مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (5) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (5) 2011

دراسة أعطال صمامات العادم لبعض المحركات الرئيسية في سفن الشحن التجارية

د. محمد شلوف*

(تاريخ الإيداع 28 / 6 / 2011. قُبِل للنشر في 7 / 8 / 2011)

□ ملخّص □

يعتبر حصول أعطال مفاجئة في سفينة مبحرة إما سبباً أو مقدمة لكارثة إنسانية واقتصادية وبيئية، لذلك فإن دراسة أسباب الأعطال تمثل خطوة مهمة في تفادي حصول تلك الأعطال.

لقد بينت الدراسات أن أخطر الأعطال تلك التي تحدث في المحرك الرئيسي أثناء الإبحار في الظروف البحرية والجوية السيئة، كما بينت أن أعطال صمامات العادم في المحركات الرئيسية ذات الكسح الطولي هي الأكثر حدوثاً، حيث يرتفع تواتر حصولها في هذه الأنواع من المحركات.

قمنا في هذا البحث بدراسة تلك الأعطال وتجميع معطيات تمت معالجتها لاحقاً، وتوصلنا إلى مجموعة من النتائج التي نرى أن وضعها في يد المستثمرين سيكون ذا فائدة كبيرة في تفادي حصول الأعطال المشار إليها، ومن ثم تفادي أو التقليل من حوادث السفن الناتجة عنها.

الكلمات المفتاحية: صمامات العادم، معيار أندرسون، الكثافة التجريبية للتوزيع، توزيع الأعطال، احتمال العمل بدون أعطال، البارامترات ذات الدلالة التشخيصية.

* مدرس في قسم الهندسة البحرية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (5) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (5) 2011

Studying the Failures of Exhaust Valves in Some Main Engines of Cargo Ships

Dr. Mohammad Shallouf*

(Received 28 / 6 / 2011. Accepted 7 / 8 / 2011)

□ ABSTRACT □

The sudden failures in a sailing ship are considered either a cause or an introduction to a humanitarian, economic and environmental catastrophe. Therefore, studying the reasons which cause these failures are an important step in avoiding them. Studies have shown that the most serious failures are those that occur in the main engine while sailing in poor sea and weather conditions. They have also shown that exhaust valves' failures in main engines with uniflow-scavenge are the most frequent, as their occurrences become more likely in these types of engines.

In this research we have studied these failures, gathered data which were later processed. And we have reached a group of conclusions that we see that placing them in the hands of the operators will be of immense benefit in avoiding the above mentioned failures, and consequently help avoiding and reducing the resultant accidents.

Keywords: Exhaust Valves, Anderson Criterion, Experimental Substance Of Distribution, Failure Distribution, Probability Of Flawless Operation, Diagnostically Significant Parameters.

* **Assistant Professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يعتبر الحصول على معلومات عن كفاءة ووثوقية عمل المحركات البحرية أثناء الاستثمار ضروريا لاختيار أكثر المحركات فاعليةً في العمل عند طلب وشراء سفن جديدة، وحتى عند البحث عن سفن موجودة فعلاً في الاستثمار، ولكشف الأجزاء غير الكفوءة في المحركات الرئيسية، وللمساعدة في وضع متطلبات استثمارية بخصوص نوعية المحركات المستقبلية (تزويد الشركات الصانعة بها عن طريق المعلومات المرتجعة *Feedback*). من هنا تأتي أهمية تجميع ودراسة المعلومات الفنية عن مختلف الأعطال في الأنواع المتعددة من المحركات الرئيسية البحرية.

ويبنى كل نموذج من المحركات الرئيسية البطيئة السرعة المنتجة من قبل الشركات الأساسية المنتجة للمحركات الرئيسية البحرية كشركات *B & W* و *SULZER* و *MAN* و *MAK* و *MITSUBISHI* على أساس المحركات المبنية سابقاً (الموجودة في الاستثمار)، والتي تعتبر في هذه الحالة طرازاً ويبنى عليه (*Prototype*).

تدل النتائج المجمَّعة من الاستثمار الفني لمحركات الديزل البحرية البطيئة السرعة على أن العناصر الكفوءة (الموثوقة) من جيل من المحركات، تكون كفؤاً وموثوقة في الجيل الذي يليه أيضاً، وهذا واضح في دراسات مختلفة تناولت هذا الموضوع [1، 2، 3، 4].

