مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (2) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (2) 2019

طرق تخفيض اصدارات NOX لمحركات الديزل الجرية في ظروف التشغيل

د. عواطف وحيد نصره[1]

(تاريخ الإيداع 17 / 1 / 2019. قُبِل للنشر في 24/ 4 / 2019)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة مشكلة التلوث بالنواتج التي يخلفها الإنسان، والتي تستدعي اهتماماً كبيراً من قبل جميع الدول الصناعية وسائط النقل وفي مقدمتها محركات الديزل الجرية أحد أسباب ملوثات البيئة.
في هذا البحث تم التطرق إلى أساليب وطرق تخفيض انبعاثات NOX لمحركات الديزل الجرية العاملة. ومن خلال البحث تبين أن طريقة التحسين النوعي لعملية الانضغاط تعتبر من أفضل وأنسب الطرق المستخدمة لتخفيض NOX، وذلك لعدم الحاجة لأجهزة ومعدات إضافية للمحرك. وتُبين الدراسة أنه من أجل حل مشكلة ضرر سمية غازات العادم في وحدات الديزل البحرية يجب حلها ليس فقط من الناحية البيئية بل أيضاً من الناحية الاقتصادية لذلك يجب البحث عن طرق ذات فعالية تنظيف عالية وبتكاليف منخفضة.

الكلمات المفتاحية: محركات الديزل الجرية، تلوث البيئة، إصدارات العادم.

[1]أستاذ مساعد – قسم الهندسة البحرية – كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (2) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (2) 2019

Ways to reduce NOX versions of diesel engines in operational conditions

Dr. Awatef Wahid Nasra[(1)]

(Received 17 / 1 / 2019. Accepted 24 / 4 / 2019)

□ ABSTRACT □

The aim of this research is to study the problem of pollution of man-made products, which calls for great attention by all industrial countries and modes of transport, especially diesel engines, which are one of the causes of environmental pollutants.
In this paper, the methods of reducing the NOX emissions of working diesel engines were discussed. The research showed that the method of qualitative improvement of the compression process is considered to be one of the best and most suitable methods for reducing NOX, because no additional equipment is required for the engine. The study shows that in order to solve the problem, the damage and toxicity of the exhaust gasses in the diesel units should be solved not only from the environmental point of view but also from the economic sense. Therefore, methods of high cleaning efficiency and low costs should be sought.

Keywords: Diesel engines, Environmental pollution, Exhaust systems

[(1)]Associate professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تصدرت في السنوات العشرين الأخيرة مسائل تأمين حماية الوسط الطبيعي المحيط، وأصبحت في عداد أهم المسائل التي من الضروري حلها من قبل الإنسان.

إنَّ استخدام الموارد الطبيعية بدون تفكير، والرمي المستمر للمواد الضارّة في الوسط المحيط، التي تشكّل خطراً على حياة الإنسان وعلى البيئة المحيطة، أدى إلى ضرورة التشدد في القوانين ومعايير النواتج والمخلفات السامة المسموح بها.

تشكّل وسائط النقل والتي تنضم إليها وحدات الطاقة البحرية حيث تتصدر محركات الاحتراق الداخلي – المكان الأول للتلوث – نواتج الاحتراق في أسطوانة الديزل تتشكل نتيجة لتأكسد مركبات الوقود بأكسجين المواد وبنتيجة الإتحاد بالأكسجين والآزوت المتواجدين في الهواء مع مركبات الوقود ونواتج الإحتراق. خلال عمليات التشغيل (الاحتراق – التمدد) العناصر السامة الناتجة عن احتراق الوقود هي أول أكسيد الكربون Co، الأوزون O3 والشحار C أكاسيد الآزوت (No; No2)، غاز النشادر (الأمونيا) NH3، ثاني أكسيد الكبريت So2، كبريتيد الهيدروجين H2S، ثاني كبريتيد الكربون CS2، ميتين CH، ميثيل CH3، فورمالديهيد H2 وبنيوبيرين C2OH12 [1].

تشكّل إصدارات NOX الناتجة عن وحدات الديزل الجرية (7%) من النواتج العالمية لـ NOX. من أجل ذلك تُجرى وبشكل دوري أبحاث ودراسات لإيجاد وسائل وطرق فعالة لتخفيض النواتج والمخلفات الضارة الناتجة عن محركات الديزل البحرية العاملة، وفي الوقت ضمان وتأمين نفقات تشغيل غير مرتفعة.

