مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

طريقة تحديد الحالة الحدّية المعبّرة عن إمكانية وصلاحية استمرار محركات الاحتراق الداخلي بالعمل ضمن الشروط الطبيعية

د. محمد صقر ديوب*

(تاريخ الإيداع 4 / 10 / 2018. قُبِل للنشر في 5/ 11 / 2018)

□ ملخّص □

تركز البحث على إيجاد طريقة تخطيطية تعتمد على قياس ومراقبة المؤشرات الأساسية لمحركات الاحتراق الداخلي العاملة بالانضغاط (محركات الديزل) من أجل تحديد الحالة الحدية لعمل المحركات، والتي تحدد الزمن المتوقع لكي يتم إرسال المحرك لإجراء صيانة شاملة له، أو لبعض أجزائه الأساسية.

تمّ أيضاً تحديد نسبة الاهتراء الحاصلة لأحد عناصر المحرك الأساسية، ولقد تمّ اختيار قطر الاسطوانة والاهتراء الذي يصيبها بهدف تحديد العمر الزمني للمحرك، وتحديد اللحظة الواجب إرسال المحرك فيها للصيانة الشاملة.

من خلال مراقبة عدد كبير من المحركات التي وضعت في الإصلاح في المنطقة الصناعية بمدينة اللاذقية والتي عددها 30 محرك، من مختلف أنواع محركات الديزل والبنزين، وذات الاستطاعات المختلفة، لوحظ أن حوالي 15% من هذه المحركات لم يتم استغلال واستثمار كامل مدة العمل المصممة لأجلها، وأن حوالي 20% منها قد توقفت عن العمل بعد فترة ليست طويلة بسبب الاهتراء الشديد الذي أصاب أجزاء وقطع وميكانيزمات هذه المحركات مما أدى إلى تلفها وعدم استطاعتها القيام بعملها بشكل نظامي. وقد ساهم ذلك في زيادة استهلاك الوقود ومواد التزييت مما سيسبب لاحقاً ضرراً للاقتصاد الوطني.

لقد أثبتت الطريقة التخطيطية المقترحة لتحديد الحالة الحدية للمحرك عند مقارنة النتائج التخطيطية مع نتائج الاختبارات العملية للمحركات فعاليتها ودقتها وبنسبة خطأ لم يتجاوز 6% مما يسمح بتطبيقها واعتمادها كطريقة فعالة لتحديد العمر الزمني الفعلي للمحرك ومقارنته مع العمر الزمني لاستثمار المحرك المنوه عنه في كتالوكات الشركة الصانعة وذلك عند ظروف تشغيل طبيعية ونظامية للمحرك.

الكلمات المفتاحية: – الصيانة الوقائية –الصيانة التصحيحية (العلاجية المخططة) – محرك احتراق داخلي – الاستطاعة الحقيقية – مصروف الوقود الفعلي – الحالة الحدّية.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (6) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (6) 2018

The method of determining the critical case expressing the possibility and validity of the continuation of the Internal combustion engines operating under normal conditions

Dr. Mohammad Saker Dayoub*

(Received 4 / 10 / 2018. Accepted 5 / 11 / 2018)

□ ABSTRACT □

The research focuses on finding planning methods based on measuring and monitoring the basic indicators of internal combustion engines (Diesel engines) in order to determine the critical case of the engines, which determines the expected time for the engine or for some of its basic parts to be sent for comprehensive maintenance.

The wear ratio of one of the basic components of the engine was also determined, we also chose the diameter of the cylinder and the corrosion that happens to it in order to determine the engine's lifetime and determine the moment when the engine should be sent for comprehensive maintenance.

By observing a large number of engines put in repair in the industrial area in Lattakia, which are 30 engines of different types of diesel and gasoline, and with different capacities, it was noticed that about 15% of these engines were not exploited and invested the entire work period designed for them. Also it was noticed that 20% of them have stopped working because of the severe corrosion of parts, components and mechanics of these engines, which led to their damage and their inability to do their work on a regular basis. This has contributed to increased consumption of fuel and Lubricating materials, which causes damage to the national economy.

The proposed planning method for determining the critical case of the engine when comparing the schematic results with the practical results of the engines has proved its efficiency and accuracy with an error rate of no more than 6% This allows it to be applied and adopted as an effective way to determine the actual lifetime of the engine and compare it with the life time of investing the engine mentioned in the manufacturer's catalogs when operating the engine under normal conditions.

Key words: Preventive maintenance, Corrective maintenance (planned treatment), internal combustion engine, True Power, actual fuel expense, critical case.

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

مقدمة:

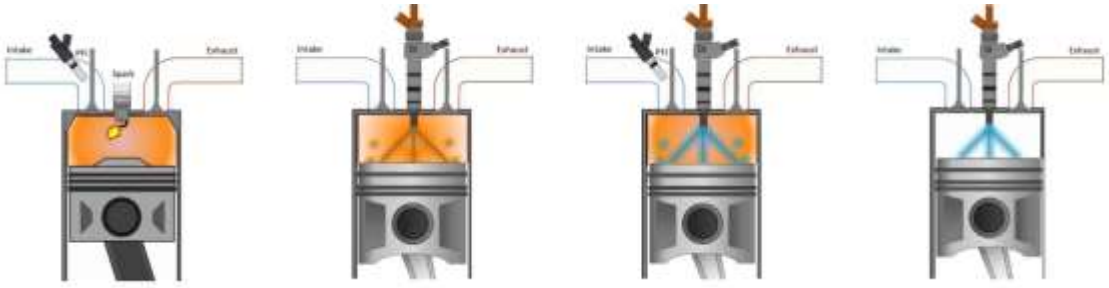
الصيانة التنبؤية **Predictive Maintenance:** هي تقنيات تساعد على التنبوء بحدوث الأعطال وتحديد متى يجب أن يتمّ تنفيذ الصيانة. وهي أحد أساليب إدارة الصيانة الحديثة والتي بدأ تطبيقها في الدول الصناعية المتقدمة في نهايات السبعينات وبدايات الثمانينات من القرن العشرين. وتعتبر تطوراً لأساليب الصيانة التقليدية. تعتمد الصيانة التنبؤية على مبدأ مراقبة الحالة للآلة من أجل التنبوء بتوقيت ونوع العطل قبل حدوثه مما يترتّب عليه توفير اقتصادي، وذلك أكثر من أيّ نوع من أنواع الصيانة الأخرى كالصيانة الدورية أو الوقائية، لأن الصيانات تتمّ فقط عند الحاجة "قبل حدوث العطل" بالإضافة أنّها تكون مخططة. وتعتمد على أخذ معلومات وبيانات عن حالة كل عنصر وجزء من أجزاء الآلة وتخزينها ضمن جداول مخططة مريحة لجدولة عمليات الصيانة. إنّ نجاح أية شركة يعتمد على استمرارية وسلامة العملية الإنتاجية للآلات العاملة، والطريقة التي تتمّ بها عملية الصيانة التي تحدد كم من الوقت ستستمر الآلات في العمل بحالة سليمة ومنتجة.