تقوم السفن البحرية بنقل البضائع في مناطق غير محدودة بين شمال الكرة الأرضية وجنوبها، وشرقها وغربها، مما يجعلها لوقت طويل من الزمن بعيدة عن مقرات شركاتها أو ترسانات إصلاح السفن، ويجعل الاعتماد على المساعدة السريعة في حل المشاكل الفنية من قبل المنشآت الشاطئية أمراً شبه مستحيل.

أهمية البحث وأهدافه:

الهدف الرئيسي للبحث هو دراسة أعطال بعض المحركات الرئيسية في السفن السورية، وتحديد الأجزاء الأكثر أهمية والأكثر تعرضاً للعطل، وذلك لأخذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوثها في عرض البحر حيث تلعب ظروف البحر والطقس والقدر الدور الحاسم في احتمالات بقاء السفينة من عدمه، كون السفينة في هذه الظروف وبوجود عطل في المحرك الرئيسي قد تتحول إلى عوامة لا حول لها ولا قوة، وما يجر ذلك من خسائر بالأرواح، وخسائر مادية، وضرر بالبيئة. لقد لفتنا أثناء القيام بالكشوف الفنية على السفن السورية حصول الكثير من الأعطال في المحركات الرئيسية ذات الكسح الطولي، أهمها الأعطال التي تطال صمامات العادم في تلك المحركات.

ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث الذي يهدف إلى وضع قواعد وتوصيات للاستثمار الفني الصحيح لبعض المحركات الرئيسية البحرية، وتحديد عناصر هذه المحركات التي يجب أن تكون موضوع مراقبة من قبل الطاقم المستثمر، وذلك بعد مضي فترة من استثمار هذه المحركات بعد النقطة الصفرية التي يبدأ عندها احتساب ساعات العمل بعد انتهاء أية صيانة أو إصلاح، وذلك لتجنب حصول أعطال غير محسوبة قد تودي بالسفينة وتؤدي إلى خسائر كبيرة ومشاكل بيئية تبقى آثارها لفترة طويلة من الزمن كما ذكرنا آنفاً، ويمكن تقديم نتائج الدراسة إلى الشركات البحرية السورية للاستفادة منها فيما يجنبها المشاكل المذكورة.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة، قمنا ولمدة تزيد عن خمس سنوات بتجميع ومعالجة معلومات من الأقسام الفنية للشركات البحرية السورية التي تعاونت مشكورة في ذلك (أهم تلك الشركات GHANDOUR GROUP، YAMAK SHIPPING، DIAMOND، ALLOUF SHIPPIMG التي تتخذ من مدينة طرطوس مقراً، وشركة ALTOUN SHIPPING CO. في اللاذقية) بالإضافة إلى معلومات من السفن ذاتها [5]، ومناقشة كبار المهندسين في تلك السفن، وقد طالت تلك المناقشات أنواع الأعطال وتكرار حصولها، والعلامات التي كانت تظهر قبل حدوث كل عطل، وطرق الإصلاح المتبعة، وأشكال السطوح وتحديداً في مكان العطل، وبعض القياسات المأخوذة (مع المشاركة في بعضها) بعد عملية الفك وقِيَمها، ورأي الفنيين بذلك. كما قمنا بإجراء عدة مراسلات مع الشركات الصانعة لمناقشة المسألة وتفصيلات سبيكة طبقة الحماية (المعروفة بطبقة الستيليت "*STELLITE*"*)، وخاصة شركة (*B & W*) وشركة (*MITSUBISHI*) التي تجاوبت أكثر.

لوحظت أثناء عملية استثمار المحركات الرئيسية للسفن من الماركات المدروسة (*B & W* و *SULZER* و *MITSUBISHI*) زيادة في الأعطال في صمامات العادم، وبلغت النسبة المئوية لحصولها أكثر من 51% من مجمل أعطال المحركات، كما تبين أن أغلب الأعطال وقعت في ظروف البحر والطقس الصعبة [5].

لتحديد قوانين حدوث الأعطال ومؤشرات الوثوقية لصمامات العادم، قمنا بانتقاء السفن التي تحوي محركات رئيسية ذات كسح طولي وصمامات عادم (لأنها أكثر أعطالاً من تلك التي بدون صمامات عادم)، وتم جمع وتحليل المعلومات من تلك السفن التي تبحر في مناطق مختلفة من العالم، وتنظيم جدول بها (الجدول 1)، والتحليل الإحصائي لنوعين مختارين من المحركات (*B & W* و *MITSUBISHI*) نظراً لأن المعلومات المتوفرة عنها أكثر كمالاً (الجداول 2 و 3) [5، 6، 7].