وبالتالي يعتبر تخفيض نواتج ومخلفات أكاسيد الآزوت NOX من غازات العادم إحدى أهم المسائل الحيوية والملحّة التي تشغل الباحثين والدارسين من أجل تحقيق بيئة نظيفة آمنة، وبتكاليف منخفضة.

أهمية البحث وأهدافه:

تأمين بيئة نظيفة آمنة تُعتبر من أهم الوسائل المُلحة التي تشغل الباحثين والدارسين، والتي تُشكل وسائل النقل وفي مقدمتها محركات الديزل أحد أسباب ملوثات البيئة. أما هدف البحث فهو إيجاد وسائل وطرق فعّالة لتخفيض نواتج محركات الديزل لـ NOX من غازات العادم.

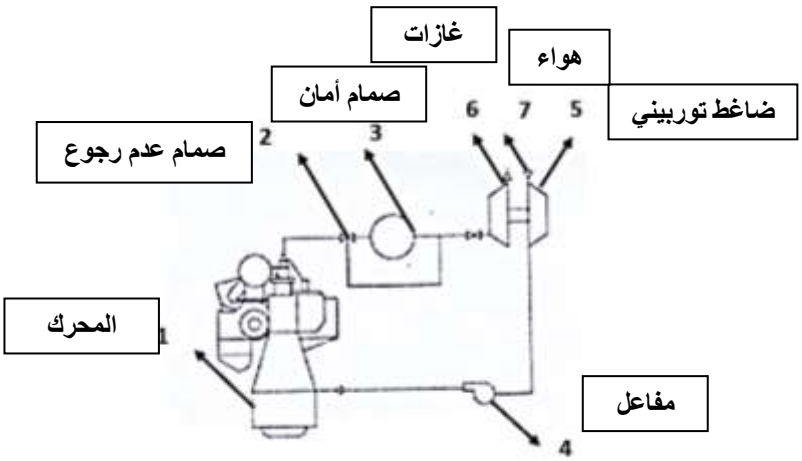
طرائق البحث ومواده:

من أجل وحدات الديزل العاملة تم إنجاز عدة طرق لتخفيض تركيز NOX في غازات العادم. ولهذه الطرق تُنسب:

- طريقة المحفزات الانتقائية والحفازات غير الانتقائية للتنظيف (SCR, SNCR).
- إعادة تدوير غازات العادم (EGR).
- تطبيق أنظمة حقن أو ضخ المياه (WIS).
- تطبيق الحقن المزدوج.
- تطوير وتحسين أجهزة ومعدات الوقود.
- استخدام عناصر وقود إضافية للوصول بالعملية إلى المثالية [2].

النتائج والمناقشة:

يُعتبر أسلوب التنظيف بالمحفزات الإنتقائية الطريقة الأكثر مثاليّة لتحسين المواصفات والمميزات البيئية لمحركات الديزل البحرية، والشكل (1) يبين أسلوب هذه الطريقة.



الشكل (1): مخطط تدفق وعبور الغاز في محرك عدد دوراته منخفض مع نظام SCR.

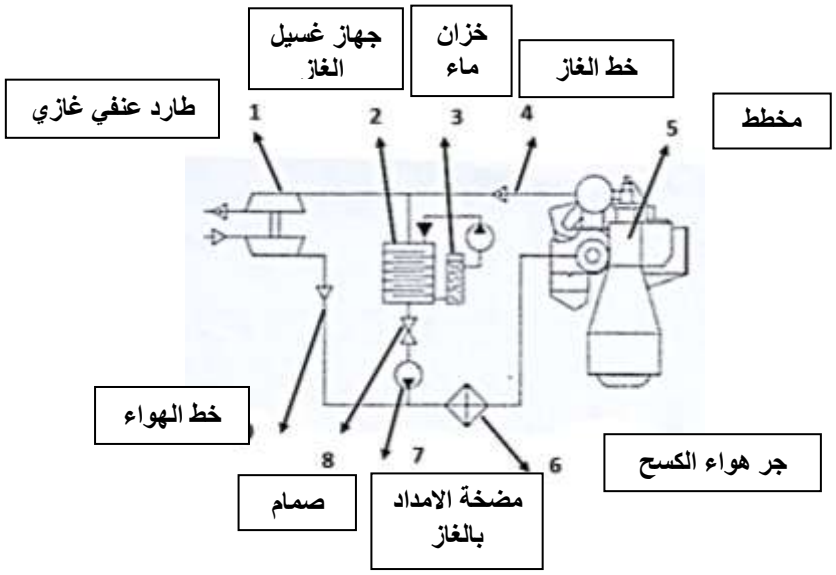
1- المحرك، 2- صمام عدم رجوع، 3- صمام أمان، 4- مفاعل، 5- ضاغط توربيني، 6- غازات العادم (المرفق)، 7- هواء.

