الباب الخامس

التحكم فى إنبعاثات غاز العادم Exhaust emissions and control

5- مقدمة .

إمتلك مصممو المحركات البحرية فى السنوات الأخيرة عنوان التحدى للتحكم فى إنبعاثات غازات العادم الضارة ولقد تم فرضها بواسطة سلطات الأقاليم الوطنية مع الإستجابة لتنفيذها .

وذلك فيما يتعلق بزيادة تلوث الهواء الجوى من إنبعاث غازات العادم للمحركات البحرية وتشمل هذه الغازات النيتروجين ، الأكسجين ، غاز ثانى أكسيد الكربون ، وبخار الماء مع كمية صغيرة من أول أكسيد الكربون وأكاسيد الكبريت والنيتروجين وذلك بالتفاعلات الجزئية ، والهيدروكاربون الغير مشتعل وبعض جزيئات المواد شكل .5-2 , 5-1

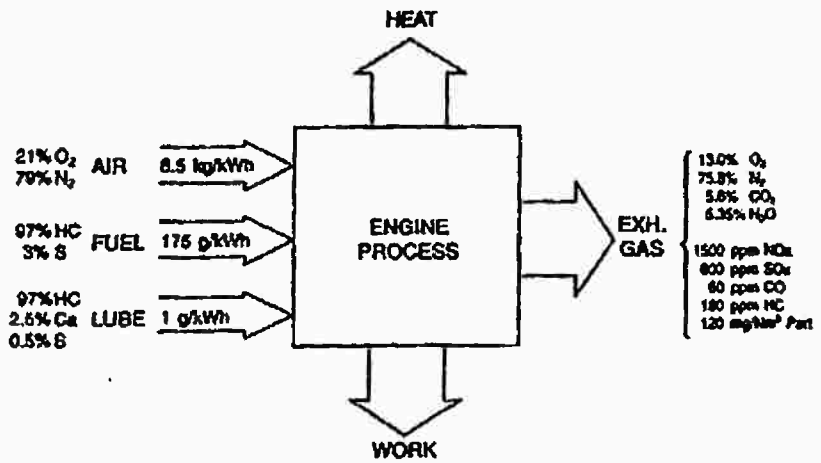


Figure 5.1Typecal exhaust emission from a modern low speed diesel engine

ويتولد أكسيد النيتروجين NO_x بإتحاد النيتروجين مع الأكسجين عند درجات الحرارة العالية للحريق فى غرفة الإحتراق – ويعتقد أنها مادة مسببة للسرطان- ويتكون على شكل خلية ضبابية فوق المدن تسبب أمطار حمضية مما يسبب حموضة المياه والتربة .

ومحركات الإحتراق الداخلى الأولية يتولد عنها أكسيد النيتروجين بنسبة أقل من 10 % لحظة خروجه مع غازات العادم ، وينتج عن الكبريت الموجود فى الوقود أكسيد الكبريت SO_x ويلاحظ أن رائحته كريهة وغيرمرضية ويعمل على تهيج

الغشاء المخاطى ، وهو المصدر الرئيسى فى تكون الأمطار الحمضية بتفاعله مع بخار الماء ليكون حامض الكبريتوز ، وهذه الأحماض تفوق مشكلة التلوث .
وعند إنطلاق إنبعاثات غازات العادم إلى الهواء تحمل معها أكسيد الكبريت SO_x منات الأميال حيث تمطر السحب أمطارًا حمضية على الأنهار والبحيرات وبالتالى تنخفض- قلوية المياة- ويؤدى الكبريت المترسب فى التربة إلى زيادة مستوى السلفات فى التربة ويعمل على عدم تحلل اشكال فوسفات الألومنيوم مما يسبب نقص عنصرالفوسفور فى التربة وتوجد مناطق كثيرة فى القارة الأوروبية تحتوى على مياة جوفية حمضية مما يؤدى إلى تآكل شبكة مواسير الشرب التى تزود بها المجتمعات العمرانية وكذلك زيادة المخاطر الصحية نتيجة إذابة بعض المواد الضارة فى مياه الشرب كذلك يصبح تلوث تربة الغابات عالى جدًا لإحتوائها على مواد سامة تزيد نسبتها عن المعدلات الطبيعية وأيضًا تلوث المبانى والبنايات .

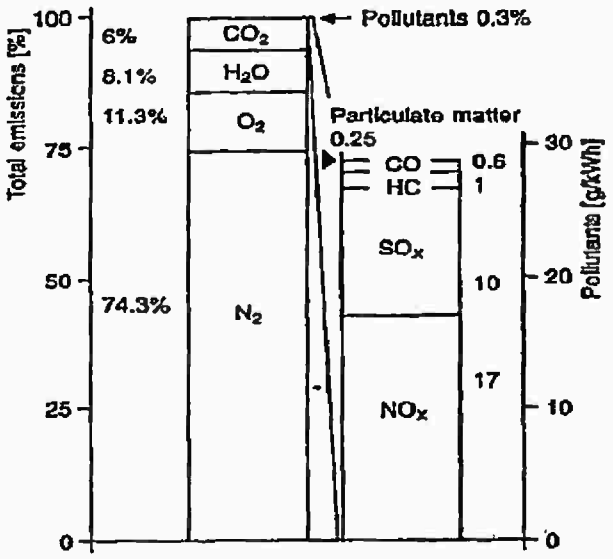


Figure 5-2 Typical composition of the exhaust gas products of a medium speed diesel engine burning fuel with an average 3 per cent sulphur content .

والهيدروكاربون Hc الناتج عن عدم إحتراق الوقود والزيوت حرقاً كاملاً وكذلك بخار الوقود يسببان رائحة كريهة ومادة تسبب السرطان الجزئى و تكون دخان ضبابى يعمل على تهيج المادة المخاطية للنسيج الغشائى .

وعلى أى حال فإن المحركات الحديثة تعمل على تخفيض هذه الإنبعاثات ويكون إنخفاضها مثالى .

وينتج عن الحريق الغير كامل داخل الإسطوانة أيضًا أول أكسيد الكربون وذلك نتيجة إنخفاض أو نقص نسبة الهواء إلى الوقود وكذلك إنتاج ثانى أكسيد الكربون عند تركيزه ينتج مادة سامة ،وكذلك مواد دقيقة مع تكون خليط مركب من المواد العضوية والغير عضوية ، والرماد ،الكبريتات والمياة .

كل هذا أكثر من نصف جزيئات كتلة السناج ،وجزيئات غير عضوية محتوية على الكربون ، والدخان الواضح ، جزيئات من السناج والعناصر الكربونية غير المحترقة إحتراقاً كاملاً والغير سامة والهيدروكاربون المائى المتراكم وبعض منها يعتقد أنها تسبب السرطان .

ولايزيد حجم الجزيئيات عن 0.003 من حجم غازات العادم .

وتكون كمية الإنبعاثات المضرة حوالى من 0.25 إلى 0.4% بالحجم من غازات العادم .