الجدول (1) المعطيات الأولية للتحليل الإحصائي لأنواع المحركات الرئيسية على السفن المدروسة

الشركة	اسم السفينة ونوعها	ماركة ونموذج المحرك الرئيسي	عدد الأسطوانات	عدد صمامات العادم لكل أسطوانة
GHANDOUR GROUP	ASCO GC	MITSUBISHI 6UIC52/105	6 Cyl.	1
	ABBOUD G BULK	SULZER 6RLA 56 8200 HP ,125 RPM	6 Cyl.	1
	MINO G BULK	B&W 6K6ZEF 8100 HP 142 RPM	6 Cyl.	1
	JAMIL G (sister of MINO G)	B&W 6K6ZEF 8100 HP- 142 RPM	6 Cyl.	1
	Capt. OSAMA G.C- Contain.	MITSUBISHI B&W 6L45GF	6 Cyl.	1
YAMAK	PARIS –Y & ASRA – Y BULK	B&W 6K45GF 5184 KW 227 RPM	6 Cyl	1
	YAMAK TRADER G.C	MITSUBISHI 6UIC52/105	6 Cyl.	1
	ALTHURAYA-Y G.C	B&W UNA1 6L45GF 6910 HP, 175 RPM	6 Cyl.	1
ALTOUN	GEORGIOS	MITSUBISHI 6UIC52/105	6 Cyl.	1

الجدول (2) المعطيات الأولية للتحليل الإحصائي للمحرك (*B & W*).

اسم السفينة	MINO G	JAMIL G	ASRA – Y	ALTHURAYA-Y	المجموع

* طبقة الستيليت "*STELLITE*" هي عبارة عن سبيكة عالية القساوة من الكوبالت والتنغستين والكروم والكربون تطلى بها قاعدة صمامات العادم في المحركات الرئيسية ذات الكسح الطولي.

بدء الاستثمار	1979	1979	1979	1981	–
نوع السفينة	BULK	BULK	BULK	G.CARGO	–
عـــدد صـــمامات العادم لكل محرك	6	6	6	6	24
زمن تنعيم القطع بعد الإصـلاح (عدد ساعات العمل) [*h*]	6704	5720	5620	5802	–
الأعطال المسجلة	14	13	13	16	56
زمـــــن حـــــدوث الأعطال	max	1779	1474	1387	1101	1779
	min	14	13	13	16	3

الجدول (3) المعطيات الأولية للتحليل الإحصائي للمحرك (*MITSUBISHI*).

اسم السفينة		YAMAK TRADER	Capt. OSAMA	GEORGIOS	ASCO	المجموع
بدء الاستثمار		1977	1981	1979	1975	–
نوع السفينة		G.CARGO	G.CARGO	G.CARGO	G.CARGO	–
عـــدد صـــمامات العادم لكل محرك		6	6	6	6	24
زمن تنعيم القطع بعد الإصـلاح (عدد ساعات العمل) [*h*]		5650	5720	5961	5852	–
الأعطال المسجلة		12	13	13	12	50
زمـــــن حـــــدوث الأعطال	max	1189	1301	1132	1419	1419
	min	102	3	60	69	3

لدى دراسة كفاءة ووثوقية صمامات العادم للأنواع المذكورة أعلاه من المحركات الرئيسية قمنا بإجراء اختبار لتجانس المعطيات الخاصة بالأعطال بهدف تحديد إمكانية جمعها في مجموعة معطيات واحدة من المادة الإحصائية التي تم تجميعها، كونها جمعت محركات رئيسية من مجموعات مختلفة من السفن، وبأعمار مختلفة.

كمعيار للتجانس يمكن أن نقبل معيار أندرسون [8] المعروف في علم الإحصاء الرياضي والاحتمالات، والذي يساعد في جمع المعطيات ضمن مصفوفات لمقارنتها بالقيم النموذجية أو بالقيمة الحرجة لمعالجة المعطيات بعد فرض مستوى معين من الأهمية التشخيصية لها (ثقل تشخيصي):

$$\left.\begin{array}{l} A = \dfrac{1}{m.n(m+n)}\left[m\sum_{i=1}^{i=m}(Z_i.i)^2 + n\sum_{i=1}^{i=n}(S_j.j)^2\right] - \dfrac{4m.n-1}{6(m+n)} \\ A^* \rangle A(\alpha) \end{array}\right\} \quad (1)$$

حيث Z_i رقم العمود وفق الترتيب بـِ y_i.