يؤدي التآكل إلى انهيار المنشآت الصناعية بفعل تفاعل المعادن مع هواء الوسط المحيط، ويؤدي ذلك إلى توقف خطوط الإنتاج عن العمل **[1]**. لذلك فإنّ من المفيد أن يكون هناك سهولة في أعمال الصيانة، وأن يكون هناك يسر في إمكانية الوصول للقطع والأجزاء بسهولة. ويوضّح الشكل (1) اسطوانات محركات الاحتراق الداخلي ومكابسها المعرّضة لأعمال الصيانة أكثر من غيرها من أجزاء المحرك.

وتعدّ بحوث العمليات Operations Research أسلوب من الأساليب الرياضية التي تتصف بالقوة، والمستخدمة لحل المشاكل الادارية ويمكن تطبيقها في إدارة الصيانة، والهدف من تطبيق هذا الأسلوب تقدير كلفة دورة الصيانة الوقائية وإعطاء فرصة للمدير لتحديد أحد الخيارات المتاحة لتطوير سياسة الصيانة **[2]**.

يتحول أسلوب إدارة نظم الصيانة من موقف معالجة الأعطال بعد حدوثها إلى موقف التحكم في حدوث التوقفات. عند اختيار واستثمار محركات الاحتراق الداخلي، أهم مسألة يجب التفكير بها والتي تشغل اهتمام الشخص المستثمر للآلية، متى تأتي اللحظة التي يجب أن يتوقف عندها استثمار المحرك ويتوقف عمله ويجب إخضاعه إلى صيانة شاملة (عمره) **[3]**.

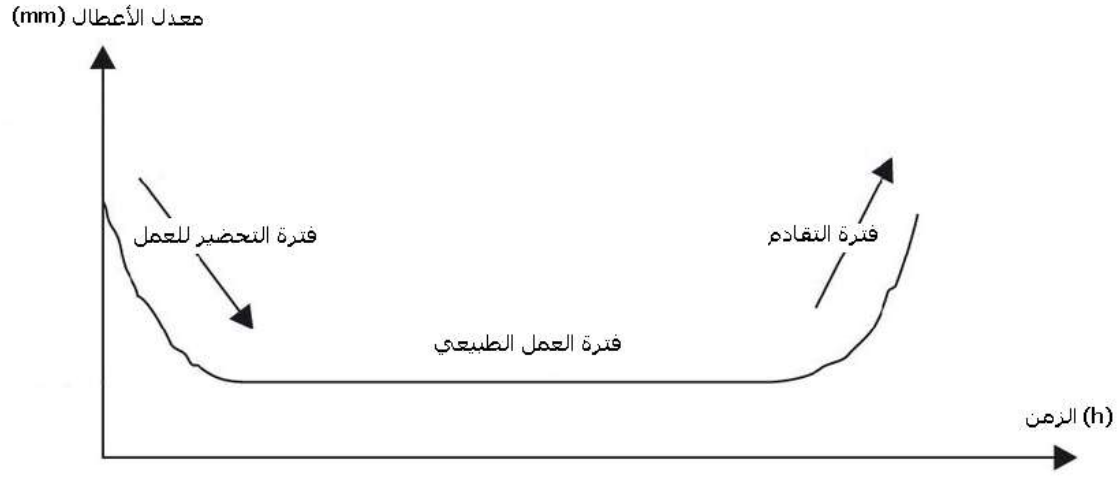
إنّ استثمار المحرك لابدّ أن يخضع للشروط الطبيعية الموضوعة من قبل الشركة الصانعة بهدف المحافظة على البارامترات الأساسية والعمر الزمني له [4].



شكل 1. اسطوانات محركات الاحتراق الداخلي ومكابسها

إنّ إجراء الصيانات الدورية للمحركات سوف تجعل الآلية في حالة فنية وميكانيكية جيدة وسليمة، المحافظة على الآلية أطول فترة ممكنة في العمل، ونتجنب زيادة مصروف استثمارها، مما يطيل العمر الزمني لعمل المحرك وللآلية ككل **[5]**.

والوثوقية Reliability Engineering بحدّ ذاتها تعرّف بقدرة نظام أو جزء ما من هذا النظام على القيام بمهمته المنوط بها ضمن شروط عمل محددة خلال فترة زمنية معينة (شكل 2) **[6]**.