وتعتمد على كمية عنصر الكبريت فى الوقود، وتكون القيمة الحرارية للكبريت منخفضة وتعتمد أيضًا على نوع المحرك ، وسرعته ، وكفاءته . وهذه بعض الآراء عن التلوث الحقيقى المجهزة بواسطة شركة MAN B &W ديزل والتى أعلن عنها فى المحرك طراز 18 V 48 / 60 متوسط السرعة ، وتكون كمية إنبعاث NO_x مثالية عندما يعمل المحرك عند الحمل الكامل وبالوقود الثقيل الذى يصل نسبة الكبريت فيه إلى 4 % ويكون مجموع أوزان الغازات الضارة المنبعثة حوالى 460 كيلوجرام فى الساعة من حوالى 136 طن من كتلة غازات العادم الخارجة من المحرك و 0.35 من غازات العادم المسببة للتلوث .

ويسهم غاز أكسيد النتروجين فى تلوث البيئة بنسبة 0.17 % to 0.15% من ثانى أكسيد الكبريت ، 0.007% من أول أكسيد الكربون ،0.02 % من الهيدروكابون ، والرماد والسناج بنسبة 0.003% .

ثانى أكسيد الكربون CO_2:

وفى هذا المحرك تكون نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون من إجمالى نسبة غازات العادم أقل من 6% بالرغم من عدم سميته ، ويسهم غاز ثانى أكسيد الكربون فى رفع درجة حرارة الكرة الأرضية وتغيير مناخها الجوى، وينتج الغاز من حريق الوقود الحفرى وتعتبر الإنبعاثات من محركات الديزل الحديثة أقل إنبعاثا من أى محركات حرارية أخرى – مع كفاءتها الحرارية العالية – ومع كمية الوقود المنخفضة المستخدمة فى عملية الإحتراق والمحولة إلى إنبعاثات غازية تقلل من كمية إنبعاث ثانى أكسيد الكربون نسبيًا لإنخفاض حجم الوقود المحترق .

وبناءا عليه فعند حرق واحد طن من وقود الديزل ينتج عنه ثلاثة أطنان من غاز ثانى أكسيد الكربون ، ولقد اهتم العالم بتأثير غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 على الهواء الجوى ولقد أظهر التخطيط مع القياسات كبح نمو هذه الإنبعاثات الضارة .
ويعمل القائمين على الصناعات البحرية عمل تشريعات فى المستقبل للتحول من وسائل النقل الأخرى إلى النقل بالسفن .
ولهذا سوف تؤدى النتائج الجوهرية الكلية على تخفيض الإنبعاثات الغازية وزيادة فى الكفاءة الحرارية لمحركات الديزل .
ومن قبل فإن تقدم محركات الديزل الحديثة (ذات مستوى الكفاءة العالى) يكون محدود بطرق أخرى متبعة ، والتشغيل الإقتصادى فى نهاية الخدمة للمحركات المستخدمة لوقود الديزل أو وقود الغاز بدلا من الوقود الثقيل عالى الكبريت وإستخداماته فى محركات الديزل المنتجة للكهرباء لتغذية محركات الدفع للسفن propulsion (وفى هذه الحالة تستطيع المحركات أن تعمل بإستمرار عند الكفاءة العالية) وكذلك دوائر تحتوى على محركات الديزل والتربينات البخارية ، ويشجع ذلك على حقن البخار فى محركات الديزل .
وبمقارنة قدرات محركات الديزل الرئسية الأرضية مع محركات وقود الديزل على السفن المحتوية على نسبة عالية من عنصر الكبريت (والذى يصل نسبته إلى 4.5% وأكثر) والذى يدل على إسهامه بكمية كبيرة من إنبعاث ثانى أكسيد الكبريت) فى البحار والموانى المحيطة بها .
وفى عام 1990 تمت دراسة فى القارة الأوربية على نسبة تلوث ثانى أكسيد الكبريت ولقد أسهم فى تلوث الهواء الجوى بنسبة 4% ، وأرتفعت نسبة التلوث فى عام 2001 لهذا الغاز إلى 12% ، وفى عام 2010 زادت إلى 18% .
والإنبعاثات الضارة الصادرة من محركات الديزل تشمل على ثانى أكسيد الكبريت مع كمية صغيرة من ثالث أكسيد الكبريت، ويرجع ذلك إلى عدم التحكم فى عملية الحريق داخل غرفة إحتراق المحرك . مثلا عند إستخدام وقود بنسبة كبريت حوالى 3% بالحجم ينتج عنه حوالى 64 كيلوجرام من ثانى أكسيد الكبريت لكل طن من الوقود المحترق.
وعند إحتواء الوقود على نسبة 1% من عنصر الكبريت تكون كمية إنبعاث ثانى أكسيد الكبريت حوالى 21 كيلوجرام لكل طن من الوقود المحترق.
ويوجد إهتمام عالمى بتأثير ثانى أكسيد الكبريت على الهواء الجوى والتربة ، ومع التخطيط والدراسة ومتابعة القياسات يعمل على الحد من هذه الإنبعاثات كذلك العمليات الكيماوية وأجهزة الغسيل لإزالة الكبريت والعمل على إزالة ثانى أكسيد الكبريت من غازات العادم ولكن هذه الطرق معقدة وتطبيقها على السفن مكلفة جدًا وذلك للأحجام الكبيرة المستهلكة من الوقود وزيادة تكلفة الصيانة

الكلية لأجهزة هذه العملية ، ولسهولة الوصول إلى إقتصاديات تشغيل سليمة يجب إستخدام وقود ديزل بنسب كبريت منخفضة .
وكذلك مع إستخدم نظام المواد المحفزة عندما يفرض وباى طريقة على جميع السفن إستخدام الوقود منخفض الكبريت وذلك لتجنب ترسيب الأوساخ فى نظام حزمة المواد المحفزة ، والتى تلزم السفن لإستخدام أحادى الوقود منخفض الكبريت والمحدد لهذا الغرض .
وغالبًا ما يحتوى الوقود الثقيل على نسبة 4.5% ، والوقود الذى يحتوى على نسبة 1.5% يدل على إنخفاض إنبعاث ثانى أكسيد الكبريت فى الأماكن التى تم التحكم فيها s.e.c.a sulpher emission control areas مثل منطقة بحر البلطيق Baltic Sea ، وبحر الشمال North Sea ، والقنال الإنجليزى English channel وذلك بطلب من الهيئة البحرية العالمية International Maritime organisation بتخفيض أكسيدات الكبريت فى البحار والموانى بهذه المناطق ولكن إستراجية الإتحاد الأوربى تطالب جميع السفن فى جميع موانى الدول الأوربية بإستخدام وقود لا تزيد نسبة الكبريت فيه عن 0.2 والتى سوف تلتزم بإستخدامها جميع السفن .
وذلك بإستخدام أحادى الوقود ذو نسبة كبريت منخفضة لهذا الغرض (أنظر باب الوقود والزيوت) .

5-1 التحكم فى إنبعاث أكسيد النتروجين Controlling NO_x emissions.