S_j رقم السطر حسب التريتب بـِ x_j (ضمن الترتيب المتنوع المبني على أساس مجموعة المعطيات الموحدة).

تبين أنه عند مستوى مختار من الأهمية أو الثقل التشخيصي $\alpha = 10\%$، تكون القيمة الحرجة لِـ $A(10\%)$ هي $A^* = 0{,}345$. أما المقادير التي يمكن الحصول عليها من الدراسة والحساب فهي: $A = (0{,}2849;\ 0{,}2949;\ 0{,}2945;\ 0{,}3117;\ 0{,}3179;\ 0{,}3399)$. وبالتدقيق بالقيم الناتجة عن الحساب نجد أن المتراجحة (السطر الثاني من العلاقة رقم (1)) محققة، أي أن كافة القيم الناتجة من حساب المعيار A أصغر من القيمة A^*، مما يعني أنه يمكن قبول فرضية تجانس جريان الأعطال لصمامات العادم للمحركات الرئيسية المذكورة أعلاه.

على أساس التحليل الإحصائي لتوزيع الأعطال تم تحديد الكثافة التجريبية للتوزيع لكل مجال من ساعات العمل:

$$f(t) = \frac{m_i}{\Delta t \sum_{i=1}^{i=n} m_i} \qquad (2)$$

حيث $\sum_{i=1}^{i=n} m_i$ الكمية (العدد) الكلية للأعطال المسجلة.

m_i الكمية (العدد) الوسطية للأعطال في كل مجال i من ساعات العمل.

Δt المجال المعتمد (المقبول) للاستثمار (ساعات العمل)

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_N}{1 + 3{,}3\ell g \sum_{i=1}^{i=x} m_i} \qquad (3)$$

حيث t_1 و t_N العنصر الأعظمي و الأصغري للصف المتغير

x قيمة المجال الزمني

العدد الكلي للأعطال المسجلة للمحرك ($B\ \&\ W$) هو $\sum_{i=1}^{i=n} m_i = 56$، أما للمحرك (*MITSUBISHI*) فهو $\sum_{i=1}^{i=n} m_i = 50$، حيث أن $\Delta t = 200[h]$ هو المجال الزمني الذي تم قبوله للمحركين.

بعد ذلك تم رسم مخططات (*Histograms*) الأعطال (الشكلين 1 و2)، وتم إجراء تحليل للأعطال ونظمت في الجدول (4)، الذي نستنتج منه أنه في 82,2 % من الحالات تكون الأعطال فجائية للمحرك ($B\ \&\ W$)، وفي 82 % من الحالات تكون الأعطال فجائية للمحرك (*MITSUBISHI*)، أما بقية الأعطال فهي أعطال تدريجية تم اكتشافها أثناء الكشوف الوقائية.

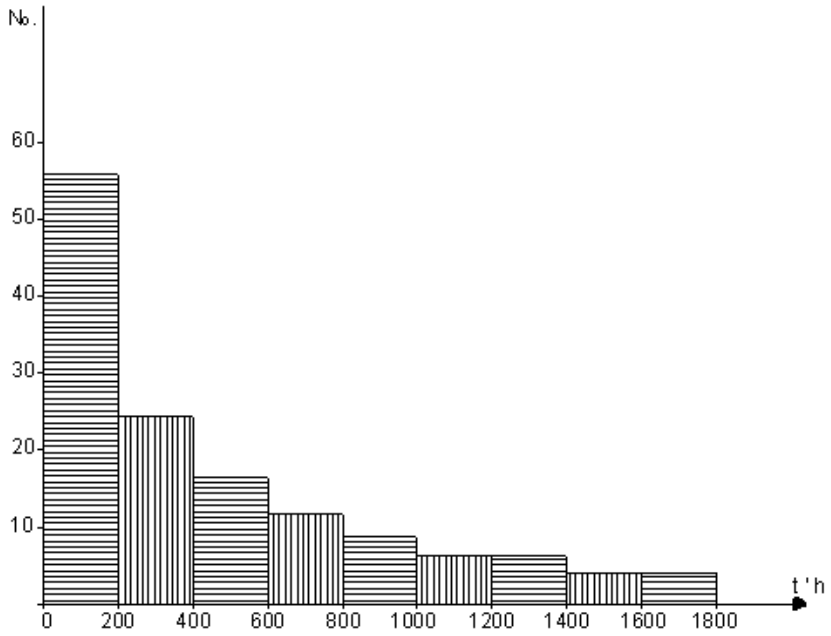
لتوضيح هذه الأعطال من المستحسن تطبيق قانون أسي [1، 8]. الشكل الخارجي للمخطط (*Histogram*) يعطي أيضاً إمكانية تطبيق قانون أسي للتوزيع. ويتم تحديد كثافة القانون الأسّي من العلاقة:

