زيادة. لهذا أثر بيئي ولكنه مهم اقتصادياً لمستخدم المحرك ومالك السفينة. لذلك يوجد توجه شديد لتخفيض استهلاك الوقود [4].

سنعرض فيما يلي أهم الطرق المستخدمة لتطوير التشحين وجعله مناسباً مع متطلبات المحركات المستقبلية.

1) تمرير الهواء عبر مجارٍ جانبية

يستخدم هذا الأسلوب عادةً لتحسين أداء جمل التشحين العنفي عند الحمولات الجزئية. ولكن محركات الديزل الكبيرة ثنائية الشوط لا تحتاج لأجهزة من هذا القبيل بسبب طبيعة نظام عملها. لدى دفع السفينة تعمل هذه المحركات بشكل رئيسي عند 85% من الاستطاعة القصوى المتواصلة للمحرك CMCR، ولا يوجد تغير كبير في حمولة المحرك أثناء رحلة السفينة الطويلة في المحيطات. على أية حال لا تلزم نافخات الهواء المساعدة إلا عندما تقل حمولة المحرك عن 30 بالمائة.

2) تصميم شفرات توجيه الغازات إلى العنفة بحيث تكون قابلة للتعديل

هذه الطريقة مناسبة لتحسين أداء الشاحن عند الحمولات الجزئية، وفي هذه الحالة توجد أجهزة توجيه ميكانيكية لتغيير زاوية الدخول إلى شفرات العنفة. في الوقت الحاضر لاتزال هذه الطريقة غير عملية في حال إحراق الوقود الثقيل (heavy fuel) بسبب خطر اتساخ الشفرات بالبقايا غير المحترقة من الوقود وزيت تزليق الأسطوانات، وقد تتراكم الأوساخ بمرور الوقت بعد عمل المحرك لفترة طويلة في المحيطات. بما أن معظم السفن تستخدم الوقود الثقيل فإن هذا الأسلوب لا يزال غير عملي للمحركات البحرية ثنائية الشوط.

ولكن مقدار الاتساخ هذا يمكن تخفيضه إذا تم تطوير جمل تزليق للأسطوانات تستطيع تقليل كميات الزيت المقدمة للتزليق. ثمة عيب آخر لهذه الطريقة هو الحاجة إلى آلية إضافية لأداء وظيفة التوجيه، الأمر الذي يرفع كلفة الشاحن العنفي. وفي المحرك ثنائي الشوط فإن الجملة ستصبح أعقد بسبب الحاجة لتأمين وسيلة لمعايرة الضغط، قد تكون بوابةً متغيرة لتجنب نباح الضاغط لدى تغيير زاوية شفرات التوجيه.

3) التشحين ثنائي المراحل

هي طريقة شاع استخدامها في الماضي عندما تصل الشاحنات العنفية المتوفرة إلى الحدود القصوى في المردود ونسبة الانضغاط. يمكن رفع مردود الشاحن عبر إجراء الانضغاط على مرحلتين إذ إن التبريد الوسطي بين مرحلتي الانضغاط يمكّن من تخفيض العمل المستهلك على مرحلة الانضغاط الثانية. لهذه الطريقة مزية البقاء ضمن حدود تحمل المواد المعروفة وجعل حقول التشغيل للضواغط والعنفات واسعة. ولكن في الوقت الحاضر ما يزال للمردود عند الانضغاط على مرحلتين عند الحمولات المنخفضة قيمة أدنى من الانضغاط بمرحلة واحدة. والعيب الرئيسي للتشحين على مرحلتين هو تعقيد تصميم مجاري الهواء والغازات وكبر الحيز اللازم لذلك، وهذا أمر مقيد في السفن.

جدير بالإشارة أن تأمين الحجم المطلوب حتى للشاحنات أحادية المرحلة المنتشرة في الوقت الحاضر حرج أحياناً. كذلك يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن التشحين ثنائي المراحل يمكن أن يقلل الحرارة المفيدة التي يمكن استرجاعها من غازات الاحتراق والاستفادة منها على متن السفينة، بسبب انخفاض درجة حرارة الهواء بفعل مبردات الهواء الوسيطة.