تستخدم هذه الطريقة بشكل فعلي فقط في وحدات الطاقة البحرية حديثة التصميم والإنتاج. من سلبيات هذه الطريقة أنها تتميّز بتكاليف مرتفعة لتجهيز وحدات الديزل الجرية وتحويلها على نظام SCR للمفاعل مما يجعلها غير مناسبة للاستخدام في التطبيق العالمي لتخفيض نواتج NOX.

الطريقة الثانية من حيث الانتشار والتطبيق بعد أسلوب المحفّز الإنتقائي: يتم تطبيق الأسلوب الإنتقائي غير المحفز (نظام – SNCR) ويتميز هذا الأسلوب بخاصية الارتباط الإنتقائي المتبادل مع NOX وتتميز هذه الطريقة بفعالية عالية لتنظيف غازات العادم تصل إلى %(90 ÷ 80).

إعادة تدوير غازات العادم ECXR:

وتعتمد هذه الطريقة على تحرير غازات العادم قبل الضاغط العنفي من فتحة خزان التصريف في نظام الكسح بالهواء. المخطط الأساسي لنظام ECXR موضح على الشكل (2).

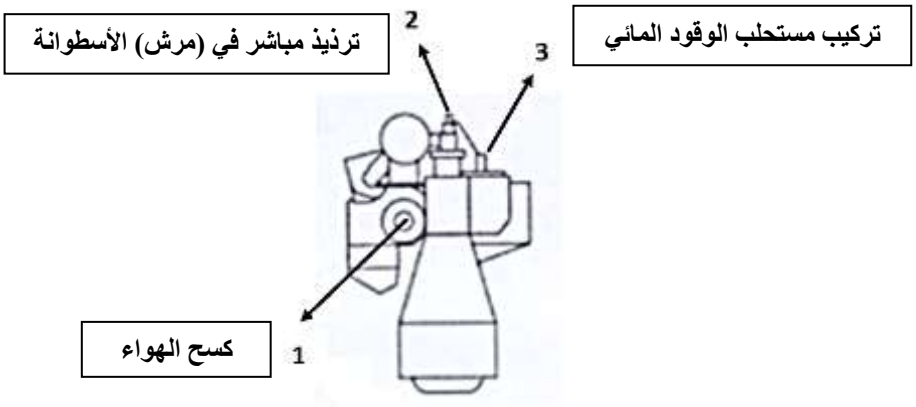


الشكل (2): المخطط الأساسي أو المبدئي لإعادة تدوير منتجات ونواتج الغازات.
1- طارد عنفي غازي، 2- جهاز غسيل الغاز، 3- خزان ماء، 4- خط الغاز، 5- مخطط (EGR)، 6- جر هواء الكسح، 7- مضخة الامداد بالغاز، 8- صمام، 9- خط الهواء.

يقوم الحاقن الكهربائي ذو الضغط العالي بضخ غازات العادم إلى جهاز غسيل الغاز المائي في وحدة تصريف عالية الضغط لنفخ الهواء. جهاز غسيل الغاز يقوم بتبريد الغاز وبنفس الوقت بفصل SOX. والأجزاء الصلبة وهذا يتم قبل توجيهها ثانية إلى حجرة الاحتراق. والنتيجة النهائية لتخفيض نواتج NOX يتم التوصل إليها بفضل خلط أو مزج جزء من الأكسجين بغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، ونتيجة لذلك وبسبب إبطاء عملية الاحتراق تنخفض الذروة العظمى لدرجة الحرارة.