$$f(t) = \lambda . \ell^{-\lambda t} \qquad (4)$$

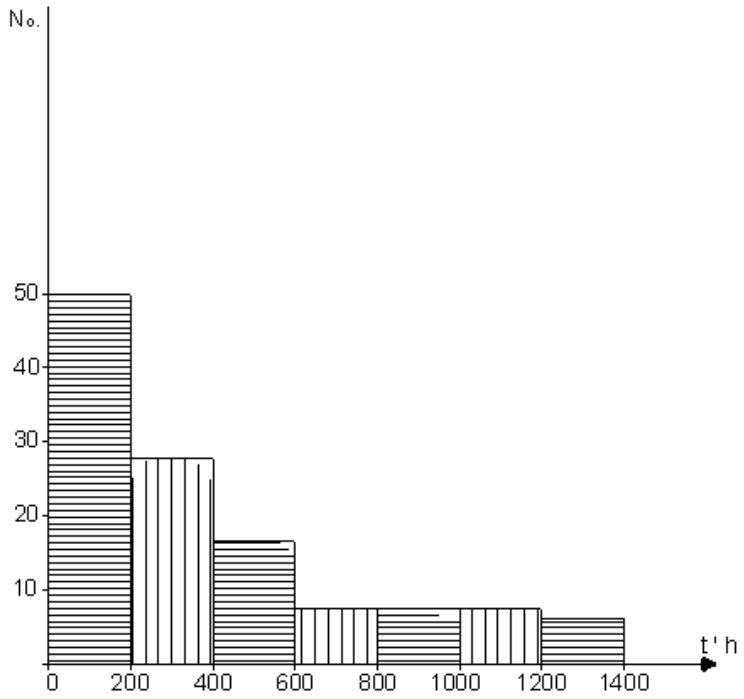
حيث ℓ عدد مجالات التقسيم الزمنية

النتائج والمناقشة:

دلت حساباتنا على أن قيمة البارامتر الذي يميز تواتر حصول الأعطال لصمامات العادم تتجاوز $\lambda = 0{,}003[h^{-1}]$ لكلا المحركين المماثلين المدروسَين، فهي تبلغ $0{,}0031[h^{-1}]$ للمحرك (*B & W*) و $0{,}0033[h^{-1}]$ للمحرك (*MITSUBISHI*)، ويعود ذلك لعدة أسباب أهمها قدم المحركات المدروسة والسفن التي رُكِّبت عليها، وعدم التقيد بتعليمات الاستثمار بشكل صحيح، واستخدام قطع تبديل مُعَمَّرة في أحيان أخرى، إضافة لأسباب أخرى أقل أهمية تم اكتشافها أثناء قيامنا بالتجريب وتجميع النتائج.



الشكل (1) مخطط (*Histogram*) حدوث الأعطال للمحرك (*B & W*)



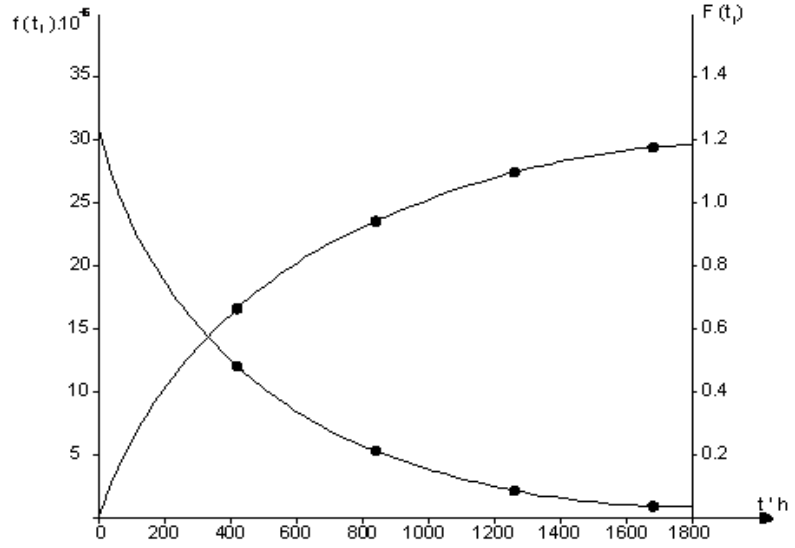
الشكل (2) مخطط (*Histogram*) حدوث الأعطال للمحرك (*MITSUBISHI*)

قمنا أيضاً بإجراء اختبار التوافق بين القانون التجريبي والقانون النظري وفقاً لقانون بواسون χ^2 ، المعروف أيضاً في علم الإحصاء الرياضي والاحتمالات، حيث تبين أن هناك توافقاً كافياً لقانون التوزيع الأسي مع القانون التجريبي، نتج عنه الأشكال (3÷6) بشكلها الحالي.