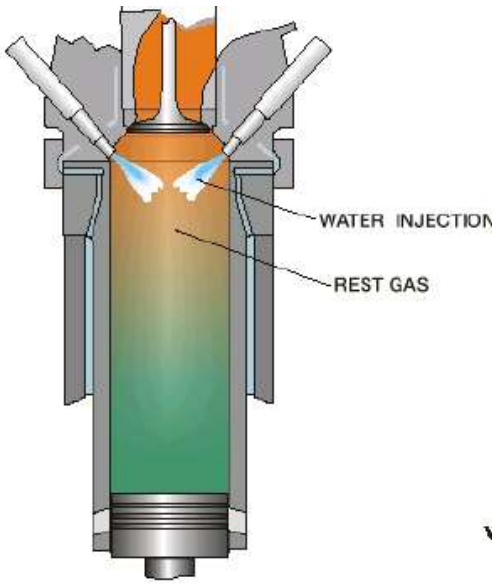
لذلك يستحسن في الوقت الحاضر اللجوء إلى التشحين أحادي المرحلة، وقد أمكن الوصول في الفترة الأخيرة إلى نسبة انضغاط في شاحنات المحركات ثنائية الشوط تبلغ 4.5 متجاوزين القيمة المألوفة 4.0.

4) طريقة تبريد الغازات المتبقية في الأسطوانة بواسطة الماء Wa Co ReG

من التوجهات الأخرى للتأثير على عملية التشحين العنفي ثمة تدوير غازات الاحتراق وإعادتها إلى الأسطوانة exhaust gas recirculation (EGR). هذه الطريقة ملائمة للمحركات الصغيرة رباعية الشوط كوسيلة مهمة للتخفيض الإضافي لانطلاق NO_x . حيث يتحقق انخفاض معدل نشوء أكاسيد النيتروجين من خلال تخفيض كمية الأوكسجين المتوفرة في أسطوانة المحرك ورفع الحرارة النوعية للغاز في الأسطوانة.

كذلك يمكن استخدام هذه الطريقة في المحركات ثنائية الشوط ويكون تطبيقها أنسب. فبينما يتطلب تدوير غازات احتراق المحركات رباعية الشوط نقلها عبر مجارٍ خارجية ومبردات، فإنه يمكن الوصول إلى نفس الأثر في المحركات ثنائية الشوط عبر تعديل عملية التكنيس بحيث ينخفض نقاء الغازات في الأسطوانة في بداية شوط الانضغاط، واستخدام وسائل مناسبة تبقي درجات حرارة أجزاء الأسطوانة منخفضة خلال هذه الفترة.

يمكن تحقيق التدوير الداخلي لغازات الاحتراق عبر تخفيض ارتفاع فوهات الكسح (انظر الشكل 4 السابق)، الأمر الذي يؤدي إلى تدفق الهواء المتجه إلى الأسطوانة. يؤدي تخفيض فتحات التكنيس كذلك إلى رفع معدل التمدد في الأسطوانة وتخفيض معدل استهلاك الوقود.



الشكل (8) مبدأ طريقة Wa Co ReG التي تعتمد على الحقن المباشر للماء و استبقاء الغازات المتبقية في الأسطوانة

رغم عدم الحاجة إلى تجهيزات إضافية من أجل تدوير غازات الاحتراق في المحركات ثنائية الشوط، ولكن التدوير الداخلي للغازات يحتاج لجملة حقن مباشر للماء في الأسطوانة Direct Water Injection System (DWI) من أجل تخفيض درجة حرارة الغاز التي ترتفع مع انخفاض تدفق الهواء. وبهذا نضمن وجود وسائل تسمح ضبط درجات حرارة مكونات الأسطوانة. قامت شركة Wärtsilä الدانماركية بجمع كل من طريقتي EGR و DWI في طريقة أطلق عليها اسم Wa Co ReG كما هو مبين في الشكل (8).