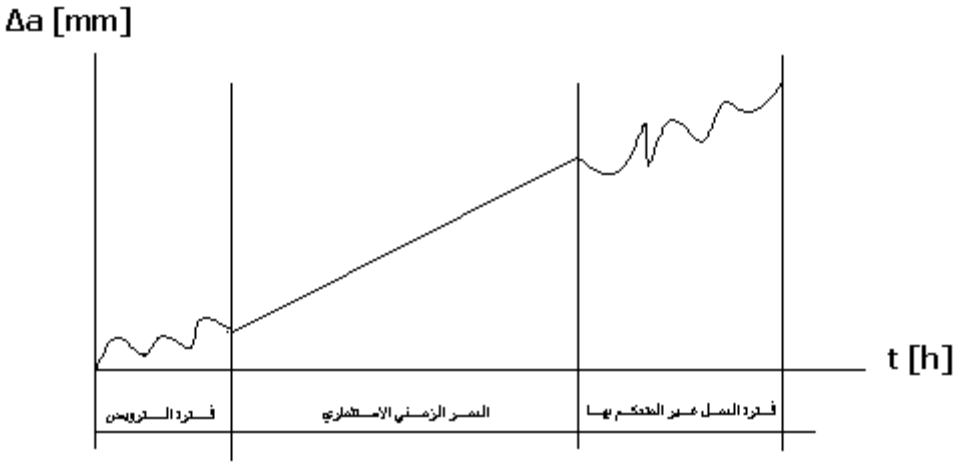
شكل 2. مراحل عمل الآلية

إنّ مخطط الاهتراء للقطع والأجزاء الرئيسية في المحرك يتكون من ثلاثة مراحل (شكل 3) **[7]**:

- **مرحلة أو فترة الترويض:** وهي الفترة التي يتم فيها تشغيل المحرك للتخلص من النتوءات السطحية الناتجة عن عمليات الخراطة والتشغيل، وتقدر هذه الفترة بـ *50 [h]* .
- **مرحلة أو فترة العمل الطبيعي:** والمحدّدة للعمر الزمني الاستثماري للمحرك، وهي أطول المراحل. ونهاية هذه الفترة تحدد اللحظة الزمنية الحرجة لعمل المحرك وهي اللحظة المستهدفة في التحديد والتعيين.
- **مرحلة العمل الغير متحكم به:** وهي الفترة التي تلي نهاية العمل الطبيعي وفيها تزداد الاهتراءات، ويزداد معها استهلاك الوقود ومواد التزييت، وتكثر أعمال الصيانة.

يجب تحديد نهاية المرحلة الثانية، وذلك من خلال معرفة صلاحية العمل الحدية لمحركات الاحتراق الداخلي، والتي يتمّ التعبير عنها من خلال التغيرات والانحرافات غير المسموح بها للمؤشرات الاقتصادية، القدروية والبيئية الأساسية.

ويقصد بالمؤشرات الاقتصادية مصروف الوقود الساعي، مصروف الوقود النوعي، وكمية وكلفة مواد التزليق ...الخ. أمّا المؤشرات القدروية فتشتمل على الاستطاعة الفعلية وإمكانية تحميل المحرك زيادة عن قدرته لفترات زمنية محددة، والمؤشرات البيئية هي نسب وكمية الملوثات المتعددة الناتجة عن عملية احتراق الوقود.



شكل 3. مخطط الاهتراء ومراحل عمل المحرك.

تعبّر الحالة الحدية لعمل محركات الاحتراق الداخلي بشكل خاص، وللآلية ككل بشكل عام عن الحدود الحرجة المحدّدة لإمكانية المحرك للقيام بالوظائف المحددة له مسبقاً منذ لحظة التصميم ضمن بارامترات محددة بدقة. ولذلك لا بدّ من تحديد درجة وحدود تغيرات هذه البارامترات الأساسية خلال فترة الاستثمار والعمل لمحرك الاحتراق الداخلي، وهو ما يعرف بالصيانة التنبؤية.

إنّ لاستخدام الصيانة التنبؤية عدّة مزايا للمحرك من أهمها:

- زيادة عمر المحرك؛
- تقليل وقت التوقف عن العمل والاستثمار؛
- خفض النفقات المصروفة على العمالة وقطع الغيار؛
- تحسين جودة عمل المحرك؛
- تحسين عوامل الأمان أثناء استخدام المحرك؛
- تخفيض النفقات بنسبة تتجاوز 10% .

تعتمد الصيانة التنبؤية على مبدأ مراقبة الحالة للمحرك من أجل التنبوء بالمؤشرات والبارامترات الأساسية له، وتحديد زمن ونوع العطل قبل حدوثه، وهي مخططة ومدروسة وتحت السيطرة لأن الإصلاحات تتمّ فقط عند الحاجة.

عندما تتغير هذه المؤشرات والبارامترات وتتجاوز في تغيرها الحدود المحددة في كتالوكات الشركات الصانعة، يتم إرسال المحرك على ورش الصيانة الفنية لإخضاعه لعمليات إعادة تأهيل وصيانة متعددة لقطعه وأجزائه الأساسية، وذلك من أجل إعادة المحرك إلى وضعية صلاحية العمل. أي معنى ذلك يتمّ تأهيل بارامترات ومؤشرات المحرك القدروية، الاقتصادية والبيئية من جديد حتى الحدود التي تسمح باستثماره من جديد مع أقل مصروف ممكن للوقود ومواد التزليق والصيانة الدورية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى إيجاد طريقة تخطيطية تعتمد على قياس ومراقبة المؤشرات الأساسية لمحركات الاحتراق الداخلي العاملة بالانضغاط من أجل تحديد الحالة الحدية التي تحدد الزمن المتوقع لكي يتمّ إرسال المحرك لإجراء صيانة شاملة له، أو لبعض أجزائه الأساسية. وذلك بهدف التقليل من الاختبارات والقياسات التي تجرى على المحرك والتي تعتدّ مكلفة من الناحية المادية، والتقليل من الأضرار التي تصيب أجزاء المحرك أثناء عمليات الفك والتركيب، والتوقفات عن العمل لمحركات الاحتراق الداخلي وللآلية ككل.