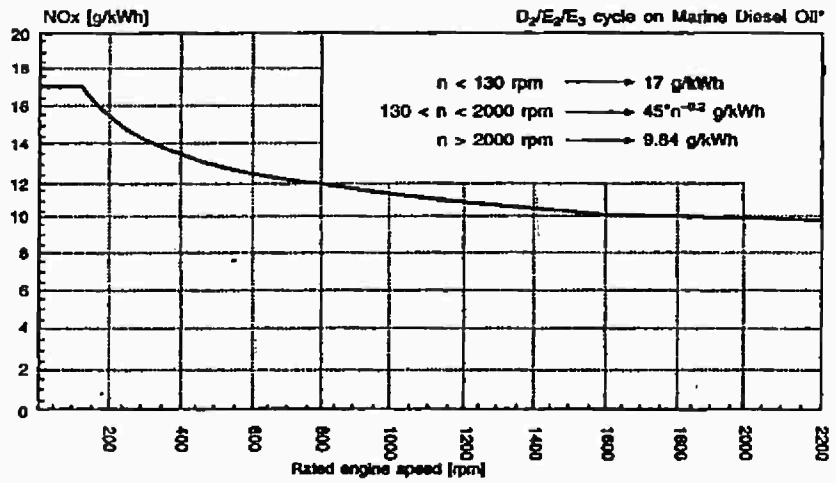
بإقتراب العالم من التحكم الكامل فى إنبعاث أكسيد النتروجين NO_x التى اتخذت إجراءاتها عن طريق الهيئة البحرية العالمية I.M.O ملحق 5 (قاعدة منع تلوث الهواء الجوى من السفن) ماربل 78 / 73 Marpol بتبنى سياسة المؤتمرات فى عام 1997 بالنسبة للسفن التى تستخدم وقود الديزل البحرى والوقود الثقيل .
يتطلب من جميع السفن منذ هذا الوقت تعزيز يشمل إنبعاث غاز أكسيد النتروجين على الأ تزيد عن حوالى 7% ، وكذلك يشمل هذا التعزيز على إنبعاث ثانى أكسيد الكبريت على الأ يزيد عن 4% ، وحوالى 2% من إنبعاث ثانى أكسيد الكربون وسوف يدخل الملحق رقم 5 بالقوة الجبرية بعد 12 شهرمن يوم إكتمال عدد خمسة عشر دولة وعلى أن تكون الحمولة المسجلة الكلية للأساطيل التجارية % 50 من مجموع الأساطيل العالمية .
وعلى أن يصادق عليها جميع الدول التابع لها هذه الأساطيل .
أما السفن التى شيدت بعد يناير عام 2000 (تاريخ مد القرينة) يتطلب منها تطبيق هذه المعاهدة .

وتطبق المادة على المحركات التى تملك قدرة أكثر من 130 كيلواط والتى تم تركيبها على السفن المنشأة بعد هذا التاريخ ، وسوف تعانى المحركات المثبتة على السفن قبل هذا التاريخ عند التغيير من التكاليف العالية للتعديلات التى سوف تتطلبها المحركات .

ولقد تم وضع حد لإنبعاث أكسيد النتروجين بواسطة منحنى الهيئة البحرية العالمية.

والشكل 3-5 يوضح العلاقة بين إنبعاث أكسيد النتروجين مع سرعات المحركات كما يظهر إستجابة المحركات التى تملك شهادة طبقا للنمط الفنى لغاز أكسيد النتروجين(Engine International Air Pollution) Prevention وعملية إصدار الشهادة تشمل قياس أكسيد النتروجين للمحرك ونوعه ، ومهمته وإخماد تشكيل مكونات أكسيد النتروجين المؤثرة ، والملف الفنى المسلم مع المحرك .

وتسمح الهيئة العالمية البحرية لمستويات أكسيد النتروجين – والذى يعتمد على سرعة المحرك - بحد أقصى ومجاله من 17 جرام / كيلواط ساعة للمحركات الأقل فى عدد لفاتها من 130 لفة/ د إلى 9.84 جرام / كيلواط ساعة للمحركات الأكثر سرعة من 2000 لفة/ د شكل 3-5 .



Testcycles in accordance with ISO 8178 part 4

Figuer 5-3 Maximum allowableNO_x emissiom for marine diesel engine (IMO)

مع الإنخفاض الكبير لإنبعاث أكسيد النتروجين والإنبعاثات الأخرى والتركيز والمتابعة من سلطات الأقاليم كما هو فى لجنة كاليفورنيا California لموارد الثروة الهوائية .

أدخلت السويد نظام لتفرق به بين رسوم الموانى ورسوم أخرى على السفن التى تملك معدلات عادية لإنبعاث أكسيد النتروجين وذلك بدفع أتعاب كبيرة بالمقارنة بالسفن صديقة البيئة لنفس الحجم والحمولة، ومع خطة التحكم الصارمة من الهيئة العالمية البحرية يظل إنبعاث NO_x أكسيد النتروجين له الأولوية عند تصميم المحركات ، والتى تتعلق بالتأمين المقبول للبيئة بدون تسوية مؤثرة ومنفعة إقتصادية لوقود المحرك .

(والتحسن في الكفاءة الحرارية يسهم مباشرة في الزيادة فى إنبعاثات أكسيد النتروجين) وهذا النجاح مخطط ويستحق الإعتبار شكل 4-5 وتؤثر إرتفاع درجة الحرارة العالية وتركيز الأكسيجين وتوقيت الحقن داخل الإسطوانة فى تكون أكسيد النتروجين .

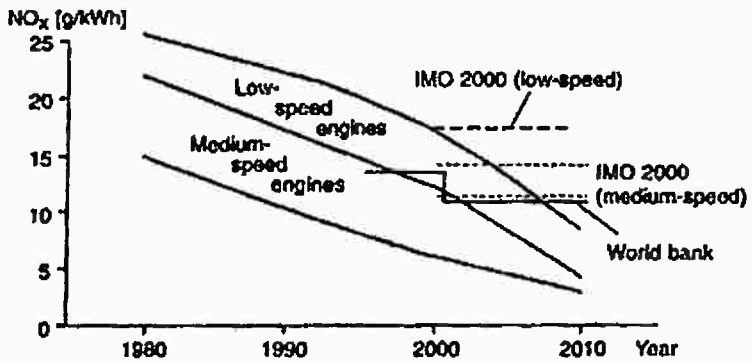


Figure 5-4 NO_x emission trends for typical two-stroke and four- stroke engines compared with IMO requirements wartsila

وسوف تتكون كمية كبيرة من أكسيد النتروجين الساخن كلما زادت فترة الحريق فى المحركات البطيئة ثنائية الأشواط ويتولد عنها إنبعاث NO_x عالية عن المحركات رباعية الأشواط متوسطة وعالية السرعة ولنفس القدرة ، ويتناوب إستخدام كل وقود على حدة مثل الميثانول Methanol الذى يعمل على تخفيض مستويات إنبعاث أكسيد النتروجين ، ويكون الهدف الأصلى للقياسات عند تخفيض كمية أكسيد النتروجين المتكون خلال فترة الحريق للمحرك الميثالى .

والمعطيات الآتية بخصوص الإنبعاث هى (توقيت الصمامات ، ميعاد حقن الوقود ، الشاحن الجبرى) وبهذا يمكن تخفيض نسبة الإنبعاث من 30% إلى 60% والهدف التالى هو التخلص من أكسيد النتروجين من غاز العادم بواسطة

الأسلوب الفنى للنظافة الذى يؤدى إلى زيادة التخفيض إلى أكثر من 90% .
والخيارات التكنولوجية تتلخص فى شكل 5-5 .