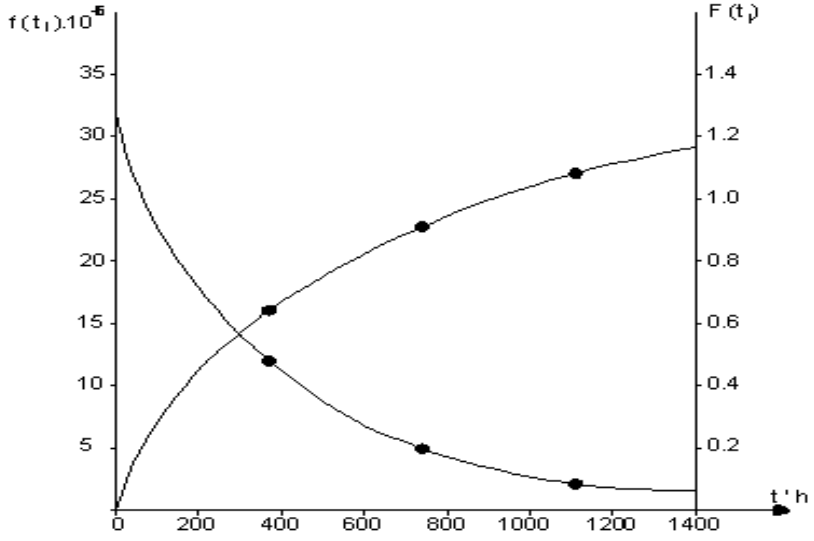
بمعرفة بارامترات التوزيع يمكن تحديد الكثافة النظرية للتوزيع لكل مجال من فترة الاستثمار (التشغيل) بالعلاقة (المشتقة أساساً من العلاقة 4 بعد تعويض البارامتر λ بقيمته الحسابية الناتجة):

$$\left.\begin{array}{ll} f(t) = 31.10^{-4}.\ell^{31.10^{-4}t} & \text{لمحركات } B \,\&\, W \\ f(t) = 33.10^{-4}.\ell^{33.10^{-4}t} & \text{لمحركات } MITSUBISHI \text{ أدناه} \end{array}\right\} (5)$$

المنحنيات النظرية الناتجة من الدراسة وحساب هذه البارامترات مبينة على الشكلين (3 و 4) أعلاه. ولزيادة الدقة في المقارنة والتحليل قمنا بجمع منحنيات حدوث الأعطال مع منحنيات توزيع الأعطال المبينة في الشكلين (5 و 6).



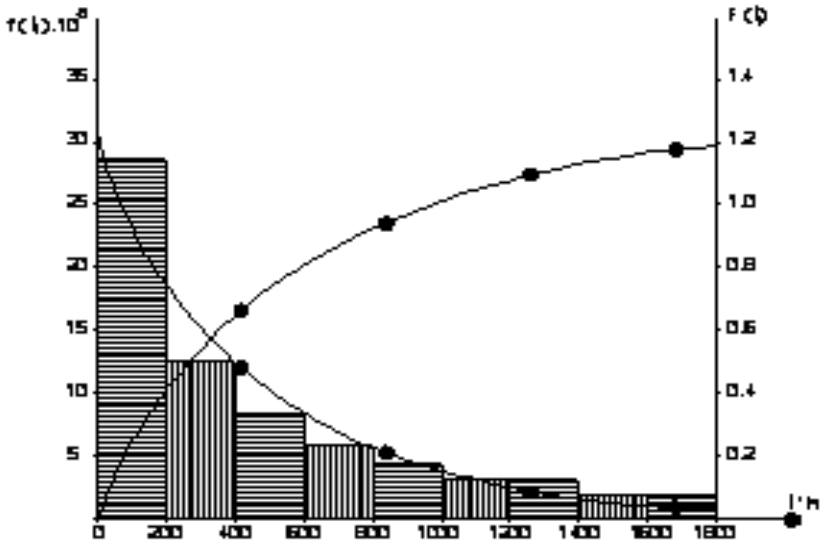
الشكل (3) مخطط توزيع الأعطال للمحرك (*B & W*)