يهدف البحث أيضاً إلى تحديد نسبة الاهتراء الحاصلة نتيجة عمل المحرك لأحد عناصره الأساسية، وتمّ اختيار قطر الاسطوانة والاهتراء الذي يصيبها بهدف تحديد العمر الزمني للمحرك، وتحديد اللحظة الواجب إرسال المحرك فيها للصيانة الشاملة.

طرائق البحث ومواده:

إنّ طريقة البحث ومواده تعتمد على معرفة تغيرات الاستطاعة المتوقع الحصول عليها من محركات الاحتراق الداخلي الديزلية والبنزينية مع مرور زمن تشغيله، وتحديد مصروف الوقود الفعلي عند كل قيمة للاستطاعة وعند عدد دورات محددة للمحرك.

يتطلب تحقيق الهدف إجراء عمليات قياس دقيقة للمؤشرات الأساسية للمحرك وتوفر مايلي:

- منصة اختبار لمحرك احتراق داخلي.
- جهاز قياس الاستطاعة.
- جهاز قياس مصروف الوقود.
- جهاز قياس عدد دورات المحرك.

النتائج والمناقشة:

يتمّ في الحياة العملية وفي المخابر اعتماد عدد كبير ومختلف من البارامترات لتحديد الوضعية الحدية الحرجة لصلاحية العمل. من أهمّ هذه البارامترات على سبيل المثال:

- المسافة المقطوعة [km] ؛
- عدد ساعات العمل [h] ؛
- العمل المنجز؛
- مصروف الوقود اليومي؛
- كمية زيوت التزييت المتسربة أو المتبخرة خلال فترة زمنية محددة.

هذه المؤشرات في الحقيقة غير دقيقة بدرجة عالية وغير كافية لتقييم حالة المحرك الاستثمارية ووضعه. ونتيجة لهذه الأسباب والمعطيات، ومن أجل توضيح وتحديد الحالة الفيزيائية لمحركات الاحتراق الداخلي، لا بدّ من البحث عن رابط (علاقة) بين الحالة الحدّية الحرجة للمحرك وبعض البارامترات والمؤشرات المباشرة والتي تميز بدقة وضعية المحرك. هكذا بارامترات ومؤشرات يمكن أن تكون على سبيل المثال:

– الاستطاعة الحقيقية؛

– مصروف الوقود النوعي الفعلي؛

– كمية الملوثات الغازية المنطلقة مع غازات العادم والناتجة عن عمليات الاحتراق الحاصلة في غرف احتراق المحرك ... إلخ.

عندما تبلغ هذه المؤشرات والبارامترات، وبنتيجة الاهتراء الحاصل لقطع وأجزاء وميكانيزمات المحرك حداً معيناً فإنّنا نصل إلى اللحظة المسماة بصلاحية العمل الحدّية لمحركات الاحتراق الداخلي.

إذا لم يتمّ تحديد هذه الحدود بدقة مقبولة، ولم نوقف عمل واستثمار الآليات عند هذه اللحظة، فإنّ الاقتصاد الوطني سيتكبد خسائر اقتصادية وبشرية كبيرة.

إنّ تحديد العمر الزمني لمحرك الاحتراق الداخلي يبدأ من لحظة القيام بتصميم المحرك، وتحديد استطاعته والغاية من استخدامه **[9,10]** وليس بعد تشغيله وظهور الأعطال والتوقفات فقط.

من خلال مراقبة عدد كبير من المحركات التي أرسلت إلى ورشات الصيانة والإصلاح في المنطقة الصناعية بمدينة اللاذقية والتي عددها 30 محرك، من مختلف أنماط محركات الديزل والبنزين، لوحظ أنّ حوالي 15% من هذه المحركات لم يتمّ استغلال واستثمار كامل مدة العمل المصممة لأجلها، وأنّ حوالي 20% منها قد توقفت عن العمل بسبب الاهتراء الشديد الذي أصاب أجزاء وقطع وميكانيزمات هذه المحركات مما أدى إلى تلفها وعدم استطاعتها القيام بعملها بشكل جيد. كلّ ذلك أدى إلى حالة من استهلاك كبير في الوقود ومادة التزييت وهذا سيسبب لاحقاً ضرراً على الاقتصاد الوطني.

ويؤدى تطبيق نظام الصيانة الصحيح الى تحسين العمليات الانتاجية من خلال تحسين كفاءة وصيانة المعدات والآلات، وكذالك الأفراد والتدريب المستمر للفنيين والمشرفين على مستوى قطاع الصيانة وقطاع الإنتاج والعمليات والاهتمام بهم والحفاظ عليهم من المخاطر والسيطرة على التلوث البيئي **[6]**.

هناك طرق عديدة لتقييم حالة المعدات استناداً لمفهوم الصيانة التنبؤية، منها تقنيات الاختبار التدميري مثل الأشعة تحت الحمراء (التفريغ الجزئي والمحمولة جواً بالموجات فوق الصوتية)، الصوتية، تحليل الاهتزاز، قياس مستوى الضجيج، وتحليل مواد التزييت، وغيرها من الاختبارات.

أكثر الطرق دقّة وموثوقيّة هي الطريقة المعتمدة على تحديد الحالة الحدّية الحرجة لمحركات الاحتراق الداخلي من خلال مراقبة التغيرات والانحرافات التي تطرأ على مميزات ومؤشرات وبارامترات محدّدة لبعض القطع والأجزاء الأساسية في المحرك. هذا النوع من البارامترات يتمّ اختياره على أساس الإمكانيات والمؤشرات الاقتصادية والوظيفية والبيئية ومؤشرات أخرى لمحركات الاحتراق الداخلي.

عادةً، البارامترات المميزة التي يتمّ اختيارها للمساهمة في تحديد الحالة الحدّية للمحرك هي:

- قطر اسطوانة المحرك؛
- قطر المضاجع الثابتة والمتحركة لعمود المرفق (الكرنك)؛
- ارتفاع حدبات أعمدة الكامات.

