مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

الدراسة النظرية لطرق تخفيف التلوث والدخان في الغازات الناتجة عن الاحتراق في محركات الديزل

الدكتور عدنان معروف*

(قبل للنشر في 1996/12/10)

□ الملخّص □

تهتم هذه الدراسة، بتحديث نواتج الاحتراق لمحركات الاحتراق الداخلي. حيث ينتج مع غازات العادم عادة المواد الضارة التالية: أكسيد الآزوت NO_x، وأكاسيد الكربون، الكربون (هباب الفحم)، المركبات الهيدروكربونية CH، والألدهيدات ومركبات الرصاص والكبريت. ويختلف تشكل هذه المركبات أثناء عملية الاحتراق تبعاً لظروف المحرك وظروف تشغيله واستثماره وحالته الفنية. كما تستعرض هذه الدراسة بشكل كامل ومفصل بعض طرق تخفيف التلوث والدخان في الغازات الناتجة عن الاحتراق في محركات الديزل ونذكر منها:

آ- تطوير عمليات تشكيل الخليط واحتراقه.

ب- تدوير غازات العادم.

جـ- إضافة الماء.

د- الوقود والإضافات.

هـ- استعمال موانع التلوث أو المفاعلات.

و- الحالة التقنية للمحرك.

وكان لابد من الإشارة إلى أنه توجد عوامل كثيرة تصميمية واستثمارية تساعد على تشكل المواد الملوثة في محركات الديزل ومنها:

آ- طريقة تشكيل الشحنة.

ب- نسبة الانضغاط.

جـ- حقن الوقود.

د- زاوية تسبيق الحقن.

هـ- نظام عمل المحرك.

---

* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين – اللاذقية - سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

THE ORITICAL STUDY MEANS OF DECREASING POLLUTION AND SMOKE PRODUCED BY COMBUSTION IN DIESEL ENGINES

Dr. Adnan MAAROUF*

(Accepted 10/12/1996)

❐ ABSTRACT ❐

This study is concened with specifying the combustion products of internal combustion engines, where along with the exhaust gases, the following harmful substances are produced: Nitrogen (NO_x), Carbon Oxides, Carbon, Hydro-Carbon Compounds (CH), Aldehydes and Lead and Sulfur Compounds.

The formation of such compounds during the combustion process differs according to the condition.

This study considers also in detail some ways aiming at reducing pollution and smoke in the gases produced by combustion in Diesel engines, namely:

a) Development of the processes leading to the formation and combustion of the mixture.
b) Recycling the exhaust gases.
c) Addition of water.
d) Fuel and additions.
e) Use of anti-pollutants or converters.
f) The technical condition of the engine.

We must also refer to many factors as regards design and exploitation which help formation of pollutants in diesel engines, including:

a) The way the charge is farmed.
b) Compression ratio.
c) Fuel injection.
d) Injection advancement angle.
e) System of engine operation.

* Associate Professor at Mechanical Engineering Power Department, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعد مسألة تخفيف تلـوث ودخـان غازات العادم معقدة، كونه من الضروري تخفيض عدة مركبات ملوثة دفعة واحـدة، غير أنه كثيرة هي الطرق التي تخفف من نواتج الاحتراق غير التام التي تعتمد على زيادة عملية الاحتراق، وهذا ما يزيد مـن نواتج NO_x. عدا عن ذلك فإنه يجب الأخذ في الاعتبار ان استخدام بعـض الطـرق لتخفيض نسبة NO_x يؤدي إلى انخفـاض اقتصادية واستطاعة المحرك وهذا مـا لا يسمح له.

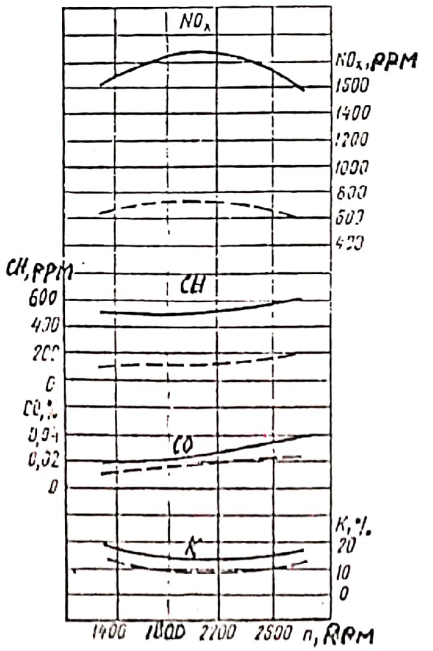
تعد المركبات الناتجة عـن عمـل محركات الاحتراق الداخلي والتي تسـبب تأثيراً سلبياً على الإنسان والبيئـة مـواداً ملوثة، وبالإضافة إلى المركبات التي تنتج مع غازات العادم تعتبـر غـازات علبـة المرفق والوقود في الجو مـن المصـادر الملوثة أيضاً. وينتج مع غـازات العـادم المواد التالية:

أكسيد الآزوت NO_x، وأكاسيد الكربـون، الكربـون (هبـاب الفحـم)، المركبـات الهيدروكربونية CH، والألدهيدات.