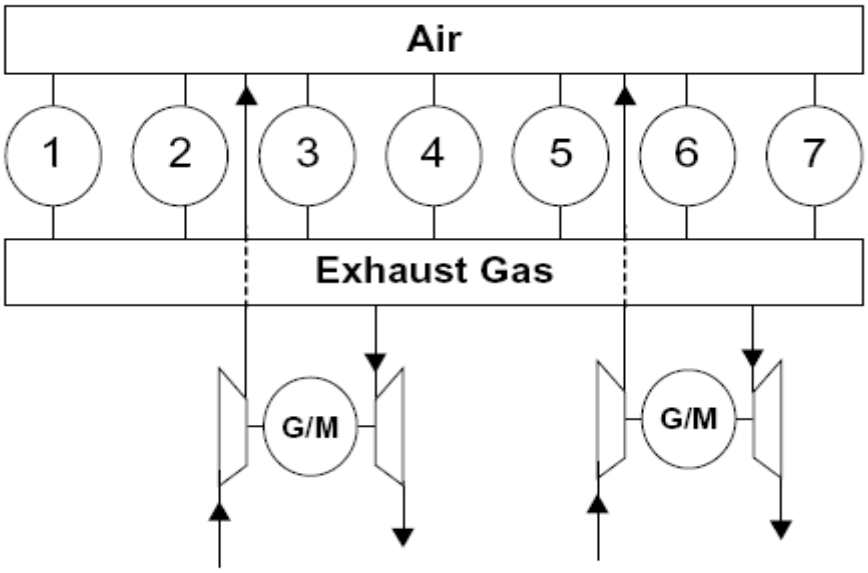
لُجئ إلى تطوير طريقة DWI كتقانة أخرى لتخفيض إصدارات NOx. ولكن حقن الماء خلال شوط الانضغاط في طريقة Wa Co ReG يكون أكبر من طريقة DWI لوحدها لتخفيض درجة الحرارة وإبقاء الحمولات الحرارية معادلةً للحمولات عند العمل بدون تدوير داخلي للغازات.

من المتوقع أن تخفض الطريقة المزدوجة Wa Co ReG إصدار NOx بنسبة سبعين بالمائة مقارنة بالمعدلات الحالية لإصدارات المحركات، مما يتيح تطبيق متطلبات معاهدة ماربول MARPOL 73/78، الملحق الخامس.

ثمة مزية إضافية لطريقة Wa Co ReG إذا طبقت على المحركات التي يجري ضبط توقيت صمامات الخروج فيها إلكترونياً (كما هو الحال في محركات Sulzer RT-flex السويسرية)، حيث ستكون عملية معايرة تدوير الغازات أبسط.

5) تشغيل الشاحنات باستخدام مصدر خارجي للطاقة عند الحمولات الجزئية

من الطرق التي أثبتت فعاليتها في تحسين أداء الشاحنات العنفية اللجوء إلى استخدام مصدر خارجي للطاقة لتدوير الشاحن عند الحمولات الجزئية للمحرك. يضاف لكل شاحن وحدة محرك/مولد تتصل بالمحور الدوار كما هو مبين في الشكل (9). لدى عمل المحرك بحمولات تفوق قدرة الشاحن على تقديم هواء التكنيس، عندها يُمكن تغذية الشاحن بالقدرة من المحرك الكهربائي الاحتياطي الموصول بالشاحن، والحصول على تدفق الهواء اللازم لتكنيس محرك الديزل.