إنّ تنفيذ هذه الطريقة المرتبطة ببارامتر من البارامترات السابقة يتطلب فك وتركيب المحرك بشكل دوري من أجل أخذ القياسات اللازمة، وهذا يترافق مع أمور جانبية عديدة غير جيدة تلحق بالمحرك وأجزائه وميكانيزماته ضرراً كبيراً، كما

يزيد ذلك من التكاليف الناتجة عن توقف المحرك عن العمل، وإشغال العمال المختصين والفنيين وورشات الصيانة بشكل متواصل.

إنّ هذه الطريقة والمعتمدة على إيجاد علاقة تربط بين الحالة الفنية لأجزاء وقطع وميكانيزمات المحرك (الحالة الفنية الحرجة) والبارامترات الأساسية لبعض القطع (البارامترات الداخلية) غير محبّذة على الإطلاق ولا يمكن اعتمادها على الرغم من وثوقيتها العالية ودقتها لأنها مكلفة مادياً من جهة، ومضرّة من جهة أخرى بقطع وأجزاء المحرك.

من الواضح أنّ إيجاد علاقة تربط بين عدد من البارامترات الخارجية للمحرك والاهتراء الذي يصيب المحرك ككل أو أجزاءه، سيحسّن فعالية الطرق المتبعة في إيجاد وتحديد الوضعية الحرجة للمحرك وبالتالي تحديد العمر الزمني الحقيقي التقريبي لاستثماره.

من المعروف، إنّ انخفاض الاستطاعة الفعلية للمحرك وارتفاع مصروف الوقود النوعي نتيجة للاهتراءات الحاصلة في قطع وأجزاء وميكانيزمات المحرك خاضعة لقانون محدد **[3]**.

هذه الحقيقة مؤكّدة من خلال العديد من الدراسات ذات الطابع التجريبي والتي أجريت على محركات الاحتراق الداخلي بكافة أشكالها العاملة على الديزل والعاملة على البنزين، وموديلاتها وتصاميمها الهندسية المختلفة، واستطاعاتها سواء الكبيرة منها والصغيرة.

في هذا البحث سنقوم باستخدام معطيات تجريبية أجريت على نوع من المحركات العاملة على الديزل، والمركّب على باصات النقل الداخلي التابعة لمديرية النقل الداخلي باللاذقية والتي تعمل ضمن شبكة الخطوط الداخلية للمدينة، ونقوم بايجاد مخطط للربط بين بعض البارامترات الخارجية لها، بهدف إيجاد وتحديد الاهتراء الأعظمي المسموح به لأحد أجزاء المحرك، وبالتالي تحديد اللحظة التي يجب أن نوقف المحرك عن العمل، والعمل عل إجراء صيانة شاملة له.

إذا قمنا برسم إحداثيات ديكارتية واحدة، ووضعنا على محور السينات لهذه الإحداثيات الاستطاعة الفعلية للمحرك N_e ، ومثّلنا على محور العينات لهذه الإحداثيات مصروف الوقود النوعي g_e ، يتبين بنتيجة الاهتراء الذي سيصيب المحرك، أنّ هذه المؤشرات سوف تتغير بحيث يكون المخطط المعبّر عن العلاقة الوظيفية بين مصروف الوقود النوعي g_e ، والاستطاعة الفعلية للمحرك N_e ، سيأخذ شكل جزء من قطع زائد. هذا يعني، أنّه وعند نظام عمل ونظام سرعة واحد للمحرك سيكون جداء هذين البارامترين (N_e و g_e) ثابت.

نرمز لهذا الثابت "a" وهذا يعني من الناحية الرياضية أن هذا الثابت سوف يعبّر عن نصف جزء من قطع زائد.

إنّ هذا الثابت يتمّ تحديده كمسافة نرمز لها بـ $\overline{OA}$، وهي المسافة المحددة من مركز الإحداثيات الديكارتية حتى نقطة التقاطع مع القطع الزائد المرسوم (شكل 4)، والمحدّد بالعلاقة:

$$N_e = f(g_e) \qquad (1)$$

وهذه النقطة هي منتصف الجزء من القطع الزائد.

يمكن أن يتم تحديد هذه العلاقة من خلال المعادلة بالصيغة التالية:

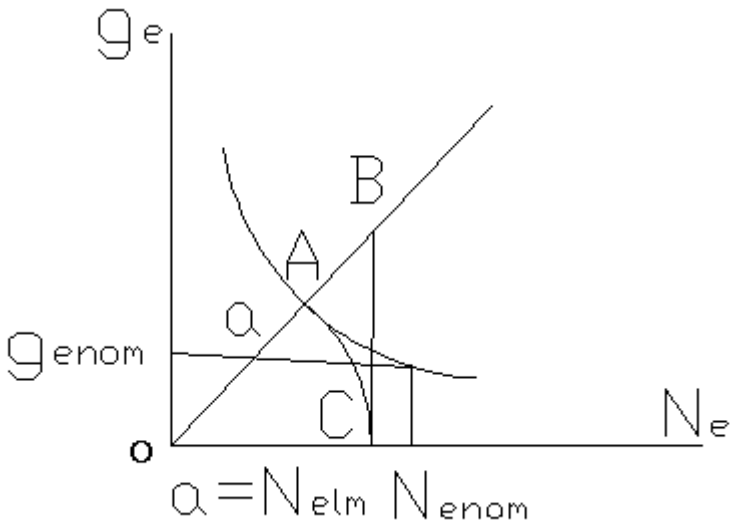
$$N_e \times g_e = const \qquad (2)$$

$$N_e \times g_e = \frac{a^2}{2} \qquad (3)$$

أصبح من الواضح استناداً إلى العلاقة (3)، أنّ الطرف الأيمن من المعادلة يعبّر عن المصروف الساعي للوقود والذي يرمز له G_h .