خلال إعادة تجهيز وحدات الديزل العاملة على استخدام هذا النظام لتخفيض NOX لا يتوجب حل المسائل التصميمية فقط بل ومعالجة ميزات ضاغط الغاز التوربيني (تغيير الصفات الوزنية للغازات القادمة إلى العنفة ومزيج الهواء مع الغاز الذي تم تدويره إلى الأسطوانة).

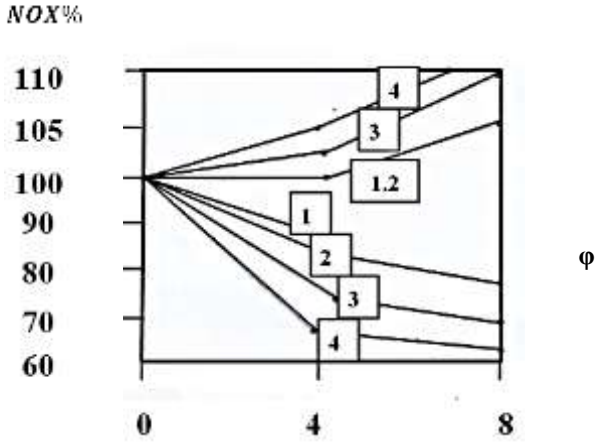
هناك الكثير من الدراسات حول تخفيض إصدارات NOX تستخدم مياه عذبة في عملية التشغيل حيث تُعطى المياه في مجمع وهذا موضح في الشكل (3). حيث تحقن مباشرة في أسطوانة محرك الديزل أو تُضخ بوساطة مضخة وقود عالية الضغط مع الوقود على شكل مستحلب وقود مائي BTƏ. يتم ترطيب المواد بطريقة حقن الماء في مجمع هوائي يسمح بشكل ملحوظ بتخفيض محتوى NOX من غازات العادم. عند حقن الماء في مجمع الهواء يتشكل مزيج متجانس مُسخن بشكل جيد. حيث تكون كتلة أبخرة الماء قليلة بالمقارنة مع كتلة الهواء، وبالتالي ليس بالإمكان تحقيق تخفيض ملموس لدرجة الحرارة في لحظة حقن الوقود وفترة تأخير الاشتعال تبقى ثابتة. عند عمل المحرك على BTƏ (كمية الماء المثلى أو الأساسية في المستحلب لأنواع مختلفة من نماذج محركات الديزل تصل إلى %(40 ÷ 15).



الشكل (3): استخدام المياه العذب لتخفيض انبعاثات NOX .
1- كسح بالهواء، 2- ترذيذ مباشر في (مرش) الأسطوانة، 3- تركيب مستحلب الوقود المائي.

نواتج أكاسيد الآزوت يمكن تخفيضها إلى $\%(30 \div 20)$، لكن في هذه الحالة سيزداد تأخير اشتعال الوقود، وهذا يتطلب زيادة زاوية تسبيق الحقن. وتعتبر هذه الطريقة الأكثر تطبيقياً واستعمالاً كونها تعطي نتائجاً مقبولة لدرجة كافية لتخفيض انبعاث NOX بالإضافة إلى نفقات كبيرة نسبياً.

لأجل تحسين الصفات والميزات البيئية للديزل تم إجراء بعض التعديلات التصحيحية لعناصر وأجهزة معدات الوقود. كذلك إعادة تنظيم وضبط متغيرات عملية التشغيل. حيث تبدي زاوية تسبيق أو تأخير حقن الوقود تأثيراً كبيراً وواضحاً على تركيز NOX الناتج، وحسب معطيات شركة مان فإن حقن الوقود عند $8^o.M.K.B$ بعد BMT تؤدي إلى تخفيض نواتج NOX تقريباً إلى $\%(30 \div 25)$ عند أحمال مختلفة، وهذا موضح في الشكل (4).



الشكل (4): تأثير زاوية تسبيق أو تأخير مرش الوقود على مخلفات أو نواتيج NOX ،
والتدفق القوي للوقود عند أحمال مختلفة.