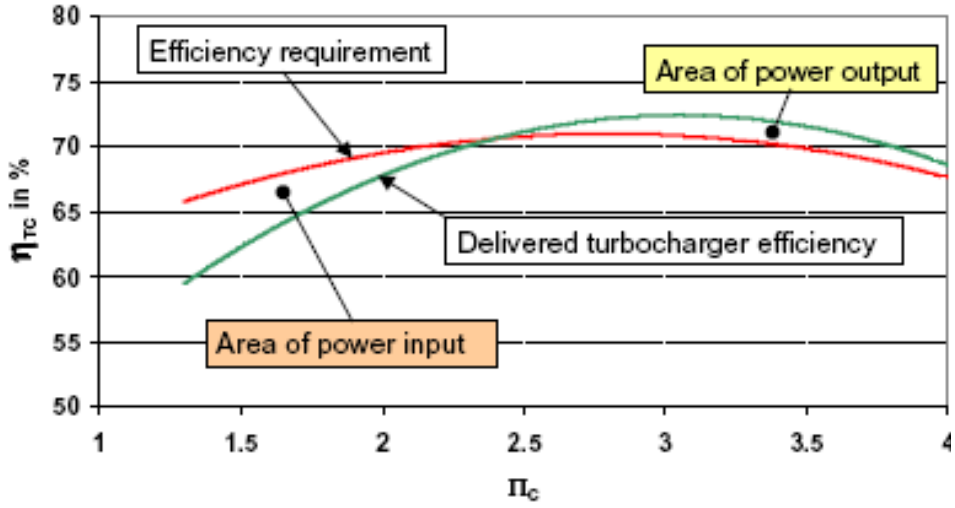


الشكل (9) مخطط توضع وحدة المولدة / المحرك في كل شاحن

وعند الحمولات الأعلى وحينما تصبح طاقة غازات الاحتراق أعلى من اللازم لتزويد المحرك بهواء التكنيس، فإن الطاقة الفائضة يستفاد منها في وحدة (المحرك/المولد) لتوليد الكهرباء كما هو مبين في الشكل (10).

وهكذا فإن الشاحنات التوربينية وفق هذه الطريقة ستتمكن من مواجهة متطلبات المحركات الكبيرة ثنائية الشوط عند الحمولات الصغيرة والاستفادة من فائض الطاقة لتوليد الكهرباء عند الحمولات الكبيرة.

المنحنيات المبينة في الشكل (10) تمثل علاقة مردود الشاحن العنفي عند الحمولات المختلفة بنسبة انضغاط الضاغط.



الشكل (10) تكيف الشاحنات التوربينية الموصولة بوحدة (محرك/مولد) مع كافة الحمولات

من الواضح أن لهذه الطريقة بعض المزايا، ولكن ذلك على حساب زيادة كلفة الشاحن العنفي وجملة تنظيم وحدات (المحرك/المولد).

هذا التصميم سيجعل تصميم المحرك أبسط عبر التخلي عن نافخات الهواء المساعدة والصمامات الهزازة لهواء التكنيس. كذلك ستنخفض الإجهادات الحرارية لصمامات التصريف عند الحمولات المنخفضة. وسيتحسن تسريع الشاحنات العنفية وبالتالي الاحتراق في المحرك عند الشروط الانتقالية للحمولة الجزئية. وثمة بعض الكسب في الطاقة الكهربائية الفائضة التي ستتوفر في مناطق الحمولة الكاملة للمحرك.

الاستنتاجات والتوصيات:

التشحين العنفي لمحركات الديزل البحرية الكبيرة ثنائية الشوط أحد الجوانب الأساسية في تطوير المحركات، حيث أن مواصلة رفع نسبة الانضغاط ومردود الشاحن مطلوبان سواء عند الحمولة الكاملة أو الجزئية للمحرك من أجل التكيف مع منحى تطوير أداء المحركات.

لقد اتضح من العرض بأن التشحين أحادي المرحلة سيظل الأسلوب المهيمن للمحركات الكبيرة ثنائية الشوط خلال الأعوام العشرة القادمة، وبأن مواجهة التحديات المستقبلية المتمثلة في تخفيض الإصدارات الضارة من المحرك ورفع المردود وتبسيط التصميم مع زيادة الموثوقية ممكنة بواسطة الأساليب الحديثة المعروضة في بحثنا مثل طريقة تبريد الغازات المتبقية في الأسطوانة بواسطة الماء (طريقة Wa Co ReG) و تشغيل الشاحنات باستخدام مصدر خارجي للطاقة عند الحمولات الجزئية.

المراجع:

1. ZINNER, *K. Aufladung von Verbrennungsmotoren* , Springer verlag 1985, 5 -12.

2. WOODYARD , D. *Pounder's Marine Engines,* seventh edition 2001, Butturworth Heinemann, England, 121 - 140

3. WEISER,G. *Wide choice in fuel consumption for Sulzer engines*. Marine News 3- Wärtsilä Corporation, Switzerland , 2004, 1-13.

4. MEIER-PETER, H. *Handbuch Schiffsbetriebstechnik*. 1.Auflage, Seehafen Verlag, Germany, 2006, 84-100.