يمكن أن نكتب العلاقة (3) بالصيغة الآتية:

$$N_e \times g_e = G_h \qquad \textbf{(4)}$$



شكل 4. المخطط التوضيحي المقترح للعلاقة بين g_e و N_e

إنّ الطرف الأيمن للمعادلة رقم (4) هو قيمة ثابتة دوماً وذلك عند نفس نظام للسرعة، وذلك لأنّه عند عملية استثمار وعمل محرك الاحتراق الداخلي، فإنّ الحجم العامل للمحرك من الناحية العملية لا يتغير بل يبقى ثابت، كما أنّ كمية الوقود التي يتم ضخها وتدخل إلى حجرة الاحتراق في المحرك هي واحدة.

من أجل قياس وحساب الاهتراءات التي تصيب محرك الاحتراق الداخلي وذلك عند مصروف ساعي للوقود ثابت، فإنّ الاستطاعة الفعلية N_e ومصروف الوقود النوعي g_e يتغيران في حدود أنّ الشروط التي يتم عندها تحديد الحالة الفعلية للمحرك خاضعة للمعادلة $N_e \times g_e = \frac{a^2}{2}$.

في هذه الحالة فإنّ المعادلة (3) سوف تأخذ شكلاً آخر:

$$G_h = \frac{a^2}{2} \qquad \textbf{(5)}$$

من المعلوم أنّ استهلاك الوقود يحسب عن طريق قسمة الكيلومترات المقطوعة على كمية الوقود المستهلكة، ونعني باستهلاك الوقود في السيارات عدد الكيلومترات المقطوعة لكل لتر من الوقود. والوقت الأفضل لتسجيل استهلاك الوقود هو بعد ملء خزان الوقود في السيارة مباشرة.

من خلال الدراسات التي أجريت، ومن خلال ملاحظة الحالات المتعدّدة لعمل محركات الاحتراق الداخلي، لوحظ أنّ الاستطاعة الدنيا، والموافقة لوضعية الاهتراء الحدّي لنوع ما من المحركات يمكن تحديدها بطريقة تخطيطية أقل كلفة من الطريقة المخبرية التجريبية، مع التأكيد أنّ نتائج الاختبارات التجريبية هي الأكثر دقّة وموثوقيّة.

الاستطاعة الحدية يمكن تحديدها بالطريقة التخطيطية كقيمة مساوية لنصف المحور الفعلي للقطع الزائد، أي (a).

$$G_h = \frac{a^2}{2} \qquad (6)$$

$$a^2 = 2 \times G_h \qquad (7)$$

$$a = N_{e.Lm} = \sqrt{2.G_h} \qquad (8)$$

من خلال العلاقة (8) نلاحظ أنّ الاستطاعة الحدّية المعبرة عن الحالة الفنية الحرجة لعمل المحرك يتمّ تحديدها من خلال المصروف الساعي للوقود G_h. يتمّ قراءة المصروف الساعي للوقود من خلال العلاقة $N_e = f(g_e)$ كمسافة $\overline{OA} = a$. يتمّ تكبير المسافة a وفقاً لأبعاد الاستطاعة الفعلية، ومصروف الوقود النوعي الفعلي (شكل 4).

إنّ المعادلة (8) صالحة ويمكن تطبيقها فقط في شروط أن تتم دراسة المحرك عند نظام عمل واحد. وعند تحديد الاستطاعة الحدية $N_{e.Lm}$، فإنّ نظام العمل هذا هو عند الاستطاعة الفعلية الاسمية.

لا بدّ عند إجراء الدراسة من الأخذ بعين الاعتبار القانون الناظم، والناتج عن العلاقة (3): $\boxed{N_e \times g_e = \frac{a^2}{2}}$ ، والتي يمكن أن تبنى عن طريق حسابات المخطط الفعلي لمحرك ما. من خلالها يمكن تحديد وقراءة الاستطاعة الحرجة، وبالتالي تحديد الحالة الفنية الحرجة لعمل محرك الاحتراق الداخلي.

في الحياة العملية، يتمّ هذا من خلال الحصول على قيم تجريبية فقط لنقطة محددة واحدة ولنظام عمل واحد لمحرك الاحتراق الداخلي وهو عند الاستطاعة الفعلية الاسمية $N_{e.nom}$ ومصروف الوقود النوعي الاسمي $g_{e.}$. ومن ثم يتم حساب الثابت "a".

بعد ذلك، ومن أجل الإحداثيات الديكارتية المختارة، يتمّ تحديد النقطة الوسطية.

يتمّ بعد ذلك بناء النقاط الأخرى للجزء النظامي من القطع الزائد للمحرك استناداً إلى تكبير القيم الفعلية للطرف الثاني للمعادلة (3)، أو من خلال الاستطاعة أو مصروف الوقود النوعي، وبالتالي تكون قيمة الثابت "a" قد تمّ حسابها.

أيضاً من خلال جزء القطع الزائد المحدّد وفقاً للطريقة المعتمدة سابقاً يتمّ تحديد الاستطاعة الحدّية (الحرجة) $N_{e.Lm}$.

تسمح هذه الطريقة بتحديد صلاحية العمل الحدّية لمحرك الاحتراق الداخلي، وذلك دون القيام بتجارب واختبارات معملية متواصلة للتحقق من موثوقية وجودة عمل هذه المحركات.

هذا الأمر أصبح واضحاً وذلك لأنّ صلاحية العمل الحدّيّة لمحركات الاحتراق الداخلي يتمّ تحديدها من خلال الاستطاعة الفعلية الحدية $N_{e.Lm}$.