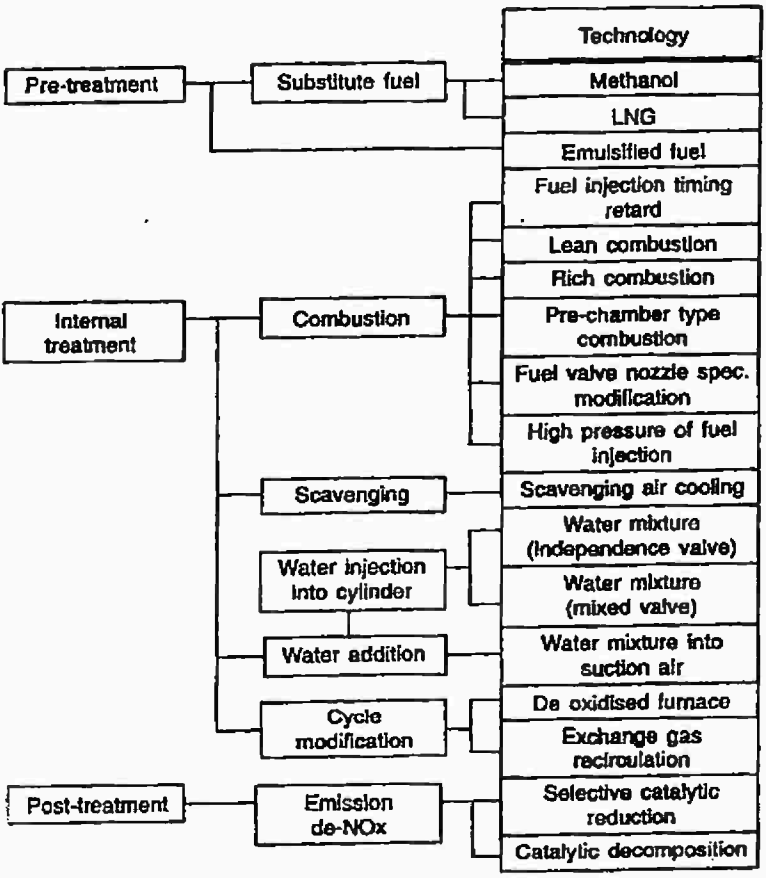


Figure 5-5 Methods of reducing NO_x emission from marine diesel engines Mitsubishi heavy Industries

5.2 - تصنيف القياسات الأولية لتخفيض أكسيد النتروجين NO_x بالآتى .

1- إضافة المياه العذبة :

إما عن طريق الحقن المباشر داخل الإسطوانة أو بواسطة مستحلب المياه إلى الوقود .

2 - تغيير حقن الوقود :

وذلك بتأثير تأخير وضبط معدل الحقن ونمط تذرير الوقود .

3- معالجة هواء الشحن :

يتم تبريدهواء الشاحن الجبرى بالتبريد الجيد للهواء الناتج من تربينة الهواء وتدويرالهواء المخلوط ببخار المياه داخل الإسطوانة ، وإعادة تدوير غاز العادم ، وعدم إختيارالمواد المحفزة فى التخفيض ، راجع باب الشاحن الجبرى.

4-التغيير فى عمليات المحرك :

عمليات نسبة الإنضغاط ، رفع ضغط الإسطوانة .

والغرض الرئيسى مما سبق هو تخفيض أقصى درجة حرارة داخل الإسطوانة وينتج عنها تخفيض إنبعاث أكسيد النتروجين .

والجيل الحديث من المحركات متوسطة السرعة ذو الشوط الطويل ، والزيادة فى نسبة الإنضغاط ، وضغط الحقن كل هذا كان هو التحدى لإنبعاث أكسيد النتروجين شكل 6 -5 .

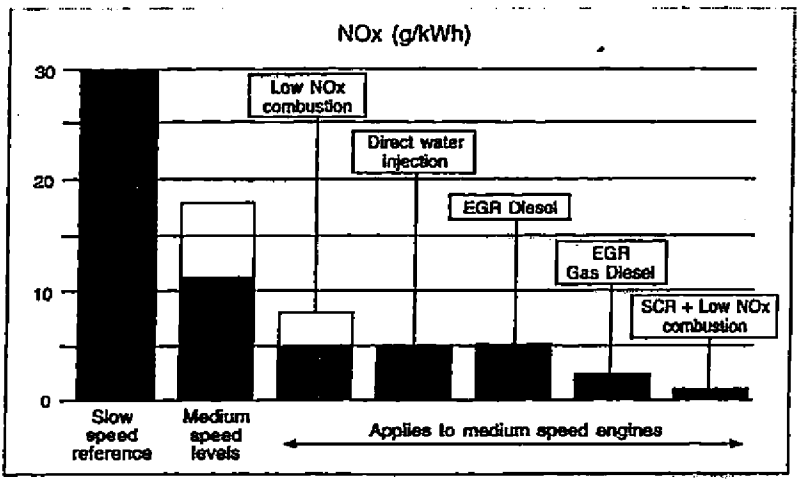


Figure 5-6 emission control measures and their potential in reducing NO_x output EGR = exhaust gas recirculation SCR = selective catalytic reduction (wartsila Diesel)

ونظام الحريق الناتج عنه أكسيد النتروجين المنخفض موضح من خلال برنامج محرك متوسط السرعة لشركة Wartsila .

مثلا يعمل المحرك على أساس توليفة من نسبة الإنضغاط ، وتوقيت الحقن ، معدل الحقن ، وتأثير معالم عملية الحريق تعالج بتأمين الضغط العالى للإسطوانة بواسطة زيادة نسبة الإنضغاط ، ومع إختلاف وتقليل زمن الحقن ، والتجهيز الأمثل لحقن الوقود هو تأخير الحقن مما يؤدى إلى إنخفاض أكسيد النتروجين إلى 50%، وتصل كمية أكسيد النتروجين من 5 إلى 8 جرام/ كيلواط ساعة إذا ما

قورنت بكميه 15 جرام / كيلواط ساعة لنفس المحرك التقليدى ، مع عدم التأثير على إستهلاك الوقود .

5.3 العوامل التى تعمل على تخفيض تكون أكسيد النتروجين الآتى .

1- درجة حرارة الهواء العالية عند بدء الحقن والتى تعمل على تقليل فترة التعويق .

2- تأخير بدء الحقن مع تقليل زمنه خلال نقطة مثلى من الدورة للمحافظة على الكفاءة

3- تحسين تذرير الوقود، وتوقيت الحقن وذلك لتسهيل إندماج الهواء مع الوقود لإنتاج خليط جيد.

وبعض محركات VASA32 لشركة Wartsila معدة بتجهيزات كاليفورنيا Californian للمياه لتتناسب مع القوانين الصارمة للولايات المتحدة الأمريكية وسلطاتها فى التحكم فى إنبعاث أكسيد النتروجين مع الأجهزة التى تسمح بضرورة تقليل وقت الحقن وتأخيره وتؤثر مؤقتاً فى دوران المحرك عندما تدخل السفينة مياه كاليفورنيا .

5.4 أساس تقنية المياه Water – Based Techniques .