الشكل (4) مخطط توزيع الأعطال للمحرك (*MITSUBISHI*)

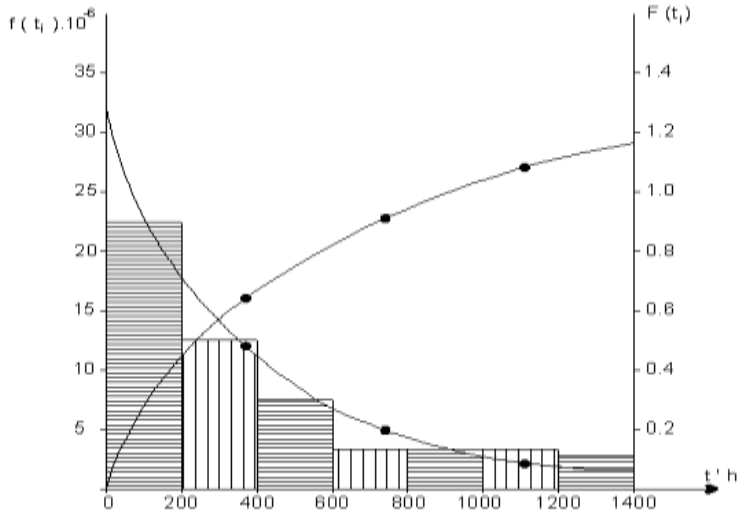
الجدول (4) توزيع الأعطال بحسب شكل (نوع) العطل

سبب عطل صمام العادم	كمية الحالات		النسبة من الكمية الإجمالية	
	المحرك (*B & W*)	المحرك (*MITSUBISHI*)	المحرك (*B & W*)	المحرك (*MITSUBISHI*)
اختلاف المعايرة	4	4	7,14	8
عدم الإحكام	6	5	10,71	10
كسر في الأجزاء	41	37	73,2	74
تآكل في الأجزاء	5	4	9	8



الشكل (5) مخطط مقارن لتوزيع الأعطال للمحرك (*B & W*)

1- مخطط (*Histogram*) حدوث الأعطال 2- كثافة توزيع الأعطال $f(t_i)$ 3- احتمالات الأعطال $F(t_i)$



الشكل (6) مخطط مقارن لتوزيع الأعطال للمحرك (*MITSUBISHI*).

1- مخطط (*Histogram*) حدوث الأعطال 2- كثافة توزيع الأعطال $f(t_i)$ 3- احتمالات الأعطال $F(t_i)$

مما سبق يمكن تحديد احتمال العمل بدون أعطال $P(t)$ ، واحتمال حدوث العطل $F(t)$ بالعلاقة [8]:

$$\left.\begin{aligned} P(t) &= \ell^{-\lambda.t} \\ F(t) &= 1-\ell^{-\lambda.t} \end{aligned}\right\} (6)$$

وبمعرفة بارامتر التوزيع λ ، وإعطاء قيمة لِـ t مساوية لِـ $t = t_i$ يمكن تحديد $P(t)$ و $F(t)$ لكل مجال من إجمالي فترة العمل حتى وقت إجراء الاختبار كما هو مبين في الشكلين (5 و 6).

إذا قمنا بتحليل المنحنيات المبينة في الشكلين (5 و 6) نجد أن الزمن الوسطي للعمل بدون أعطال (المنتظر الرياضي) للمحرك (*B & W*) هو [h] 410، بينما للمحرك (*MITSUBISHI*) هو [h] 370. وهنا تلفت النظر حقيقة أنه عند 320 ساعة عمل للمحرك الأول، و 300 ساعة عمل للمحرك الثاني يكون احتمال العمل بدون أعطال حوالي 50 %. إضافة لذلك بينت معطيات بعض مراكز البحوث [3] أن الرقم الوسطي للأعطال لصمامات العادم هو 2,13 لكل 1000 ساعة عمل لكل محرك، في الوقت الذي بلغ في المحركات المدروسة من قبلنا أكثر من 3 لكل 1000 ساعة عمل لكل محرك، والسبب في رأينا عائد لقدم هذه المحركات، وقدم السفن التي رُكِّبَت عليها.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- اعتماداً على النتائج التي تدل على أن أكثر الأعطال حدوثاً في النوعين المدروسين من المحركات هي أعطال صمامات العادم، نستنتج أن الكفاءة الاستثمارية لمحركات الديزل الرئيسية في السفن ماركة (*B & W*) و (*MITSUBISHI*) ذات الكسح الطولي تتحدد بشكل أساسي من كفاءة ووثوقية صمامات العادم.