واضح، أنّه من أجل تحقيق هذا الهدف فإنّه يجب تحديد الاستطاعة الحدية استناداً إلى طرق متعددة معروفة، مستخلصة ومنفذة عند إجراء الاختبارات والتجارب المعملية لمحركات الاحتراق الداخلي سواء أكان هذا المحرك يعمل لوحده أو مرتبطاً بالآلة العاملة التي يقودها (يشغلها).

إنّ اختبار مدى مصداقية وصوابية هذه الطريقة تمّ من خلال اختبار موثوقية وصلاحية عمل محرك احتراق داخلي نوع ديزل، مركّب على باص النقل الداخلي العامل ضمن مدينة اللاذقية، وذلك بعد مسير $250000[km]$ ، أي ما يعادل 4500 ساعة عمل.

حيث وبنتيجة الاختبارات ومن خلال المتابعة اليومية لأداء المحرك، حصلنا على النتائج العملية التالية:

- الاستطاعة الفعلية للمحرك: $N_{e\max}=175[kW]$ عند عدد دورات $n=2300[rpm]$
- العزم الأعظمي: $M_{e\max}=880[N.m]$
- الاستهلاك النوعي للوقود:

1. $n=2300[rpm]$ ، $g_{e\max}=235[g/kW.h]$
2. $n=1500[rpm]$ ، $g_{e\max}=205[g/kW.h]$ ، $N_e=135[kW]$ ، $M_e=870[N.m]$

- عند القياس العملي لمعرفة نسبة التآكل في الاسطوانة $D_x[mm]$ ، ووفقاً للمسافة المقطوعة يكون لدينا:

حيث: $D_x=D_2-D_1=[0.3\div 0.32]\,mm$

حيث: $D_1[mm]$: القطر الداخلي الأولي للاسطوانة وهي جديدة قبل الاهتراء؛

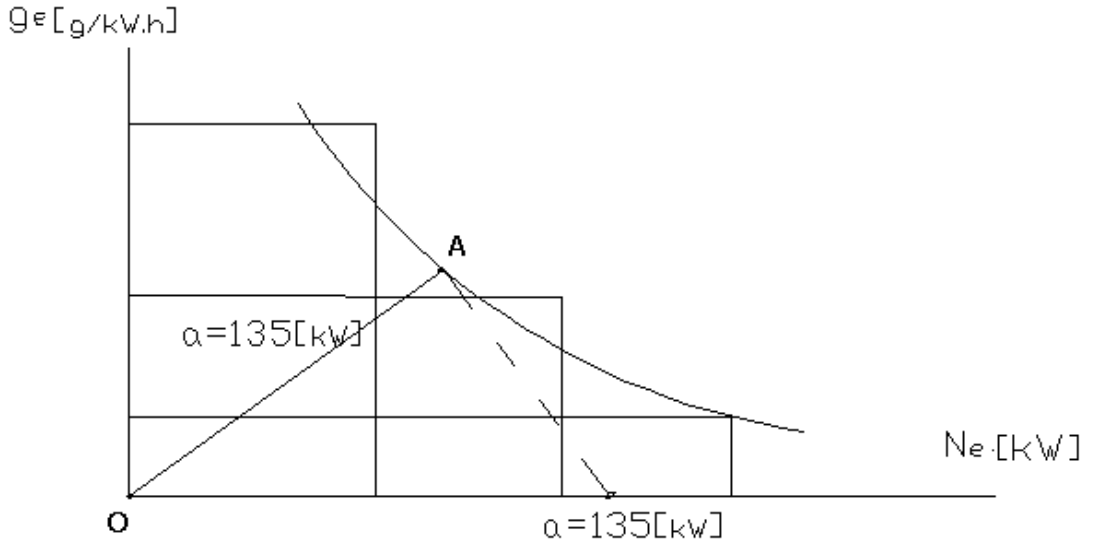
$D_2[mm]$: القطر الداخلي النهائي للاسطوانة بعد الاهتراء الحاصل.

وذلك مع الأخذ بالحسبان نسبة ازدياد اهتراء حلقات المكبس، وازدياد مجرى الحلقات ضمن المكبس.

ولوحظ أيضاً أنّه وبعد مسير $250000[km]$ ، ازداد استهلاك زيت المحرك، ويزداد الاستهلاك إذا استمر المحرك في العمل، كما ازدادت نسبة أكاسيد الكربون في غازات العادم، وانخفضت وبشكل سريع لزوجة الزيت المستخدم.

من خلال بناء مخطط العلاقة بين الاستطاعة ومصروف الوقود (شكل 5)، أعطى قيمة للاستطاعة الحدّية مقدارها $N_{e.lm}=150[kW]$.

أي أنّ الاستطاعة عند الوضعية الحدّية الحرجة ستنخفض بنسبة 14% .



شكل 5. تحديد الاستطاعة الحرجة تخطيطياً

تمّ في هذا البحث اختيار قطر اسطوانة المحرك"d_0" كعامل للاهتراء الحاصل في محرك الاحتراق الداخلي. ومن خلال الاختبارات التي أجريت لوحظ ما يلي:

– بعد عمل محرك الاحتراق الداخلي لمسافة $2700[km]$ (50 ساعة عمل) وهي **مرحلة الترويض**، كانت الاهتراءات التي أصابت قطر الاسطوانة هي بحدود $\Delta d_0 \approx (0.003 \div 0.035)\, mm$.

– بعد عمل محرك الاحتراق الداخلي لمسافة $30000[km]$ تقريباً (500 ساعة عمل)، كانت الاهتراءات التي أصابت قطر الاسطوانة هي بحدود $\Delta d_0 \approx (0.033 \div 0.035)\, mm$.