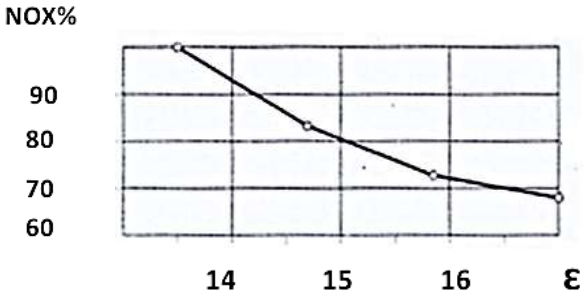
لكن خلال ذلك يزداد التدفق النوعي للوقود إلى $\%(10 \div 8)$. وتزداد نسبة الدخان إلى $\%(5 \div 2)$ [3]. وهذا يعني أنه يمكن استخدام هذه الطريقة لتخفيض نواتج NOX إذا كان المحرك يمتلك مخزون احتياطي اقتصادي يغطي قيمة التدفق أو الاستهلاك النوعي للوقود المسموح به. كذلك هناك تأثير ملموس لتخفيض نواتج محركات الديزل الموضوعة

في الخدمة تعطيها تغييرات تصميم الأجهزة أو معدات الوقود مثل شركة MAH حيث تقترح تبديل وتغيير مرش محقنة الوقود (بمرشات) تُعطي محتوى منخفض لـ NOX. حيث تمتلك هذه المرشات تصميم يؤمن مصروف نوعي منخفض للوقود مع إجهاد ودرجة حرارة منتظمين ومنخفضين لأجزاء حجرة الإحتراق.

النهاية المفتوحة لـ Low-NOX تختلف عن النظامية أو القياسية بالعدد أو بالكمية وبالقطر وبتوضع الثقوب المفتوحة.

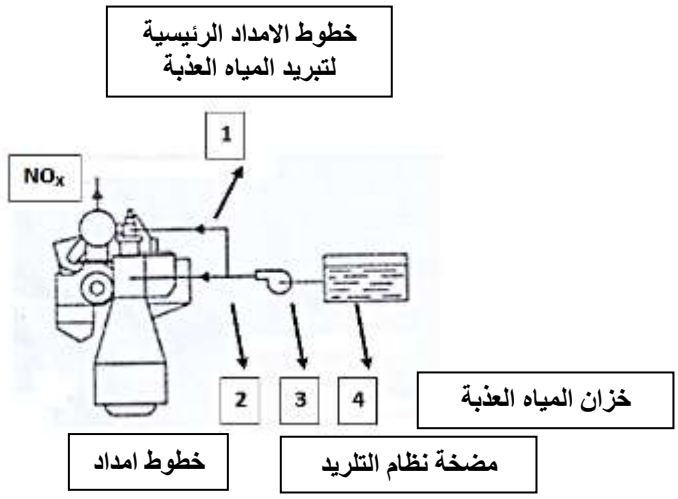
على سبيل المثال:

- محرك 550MC مع مرذاذ نظامي أو قياسي يملك 4 ثقوب بقطر 1,15 mm. أما مرذاذ أو مرش Low-NOX فيملك 6 ثوب بقطر 0,95 mm.
- اختيار عدد أو مقدار مقاطع العبور للثقوب والزوايا يتم تحديدها بطريقة حسابية وفق برنامج مثالي، وبعدها يتم إجراء اختبار تجريبي على المحرك.
- كذلك يمكن تخفيض انبعاث NOX عن طريق التحسين النوعي لعملية الانضغاط. حيث يوضح الشكل (5) تأثير درجة الانضغاط (ε) على محتوى NOX، في غازات العادم [4].



الشكل (5): تأثير درجة الانضغاط (ε) على المحتوى النسبي و NOX في غازات العادم.

وإذا اعتبرنا أن عناصر التصريف أو الإطلاق لتبادل الغازات تغلق في وقت واحد مع عناصر الحقن أو الضخ، هذا يعني أن (ε) يمكن أن تزداد بزيادة درجة الانضغاط الهندسية. أيضاً يمكن أن يزداد الدليل البوليتروبي للانضغاط على حساب زيادة شدة تبريد عناصر مجموعة الإسطوانة والمكبس. وتعتبر هذه الطريقة أحد الحلول المثالية لوحدات الديزل العاملة والتي لا تتطلب معدات وأجهزة إضافية للمحرك آخذين بالاعتبار التنظيف الدوري. يمكن أن يستخدم كاحتمال تغيير درجة الانضغاط الهندسية، وكذلك احتمال تغيير نظام التبريد، وهذا موضح في الشكل (6).