المستحلب المكون من المياه والوقودالمحقون عن طريق صمام الحقن (الرشاش) من الأهمية للعمل على التخفيض الكبير لنتائج أكسيد النتروجين وتاثيره يختلف باختلاف طراز المحرك ، وعموما فإن نسبة 1% من المياه تعمل على تخفيض نسبة إنبعاث أكسيد النتروجين إلى 1% .

ويمكن أيضًا دخول المياه إلى غرفة الإحتراق عن طريق فونية Nozzle منفصلة أو عمل طبقات من المياه والوقود لنفس صمام الوقود Injector .

5.5 الحقن المباشر للمياه D.W.I direct Water injection .

تؤثر إضافة كتلة المياه المحقونة على تقليل درجة الحرارة القصوى لغرفة الإحتراق فى عملية الإحتراق نتيجة تحويل المياه إلى بخار فى غرفة الإحتراق.

ولقد حسنت شركة Wartsila نظام D.W.I فى المحركات متوسطة السرعة بعد التحقق من حقن الأمونيا Ammonia داخل الإسطوانة بنجاح من خلال شوط التمدد ولقد ثبت أن حقن المياه داخل غرفة الحريق خلال شوط الضغط يعمل على تقليل إنبعاث أكسيد النتروجين بنفس الدرجة عندإستخدام الأمونيا .

ومن سمات نظم D.W.I للمحركات متوسطة السرعة لشركة Wartsila تركيب إبرتين كل على حدة فى فونية واحدة Nozzle فى صمام وقود - رشاش - (ويعرف بالصمام ذو الإبرتين) ويركب برأس الإسطوانة شكل 7-5 ويكون التحكم فى كل إبرة على حدة .

وهذا الأسلوب لا يؤثر على تشغيل المحرك (مع إيقف وتشغيل المياه) ويكون بإستطاعة المحرك التشغيل عند أى حمل ، ويكون التحويل أوتوماتى لحظيًا ومصاحب بإنذار مسموع .

وتأخذ المياه المحقونة حيز قبل حقن الوقود وينتج عن ذلك إنخفاض درجة الحرارة لغرفة الإحتراق ومن ثم إنخفاض نسبة أكسيد النتروجين المتولدة .

ويتم إيقاف حقن المياه قبل إيقاف حقن الوقود داخل الإسطوانة لدرجة أن عملية الحقن والحريق لا يتعارضان .

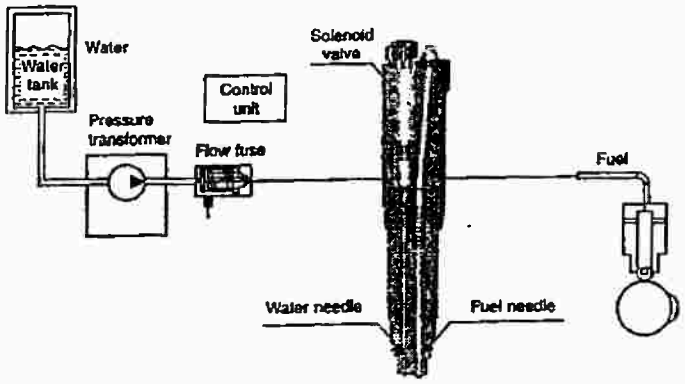


Figure 5-7 Wartsilas Direct Water Injection system Features a combined injection valve and nozzle water fuel oil

وتنقى المياه قبل دخول الإسطوانة ويكون ضغطها من 210 إلى 400 بار (ويعتمد الضغط على طراز ونوع المحرك) بواسطة النظام الشانع لمعايرة الضغط المتولد من طلمبة المعايرة للضغط العالى .

وتكون طلمبة الضغط المنخفض ضرورية لتحقيق الإستقرار الكافى لدفع المياه إلى طلمبة مياه الضغط العالى .

ويتم تنقية المياه قبل طلمبة الضغط المنخفض لإزالة جميع الشوائب الصلبة. والطلمبات والفلاتر تم إنشاؤها مع ملاحظة سهولة تركيبهما، ويركب فيوز التدفق على جانب رأس الإسطوانة ويعمل كجهاز أمان لإيقاف تدفق المياه إلى الإسطوانة إذا ما توقفت الإبرة عن العمل ويتم إيقاف المياه فى الحال ، كذلك إذا وجد زيادة فى حقن المياه أو عند تسييل الإبرة .

ويتم توقيت حقن المياه بواسطة تحكم إلكترونى والذى يستقبل المدخلات من مخرجات المحرك ، وتتم الإستخدامات المختلفة عن طريق لوحة المفاتيح مع التوقيتات المثالية الملائمة .

وتكون هذه الإستخدامات أقل ما يمكن خلال متطلبات المحرك .

تحقن المياه والوقود بطريقة ميثالية وتكون نسبة المياه إلى الوقود من 0.4- 0.7 إلى 1% مما يقلل إنبعاث أكسيد النتروجين من 50% إلى 60% بدون تأثير مضاد على القدرة أو مكونات المحرك، وتكون كمية أكسيد النتروجين ميثالية عند4-6 جرم /كيلواط ساعة عندما يعمل المحرك بواسطة وقودالديزل البحرى ومن 5-7 جرام / كيلواط ساعة عند إستخدام الوقود الثقيل ويكون التأثيرالكبير الفعال لتخفيض NO_xعند 40% من الحمل الكامل .

ولقد إستفاد من نظام حقن الوقود المباشر D.W.I المحرك، 32 , 46 لشركة WArtsila بتنوع القدرات لطرازت محركاتها على سفن من طرازات مختلفة.

كذلك تم دمج نظام الحقن الشائع للوقود والذى يعمل بتحكم إلكترونى مع نظام D.W.I فى بعض محركات W46 الصديقة للبيئة حيث أنه يحقن الوقود داخل غرفة الإحتراق من خلال صمام خاص به والمركب على جانب رأس الإسطوانة.

وقامت شركه Mitsubishi بتطوير محركات الصناعات الثقيلة بعمل نظام حقن إنطباقى بتوليفة من الوقود والمياه (الحقن يتم على هيئة طبقات من المياه والوقود) مستخدم صمام الحقن العادى وذلك بحقن طبقة من المياه وطبقة من الوقود متتابعة فى غرفة الإشتعال Stratified Fuel Water Injection S.F.W.I) ومن التقارير المنتظمة للحالة المستقرة خلال التجربة الشاملة لقدرة السفينة بواسطة محرك بطىءالسرعة من طراز UEC1105D لشركة Mitsubishi إنخفاض إنبعاث أكسيد النتروجين أكثر إذا ما قورن بنظام حقن الأمونيا والمياه .

5.6 ترطيب هواء الشحن Charge air humidification .

وهذه طريقة أخرى لدخول المياه إلى غرفة الإحتراق ، وتتم بدخول بخار المياه مع هواء الشحن إلى الإسطوانة وذلك بحقن المياه الساخن والبخار مع الهواء الداخل إلى الإسطوانة والتى تعمل على زيادة نسبة المياه فى الهواء .

ومن عيوبها أنه إذا زادت نسبة المياه سوف تعمل على سوء حالة الإسطوانة وإزالة الطبقة الملساء لها وللشنابر (أنظر مدخل باب المحركات متوسطة السرعة) والتى تسمح بنسبة رطوبة عالية مقبولة .