– بعد عمل محرك الاحتراق الداخلي لمسافة $60000[km]$ تقريباً (1000 ساعة عمل)، ، كانت الاهتراءات التي أصابت قطر الاسطوانة هي بحدود $\Delta d_0 \approx (0.066 \div 0071)\, mm$

– بعد عمل محرك الاحتراق الداخلي لمسافة $250000[km]$ تقريباً (4500 ساعة عمل)، ، كانت الاهتراءات التي أصابت قطر الاسطوانة هي بحدود $\Delta d_0 \approx (0.3 \div 0.32)\, mm$

وبالتالي، من خلال اختبار المحرك لفترة زمنية محدّدة يمكن تحديد العمر الزمني الاستثماري الفعلي للمحرك، والمقابل للحظة التي يجب بعدها إرسال المحرك لإجراء الصيانة الشاملة له.

نتج لدينا من المخطط أنّ العمر الزمني الفعلي للمحرك قبل إجراء الصيانة الشاملة له هو 4300 ساعة عمل أي ما يقارب مسير مسافة $235000[km]$ ، وهذه القيمة قريبة من القيمة الناتجة عن الاختبارات وبنسبة خطأ لا تتجاوز 6% وهذا ما يبرهن صحة الطريقة التخطيطية المعتمدة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. عند قيم اهتراء لقطر اسطوانة المحرك بحدود $D_x = D_2 - D_1 = [0.3 \div 0.32]\, mm$ ، فإن الاهتراء الحدي للمحرك المدروس، بنتيجة الاختبارات سوف يحصل بعد عمل للمحرك مقداره لمسافة $250000[km]$ h، أي ما يعادل 4500 ساعة عمل، وذلك عند إجراء التجارب، ومن المخطط كان عدد ساعات العمل 4300 ساعة عمل.

2. إذا كان عمل واستثمار المحرك المذكور أعلاه والمحدد مواصفاته مسبقاً يستثمر مخالفاً لما هو محدد من قبل الشركة الصانعة فإن المواصفات والمؤشرات القدروية والاقتصادية والبيئية سوف تسوء ويسبب ضرراً كبيراً يلحق بالاقتصاد الوطني، من ناحية عدم استثمار المحرك بشكل جيد وبكامل قدراته ومن ناحية زيادة تكاليف الصيانة والإصلاح.

3. عند سرعة الاهتراء الحاصلة فإنّ هذا المحرك المختبر يجب أن يخضع لصيانة أساسية شاملة بعد مسير $250000[km]$ ، أي 4500 ساعة عمل وإلاّ سوف تتدهور مؤشراته القدروية الاقتصادية والبيئية.

4. من خلال اختبار المحرك لفترة زمنية محددة، وبالاستعانة بعد ذلك بالطريقة التخطيطية المعتمدة والمقترحة أمكن تحديد العمر الزمني الاستثماري الفعلي له، والمقابل للحظة التي يجب بعدها إرسال المحرك لإجراء الصيانة الشاملة له. وكان العمر الزمني المحدد تخطيطياً هو $235000[km]$ ، أي 4300 ساعة عمل، وهذه القيمة قريبة من القيمة التي تمّ الحصول عليها بنيجة الاختبارات، وبنسبة خطأ لا تتجاوز (6%)، وهذا ما يبرهن صحة ووثوقية الطريقة التخطيطية المقترحة وينصح باعتمادها.

التوصيات:

من أجل المساهمة في الحدّ من عمليات الفك والتركيب في المحرك ولإعطاء صورة مستقبلية عن الحالة الفنية له ولوسائط النقل نوصي بما يلي:

1. التقليل من عمليات الفك والتركيب لما تسببه من أضرار على قطع وأجزاء المحرك.

2. تطوير موديلات رياضية متعدّدة لتحديد الحالة الفنية للمحركات عند كافة فترات العمل، تستند إلى مؤشرات خارجية لمحركات الاحتراق الداخلي.

3. وضع وتطوير أنظمة الصيانة التنبؤية الشاملة للمحافظة على الحالة الفنية للمحرك.

3. تطوير وإعادة النظر في برنامج الفحص الدوري للسيارات بحيث يكون اختبار مستوى الغازات الضارة المنطلقة من عوادم السيارات مؤشراً على الحالة الفنية للمحرك ولإجراء أعمال الصيانة الشاملة.

المراجع:

1. د. أسامة محمد سليمان، قسم الميكانيكا. *أساسيات الصيانة*. كلية الهندسة التقنية– جامعة وادي النيل اكتوبر 2015.

2. د. صفا محمد هادي هاشم، المعهد التقاني بالبصرة. استخدام أساليب بحوث العمليات في تقدير دورة الصيانة الوقائية وتطبيقاتها في شركة المشاريع النفطية. العراق البصرة 2005

3. عيشوني، محمد. أستاذ مساعد في قسم التقنية الميكانيكية– بالكلية التقنية بحائل. *الموثوقية (Reliability)*. الكلية التقنية–حائل– المملكة العربية السعودية 2015.

4. بولباس م. م. *الاستثمار والعمل، وصيانة آليات النقل*. مينسك 1985. (باللغة الروسية).

5. كورتشمني ل. ف. *رفع صلاحية وثوقية العمل لأعمدة كامات المحركات المكبسية (محركات الاحتراق الداخلي)*. تس ب ت إ ، موسكو 1989.

6. www.stcceg.com. *النظم الحديثة في إدارة الصيانة وإعداد التقارير والجداول*. المركز المتخصص للتدريب والاستشارات. القاهرة 2017.

7. PROF. ROLF D. REITZ. *Internal Combustion Engines, Fundamentals and Performance Metrics.* Engine Research Center- University of Wisconsin-Madison; 2018 Princeton-Combustion Institute

8. SANDRA L. BELL. *Internal Combustion Piston Engines*. U.S. Customs and border Protection; April 2012 .

9. Turesson, Gabriel. *Model-Based Optimization of Combustion-Engine Control* Department of Automatic Control. Lund Institute of Technology, Lund University 2018.

10. DR. AKOS BERECSKY. Internal Combustion Engines (Heat Engine II). Faculty of Mechanical Engineering- Technical University of BODAPEST 2006.