2- يتوافق التابع التجريبي للتوزيع لتدفقات أعطال صمامات العادم في المحركات الرئيسية في السفن من كلا الماركتين (*B & W*) و (*MITSUBISHI*) بشكل جيد مع التابع النظري لقانون التوزيع الأسّي عند قيم للبارامترات[2] $\lambda = 0{,}0031[h^{-1}]$ و $\lambda = 0{,}0033[h^{-1}]$.

3- لرفع كفاءة ووثوقية صمامات العادم حتى المستوى الثاني (حيث يبلغ التواتر التوجيهي للأعطال وسطياً من 1 إلى 1000 ساعة عمل للمحرك) من الضروري أثناء الاستثمار أن يتم مراقبة منظومة التحريك الهيدروليكي لصمامات العادم كلٌ على حدة. كما يجب تخفيض عدد أنظمة العمل الانتقالية للمحرك إلى الحد الأدنى، وإيلاء عناية خاصة لتبريد الصمامات ولمبرد الهواء.

4- يُلاحظ أن إمكانية حدوث الأعطال تقل كلما ابتعدنا عن النقطة الصفرية المذكورة أعلاه، وذلك عائد لتحسن الأداء مع زيادة فترة التنعيم إلى أن نصل إلى الحد الأدنى بعد مرور حوالي 1200÷1400 ساعة عمل بعد النقطة الصفرية، مما يوجب زيادة الانتباه خلال هذه الفترة لنظام تبريد الرأس والصمامات بشكل خاص، ولأي أصوات أو اهتزازات في رأس الأسطوانة بشكل عام.

5- يجب مراقبة التوزيع المنتظم للحمل على أسطوانات المحرك من خلال أجهزة القياس المناسبة لمختلف البارامترات ذات الدلالة التشخيصية، وذلك لتجنب حدوث أعطال فجائية لصمامات العادم، كون هذه الأعطال يمكن تحويلها إلى أعطال تدريجية من خلال المراقبة الصحيحة والأعمال المقترحة في الفقرة السابقة، وحينئذٍ يمكن التعامل معها بسهولة من خلال تطبيق قواعد الصيانة.

6- يجب أن يبدأ الكشف الوقائي على صمامات العادم في هذه الأنواع من المحركات كل 4000 ساعة عمل وليس كل 5000 – 7000 كما هو وارد في كتيبات استثمار المحركين المذكورين، خاصة وأن المحركات المدروسة ذات عمر استثماري كبير ومركبة على سفن باتت قديمة.

المراجع:

1. НЕДЕВ, А.; ЧАВДАРОВ, Д. *Изпитване На Корабни Силови Уредби.* Издание., ВМЕИ-Варна, 2003, 317. 2^{po}
2. НЕДЕВ, А.; КАМБЕРОВ, Д. *Някои ЗакономерностиНа Отказите На Някои Типове Главни Дизелови Двигатели През Гаранционния Период.* ВМЕИ-Варна, 1993, 224.
3. КАПРОВ, Л. Н. *Надежностъ Главных Двигателей Отечественных Теплоходов* . Труды ЦНИИМФ, Вып. 1973, 179.
4. ЛИКВЕР, Л. А. *Показатели Надежности Главных Двигателей Теплоходов Типа "Божица"* . Труды ЦНИИМФ, Вып. 1970, 125.
5. الأرشيف الفني لبعض الشركات البحرية السورية (*GHANDOUR GROUP*، *YAMAK SHIPPING*، *DIAMOND* ،*ALLOUF SHIPPING* في طرطوس، وشركة *ALTOUN SHIPPING CO.* في اللاذقية)، وأرشيف القسم الفني في سفنها.
6. *Mitsubishi marine diesel engines, Low Speed, Marine Propulsion for Large Ships.* Mitsubishi Heavy Industries L.T.D., Japan, Kobe, 12.2010,153.
7. *M.A.N. B&W 60-35 ME-B-TII Type Engines, Engine Selection Guide, Electronically Controlled Two-Stroke Engines with Camshaft Controlled Exhaust Valves.* 1st Edition., Denmark, Copenhagen, June 2010, 325.
8. ГМУРМАН, В. Е. *Теория Вероятностей И Математическая Статистика.* 2ю Изд. Высшая Школа, Москва 1997, 368.