وفى نظام حريق الهواء المحمل ببخار المياه combustion air saturation systemوالتى نتج من تعاون شركة Wartsilaمع الشركة المنتهية Marioff بخصوص إنتاج فوانى كثيفة الضباب بدخول المياه مباشرة إلى تيارهواء بعد تربينة الهواء على هيئة نقط صغيرة جدًا بأحجام الميكرون ، وقطرات البخار السريعة جدًا فى البيئة المحيطة بها والتى تصل درجة حرارتها إلى 200 درجة مئوية مع سرعه 75 متر/ ثانية .

وللعمل على زيادة درجة حرارة البخار تزود الدائرة بسخان يشبه مبرد الهواء وكانت نتيجته زيادة درجة حرارة الهواء المحمل بالرطوبة والتى كانت نسبته حوالى 60 جرام / كيلوجرام هواء ، ومن تقارير معامل شركة Wartsila أنه يمكن تخفيض مستوى أكسيد النتروجين لأقل من 3 جرام / كيلواط ساعة وكانت القيمة فى البداية من 10 إلى 15 جرام / كيلواط ساعة .

وتملك شركة MAN B &W ديزل عملية تخفيض أكسيد النتروجين بواسطة زيادة الرطوبة فى هواء الشحن وتعتمد العملية الأساسية على نظام ترطيب هواء المحرك Humid air motor-(HAM) بتحسين من شركة Munters Euroform الألمانية شكل 5-8 .

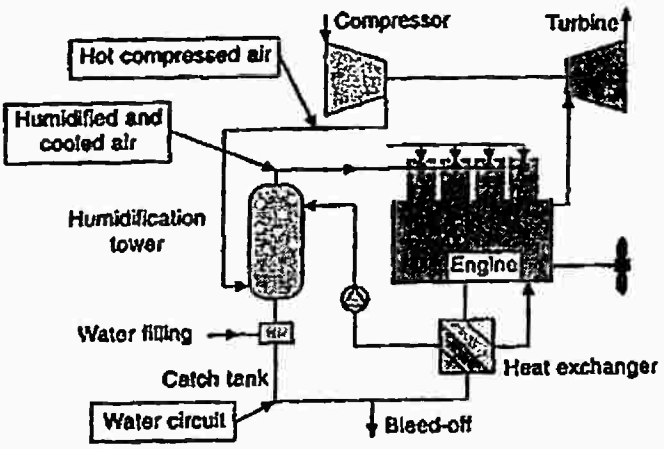


Figure 5-8 Schematic diagram of Humid Air Motor (HAM) system for NO_x emission reduction

والهواء الساخن المضغوط من تربينة الهواء سوف يمر من خلال حجرة هواء المبرد والمجهزة بجهاز لضبط الرطوبة مع بخار المياه وتكون عملية التكثيف ممكنة بإستخدام مياه البحر بدلا من المياه العذبة .

والرطوبة النسبية للهواء الداخل ممكن ثبوتها عند 99% والتقارير الناتجة والمحتملة لأقصى تخفيض لأكسيد النتروجين هى حوالى 70% ، وبهذه الطريقة يتم الإستفادة من كل الحرارة المفقودة من المحرك.

ومن نتائج شركة Semt –Pielstic لمحرك من طراز 3PC 2.6 متوسط السرعة والمجهز بطراز أولى لنظام ترطيب هواء المحرك (H.A.M) لتخفيض أكسيد النتروجين NO_x من 13.5جرام / كيلواط ساعة الى 3.5 جرام /كيلواط ساعة مع عدم وجود تأثير على إستهلاك النوعى للوقود ، وكذلك عدم الزيادة فى

إنبعاث أول أكسيد الكربون والهيدروكاربون ، أيضًا عدم تلوث الهواء الجوى بالدخان .
وبجانب هذه النتائج عدم تأثر الزيت بالمياه ، وعدم التآكل ونظافة المحرك داخليًا مع التخطيط باستبدال مبرد الهواء الرئيسى بنظام (H.A.M).

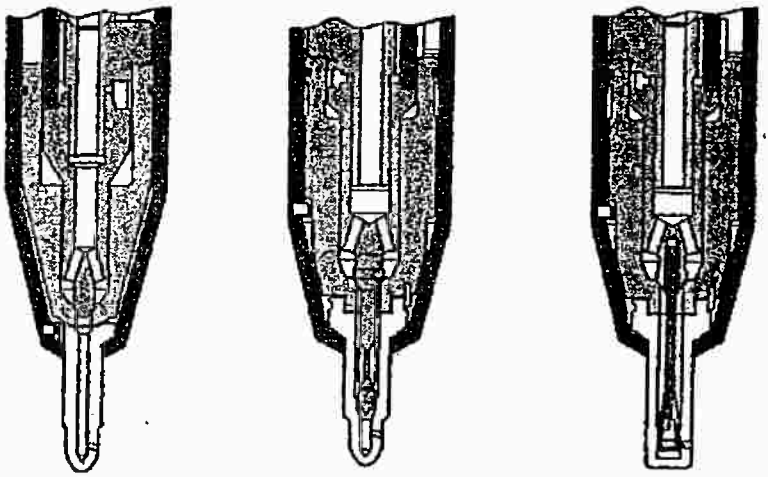
5.7 - تدوير غازات العادم (E.G.R) Exhaust gas recirculation.

تدوير غازات العادم (E.G.R) وهى طريقة لعمل خليط من غاز العادم مع الهواء الداخل إلى الإسطوانة لتقليل غاز أكسيد النتروجين ويستخدم هذا النظام باتساع عند تطبيقة مع محركات السيارات ، وذلك بإستخدام بعض غاز العادم بعد تبريده وتنقيته قبل تدويره مع الهواء النقى الداخل إلى الإسطوانة وهذه العملية تؤثر فى جزيئات تكوين NO_x نتيجة لتخفيض تركيز الأكسجين فى الإسطوانة لإحتواء غاز العادم على نسبة من بخار الماء وثانى أكسيد الكربون ، وكمية الحرارة لبخار الماء وثانى أكسيد الكربون تعمل على إنخفاض درجة الحرارة القصوى للإحتراق فى غرفة الإحتراق مما يؤدى إلى تقليل تكون أكسيد النتروجين .
وينتج عن تطوير تدوير غاز العادم E.G.R كفاءة عالية لتخفيض إنبعاث NO_x من 50 إلى 60% بدون تأثير على خرج المحرك .
وفى الغالب فإنه من المستحسن الزيادة العملية فى تموين السفن بالوقود ذو الإحتراق النظيف للمحركات مثل الوقود قليل الكبريت والرماد ، وتسبب النسب العالية للكبريت فى الوقود تآكل فى مواسير العادم وكذلك الشاحن الجبرى ومواسير دخول الهواء إلى المحرك ومبرد الهواء .
وتعترف شركة Wartsila أن نظام E.G.R يؤدى إلى إنخفاض نسبة إنبعاث أكسيد النتروجين ولكنه فى الحقيقة وفى الحدود العملية والتطبيق تكون لها تأثير معاكس للحريق فى بدء الحركة تؤدى إلى الزيادة فى إستهلاك الوقود ، والحريق الجذئى للهيدروكاربون ، وأول أكسيد الكربون وهذه من عيوب ورداءة النظام حتى لو إحتوى على نسبة لا يعتد بها من الكبريت .
وزيادة التبريد لغاز العادم يعمل على إنتاج حمض الكربونيك وهو لزج القوام ، وكذلك المياه والسناج وكل هذا يؤثر فى وسيلة التبريد ، وفوق هذا إنتاج رواسب صلبه يصعب إزالتها .
ولقد ابتكرت شركة Wartsila نظام للتحكم فى توقيت صمامات العادم والحريق للمحركات بطيئة السرعة بواسطة جهاز تحكم إلكترونى وذلك للإبقاء على بعض غازات العادم ولقد لوحظ أن هذه العملية تؤدى إلى زيادة الحمل الحرارى وحريق منخفض القيمة .