الشكل (6): يبين تغير شدة تبريد الأجهزة أو المعدات لمجموعة الأسطوانة والمكبس بهدف تخفيض انبعاثات NO_x.
1- خطوط الإمداد الرئيسية لتبريد المياه العذبة، 2- خطوط امداد 3- مضخة نظام التبريد، 4- خزان المياه العذبة.

بالإضافة إلى الأخذ بالاعتبار أن الاستهلاك والنفقات الكبيرة للطاقة في الصناعة والنقل تتطلب الكثير من الطاقة الخام. واحتياطي الطاقة يمكن أن ينضب. لذلك فإن مشكلة السميّة لغازات العادم الصادرة عن محركات الديزل البحرية يجب حلها ليس من وجهة واحدة فقط بل يجب أخذ الوجهة الإقتصادية بالاعتبار. هذا يعني أنه في الدور الأول، للحصول على طرق وأساليب تخفيض إصدارات NOX، والسميّة من غازات العادم. يمكن استعمالها على نطاق واسع، وغير مكلفة بحيث تخفض اقتصادية المحرك، وفي نفس الوقت توفر الوقود.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- استخدام المحفزات يؤدي إلى تخفيض NOX من غازات العادم.

2- إعادة تدوير غازات العادم.

3- تخفيض NOX عبر إضافة الماء العذب، حيث يتم ترطيب الهواء، وتخفيض NOX إلى $\%(30 \div 20)$، وتعتبر هذه الطريقة الأكثر تطبيقاً كونها تعطي نتائج مقبولة وبنفقات غير كبيرة نسبياً.

4- تحسين الصفات والميزات البيئية لمحركات الديزل يتم إجراء تعديلات تصميمية لعناصر وأجهزة الوقود: تغيير مرش محقنة الوقود وتعديل نهاية الفوهة يؤدي إلى تخفيض NOX. حيث تؤمن مصروف نوعي منخفض للوقود مع درجة حرارة منخفضة لحجرة الاحتراق.

5- استخدام إضافات ومتابعة البحث عن إضافات وطرق أخرى تؤدي إلى فعالية أفضل واقتصادية أكبر.

المراجع

1. Kolosv, V. D.; Totkaylo, V. V. Shipboard diesel and diesel – gas-turbine propulsive plants. Settlemen – graphic operations. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2005, 129 pages.
2. Zlobin, V. G. The theory, designing and maintenance of shipboard thermal engines. Part 3. Features of maintenance shipboard thermal engines on different conditions. Naval academy, 2004, 287 pages.
3. Roslykov. E. M. Energetic power equipment of life support systems of vessels. Saint Petersburg: Polyengineering, 2004, 450 pages.
4. Zlobin, V. G; Baranovskiy, V. V. Shipboard propulsive plants. Saint Petersburg: Naval academy, 2003, 356 pages.
5. Rubalko, V. V. shipboard propulsive plants. Problems of development and maintenance. Saint Petersburg: Naval engineering institute, 2003, 381 pages.
6. Radchenko, V. A: Rumb, V. K. A fundamentals of designing and a strength calculation of details of piston group diesels. The manual. Saint Petersburg: State sea technical university, 2003, 74 pages.
7. Pervuhin, M. G. Architecture of maintenance of shipboard power systems. The manual. Saint Petersburg: Naval academy, 1993, 310 pages.
8. Vasiljev-Jugin, R. M. Shipboard internal-combustion engines. A part I. The theory of working processes, Leningrad: Naval engineering institute, 1989, 308 pages.
9. Konakov, G. A. Ship propulsive plants and engineering maintenance of fleet. The textbook for high schools. Moscow: Transport, 1980, 423 pages.
10. Levko, A. F; Pilipieko, N. N., Ivanov, V. V. Analytical designing, features of simulation and optimization of conditions of use of Shipboard propulsive plants with internal-combustion engines. Saint Petersburg: Naval academy, 2000, 223 pages.