ولقد صرفت النظر عن تطبيق نظام تدوير غاز العادم لمحركات الديزل هذا ما قالته شركة Wartsila .
كما إقترحت شركة Wartsila عرض نظام فنى بدفع رذاذ المياه البارد فى طريق غاز العادم للعمل على تهدئته WATER COOLD REST GAS Wa Co Reg وهى طريقة مناسبة لتخفيض أكسيد النتروجين .
كما أنه توجد أماكن ساخنة نوعا ما فى محيط الحريق تعمل على عدم تكثيف أحماض على أسطح المعادن .

5.8 - فونية الوقود Fuel Nozzle.

مع إختلاف تصميمات طرازت فونية الوقود وأيضًا شدة حقن الوقود يكون لهما تأثير هام على تكون أكسيد النتروجين.
والزيادة فى معدل الضغط المتوسط المؤثرفى المحركات الحديثة يتطلب الزيادة فى مساحة التدفق للوقود من خلال تشغيل صمام الوقود، والزيادة فى حجم الحيز الداخلى لفونية الوقود ينتج عنه مخاطر كبيرة للتسييل Dripping وعليه فالوقود الزيادة فى الحيز الداخلى للفونية ربما يدخل غرفة الإحتراق ويسهم فى إنبعاث دخان مع عدم حريق عناصر الهيدروكاربون وأيضًا زيادة الرواسب فى غرفة الإحتراق .
وحجم الحيز الكبير نسبيًا فى التصميم القياسى لفونة الوقود يؤثر سلبى على أشكال جزيئات السناج والهيدروكاربون .
وتم إنتاج صمام وقود ذو حيز صغير (كيس) لدرجة أنه سمى بالحيز المصغر جذا لفونية الوقود وهذا التعريف بواسطة شركة Wartsila ديزل وذلك بإندماج تقليدى لقاعدة دليل الإبرة المخروطية والتى تنزلق داخل فونية الوقود.
والحيز المصغر(الكيس) يسبب حالة التدفق للوقود بجوار أخرام الفونية مثل حالة التدفق لفونية الوقود التقليدية . وهذا يقلل كثيرًا من حجم حيز الفونية حوالى15% بالنسبة لصمام الوقود التقليدى ، ويؤثر بالموجب فى نظافة غرفة الإحتراق ومواسير العادم كذلك صمامات العادم ، ويعمل على تخفيض إنبعاث أكسيد النتروجين خلال الحريق .
والطراز الجديد لفونية صمام الوقود كان من الضرورى إلغاء حيز الفونية الداخلى ، ويعمل فيما بعد على تحسين هذا النظام كما ورد عن شركة MAN B & w ديزل كما فى المحركات الرئيسية الكبيرة بطيئة السرعة شكل 5-٩.



diesel MC two –stroke engines smoke and NO_x emission were lowered by reducing the sac volume

والتحسينات الرئيسية لطراز صمام الوقود الإنزلاقى والتى تعمل على تخفيض أكسيد النتروجين ، أول أكسيد الكربون ، الدخان وتعمل على حرق الهيدروكاربون وأيضًا والمهم تقليل الرواسب داخل المحرك والتأثير الموجب لحالة المحرك فى عموم التقاريروتطبق فكرة صمام الوقود ذوالإبرة المنزلقة فى محرك طراز 12k90MC والذى تنخض فيه إنبعاث الدخان إلى % 40 إذا ما قورن بالمحركات التقليدية بينما يصل إنخفاض الهيدروكاربون وأول أكسيد الكربون إلى 33% ،% 42 بالتوالى على الرغم من إنخفاض مستوى أكسيد النتروجين بنسبة 14% بينما يبقى إستهلاك الوقود بدون تغيير مع الإنخفاض الطفيف فى الحمل الجزئى .

5.9-إختيار العامل المساعد المخفض Selective catalytic reduction .

عموما تكون الطرق الرئسية للسيطرة على إنبعاثات أكسيد النتروجين والمحددة من قبل الهيئة البحرية العالمية I.M.O مناسبة ولكن التحكم القاسى لبعض المناطق ربما يفرض الطرق الثانوية - للعلاج الفنى لغاز العادم – إما تكون على حدة أو مع توليفة من التعديلات للمحرك ومن هنا يكون الإنطلاق لإختيار المادة المحفزة للتخفيض selective catalytic reduction مع نمو تركيب محطات توليد الكهرباء البرية وتطبيقاتها على السفن كانت نتائج إنخفاض أكسيد النتروجين أكثر من 90% .

ويعد نظام إختيار محفز التخفيض – العامل المساعد – وذلك بخلط غاز العادم مع عنصر الأمونيا (ويفضل أن يكون على شكل محلول بنسبة 40% من اليوريا والمياه) وهى طبقة من محفز التخفيض قبل مرورها خلال غازات العادم عند درجة حرارة بين 290 و 450 درجة مئوية وغالبًا ما يكون الحد الأدنى محدد بكمية عنصر الكبريت فى الوقود وفى درجة حرارة أقل من 270 درجة مئوية وسوف تتفاعل الأمونيا مع ثانى أكسيد الكبريت ويعمل هذا على عدم تكون الرواسب مثل سلفات الأمونيا عند الحرارة الزائدة ، والعمليات التى تعمل على إنخفاض الإنبعاثات الضارة لبخار غاز أكسيد النتروجين ينتج عنها مياه ونتروجين وجزء من السناج والهيدروكاربون وتزال بالأكسدة مع إستخدام العامل المساعد .

وضمن الأنواع المرغوبة للعامل المساعد تكون الأمونيا وينتج عنها كمية زائدة من زلة الأمونيا وتكون منخفضة للغاية حتى فى وقت التشغيل .

وميل الضغط للإنخفاض وقصر الوقت للزيادة فى درجة الحرارة والإتجاه فى تخفيض التلوث ، وأقل إستهلاك يكفل التدهور القليل فى الأداء .

ونظام معدل التغيير فى إختيار العامل المساعد يكون معتمد على الزيادة فى كمية جرعة الأمونيا مع الزيادة الناتجة عن التغيير ، وعلى أى حال فإن الزيادة فى كمية اليوريا ينتج عنها زلة الأمونيا مع تيار التفاعل الذى يكون مضر لعملية التفاعل وغير مقتصد ماليا .

وبناءًا على ذلك فإن كمية اليوريا يجب أن تكون مضبوطة عند جميع حالات الحمل والسرعات المختلفة بالإضافة للتحكم فى ضبط القياسات للمستويات المتبقية من أكسيد النتروجين NO_x بعد التفاعل .

وتستخدم البيانات عن قياسات NO_x لضبط قياس الإتحاد العنصرى ، ونسبة الأمونيا مع أكسيد النتروجين ، والمحافظة على المستويات المحددة لزلة الأمونيا .

وعموما تفرض على إختيار العامل المساعد درجة الحرارة المطلوبة لعملية التفاعل وإنخفاض سرعة المحركات ثنائية الأشواط قبل تركيب تربينة العادم .

ودرجة حرارة العادم عند تركيب تربينة العادم للمحركات رباعية الأشواط تكفى لعملية تفاعل العامل المساعد إذا ماكان يتعين تركيب غلاية غازية للمياه لتسخين المياه بعد وحدة إختيار العامل المساعد .

ومنذعام 1990 تم إنشاء سفن عابرة للمحيطات وسفن ساحلية بتكنولوجيا برهنة على كفاءة نظام إختيار العامل المساعد وكانت من نتائجه تقليل الإنبعاثات الضارة لأقل ما يمكن حتى وصل إنخفاض أكسيد النتروجين إلى 95 % ، ولقد مهد هذا الطريق لشركة MANB&W إلى إنتاج محركات بحرية من طراز 6S5OMC

بطيئ السرعة لسفن حاملات الصب مخصصة للتجارة بين كوريا وكاليفورنيا حيث توجد قوانين البيئة الصارمة و كانت هذه المحركات مرضية .
كانت الكمية المحقونة من الأمونيا إلى ماسورة غاز العام يتم التحكم فيها بواسطة أجهزت الكمبيوتر لتنظيم جرعتها لتتناسب مع كمية أكسيد النتروجين المنبعث من المحرك بحسب حمله شكل 10-5 .

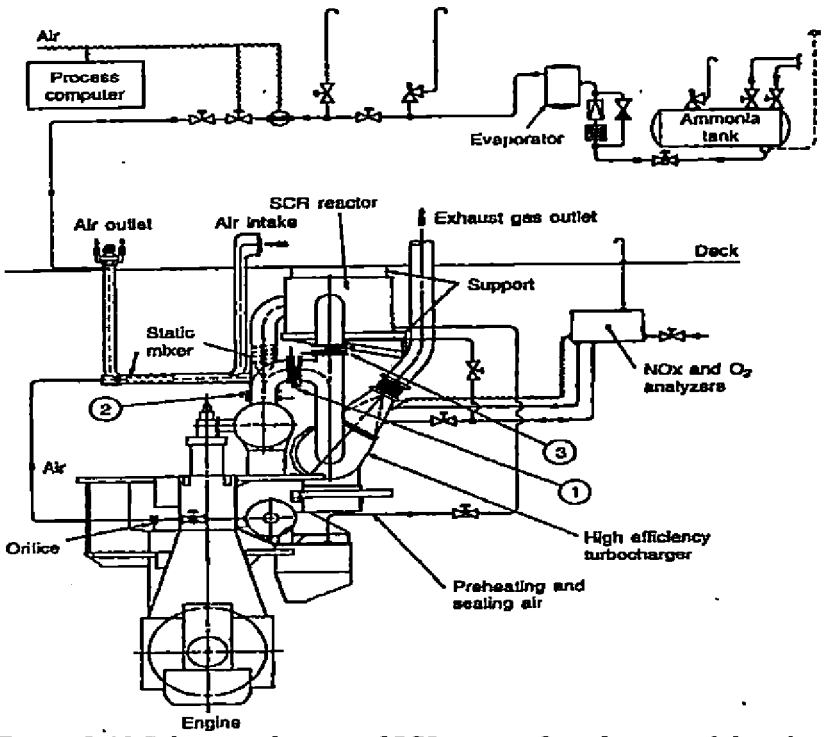


Figure 5-10 Schematic layout of SCR system for a low speed diesel MAN B &W

والسفن التى تعمل على خطوط تجارة منتظمة إلى كاليفورنيا نموذجية وسوف تتجاوز إختبار العامل المساعد فى التفاعل لنصف رحلة بالمحيط مع التطابق لقوانين الهيئة البحرية العالمية للإنبعاثات بواسطة إستخدام الطرق الأصلية فى التحكم لإنبعاثات أكسيد النتروجين والإقتراب من القوانين المائية لكاليفورنيا ، ومفتاح التحويل لتغذية المحرك من الوقود الثقيل إلى الوقود الآخر يتطابق مع قوانين لجنة مصدر الهواء ، حيننذن يكون التفاعل بمرور العامل المساعد خلال غاز العادم عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة إلى مستوياتها الصحيحه وتكون جرعة الأمونيا مؤثرة فى البداية وشبه كاملة للتحكم فى أكسيد النتروجين .
وكانت بداية إستخدام العامل المساعد مهمة فى المحركات البحرية متوسطة السرعة ، وفى عام 1992تم بناء سفينة (عبارة) تعمل بمحركات ديزل ملحق بها

مولدات كهربائية لتوليد قدرة كهربائية تعمل على إدارة محركات كهربائية لإدارة الرفاص ، وتعمل فى خط قصير بين موانى دولة الدنمرك وموانى دولة السويد ، وكانت الكفاءة الأولية لتخفيض أكسيد النتروجين حوالى 96% وزادت النسبة إلى 98 % بعد 1200 ساعة تشغيل .

ولما كان البحث عن مستويات تخفيض الإنبعاثات لأقل من 2 جرام / كيلواط ساعة فقد تأثر أصحاب السفن لوجود قوانين مشددة تبحث عن مستويات لإنبعاث أكسيد النتروجين إلى 2 جرام / كيلواط ساعة وأقل للمحركات الرئيسية والمساعدة لمختلف الحمولات والتى تشمل سفن حاملات السيارات car carrier والركاب والمطبقة فى التصميمات الحديثة للسفن ، ومشروعات التعديل للسفن العاملة الآن والمجهودات التى سهلت نظم التصميم لمتطلبات إنشاء أماكن للتفاعلات والتحليلات بعروض موجزة .

وأصبح الآن إنشاء أماكن للتفاعلات بغرفة المحركات أو دمجها فى ماسورة العادم لمحركات الديزل رباعية الأشواط وثنائية الأشواط ، قدمت شركة سيمنز SIEMENSنظام وحدات عالمية لإختيار العامل المساعد لأكسيد النتروجين ومصمم لتخفيض الإنبعاثات المختلفة لتلوث غاز العادم فى الوقت نفسه مقدرته على تمييز NO_x، والهيدروكاربون والسناج .

الأداء المتوقع بناءًا على أبحاث المصممين الألمان الآتى :

إنخفاض أكسيد النتروجين من 90 إلى 99% عند Maximum MCR continues rating , إنخفاض الهيدروكابون ، أول أكسيد الكربون من 80 إلى 90 % عند MCR إنخفاض السناج من 30 إلى 35% عند MCR وتصل التكلفة لإنشاء هذا النظام من 40 إلى 70$ لكل واحد كيلواط وتصل تكلفة التشغيل من 3 إلى 4$ لكل ميجاواط / ساعة تشغيل من إستهلاك اليوريا وذلك بأسعار عام 2002 .