أهمية الدراسة وأهدافها:

قبل أن نستعرض بعـض طـرق تخفيض تلوث غازات محركات الـديزل، لابد من الإشارة إلى أنـه توجـد عوامـل كثيرة [تصميمية واستثمارية] تساعد علـى تشكيل المواد الملوثة في محركات الـديزل وهذه العوامل:

أ- طريقة تشكل الشحنة: ولها تأثير ملحوظ على التلوث، ويعود هذا إلى انه في حجـر الاحتراق المسبقة أو الإعصارية تتم عملية الاحتراق في ظـروف انخفـاض درجـة الحرارة وعامل فائض الهـواء واحتـراق الشحنة بشكل تام. في الحجـرة الرئيسـية يحدث أيضاً عند درجة حرارة غير عاليـة نسبياً، لهذه الأسباب فإنه فـي محركـات الديزل ذات حجر الاحتراق المنفصلة تنتج قيم أقل من NO_x بالمقارنة مع المحركات ذات حجر الاحتراق في المكبس، عدا عن ذلك وكما يبين الشكل رقم (1) فإنـه فـي المحركات ذات حجر الاحتراق المنفصـلة تنتج قيم أقل من مركبات الاحتراق غيـر التام CH وCO. ومع نسبة غير عالية من الدخان K. ويفسر هذا بالاحتراق الأفضل لـ CO CH والكربون C في الحجم فوق المكبس.



الشكل (1) تلوث ودخان غازات العادم

---- محرك ديزل ذي حجرة احتراق منفصلة.

—— محرك ديزل ذي حجرة احتراق في المكبس.

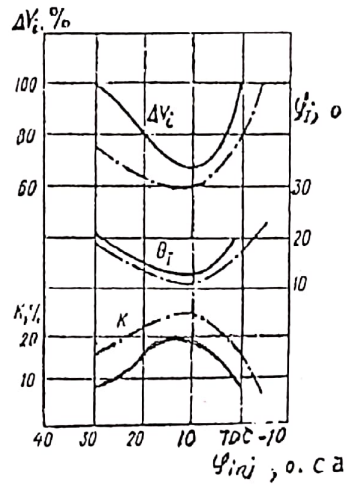
ب-نسبة الانضغاط: وهي تؤثر بشكل رئيسي عن طريق تغيير درجة حرارة الشحنة، إذ تزداد هذه الأخيرة مع رفع نسبة الانضغاط ويؤدي هذا إلى تحسن عملية تشكل الخليط وخصوصاً عند حمولات وسرعات دوران منخفضة، ولهذا فإن نواتج CH وCO تنخفض. ولكي لا تتم زيادة في نسبة NO_x الناتجة في هذه الحالة يتم اختيار التوافق المناسب بين شدة إعصارية الشحنة ومميزات عملية حقن الوقود.

جـ- حقن الوقود: تسمح زيادة ضغط الحقن عند قطر معطى لفتحات التذرير في الحاقن، بتأخير بداية الحقن مع المحافظة على نهاية ثابتة، ويؤدي هذا إلى انخفاض نواتج NO_x والدخان في غازات العادم. في بعض أنظمة حقن الوقود وخاصة عند العمل على الحمولات المتوسطة والعالية فإنها تعطي حقن وقود إضافي، ويحدث هذا عندما ترتفع إبرة الحاقن لوقت قصير بعد إتمام الحقن الرئيسي، فيتسبب ذلك في حقن كمية قليلة من الوقود حيث يتم تذريرها واحتراقها بشكل سيئ في مرحلة التمدد، فيزداد ظهور CO وCH والدخان الأسود. ويؤثر بشكل مشابه على تشكل CH الوقود المتسرب بسرعة قليلة من الحجم تحت مخروط إبرة الحاقن وقنوات ثقوب التذرير، ويحدث هذا بعد استقرار الإبرة على مقعدها، حيث يسبب تمدد الفقاعات الغازية (في الحجم تحت الإبرة)

نتيجة التسخين الزائد في دفع الوقود في حجرة الاحتراق معطياً شحنة غنية بالوقود في شوط التمدد، فيؤدي هذا إلى زيادة نواتج CH. وتلاحظ هذه الحالة بشكل خاص في محركات الديزل ذات حجرة الاحتراق المتوضعة في المكبس[3].

د- زاوية تسبيق الحقن φ_{inj}: وهي تؤثر بشكل ملحوظ على نواتج NO_x. فعند تصغير قيمة φ_{inj} ونتيجة لانخفاض درجة حرارة الاحتراق، يتباطأ بشكل ملحوظ تشكل NO_x، غير أنه خلال ذلك إذا ازدادت فترة الاشتعال فإن ذلك يزيد في تشكيل نواتج الاحتراق غير التام CO وCH.

إن تغير قيمة φ_{inj} يسبب تغيراً كبيراً في فترة تأخر الاشتعال، وفي كمية الوقود المحقونة خلال هذه الفترة الأمر الذي يؤثر على طول فترة الاحتراق الانتشاري (وسط يحوي وقود وسائل وبخاره وغازات محترقة). فعلى سبيل المثال يؤدي تقصير فترة تأخر الاشتعال إلى إنقاص كمية الوقود المحقونة لحين بدء مرحلة الاحتراق السريع (ΔV_i) فيزداد تبعاً لذلك الاحتراق اللانتشاري ونسبة الدخان الشكل رقم (2)[1].



الشكل (2): تأثير زاوية تسبيق الحقن على الدخان في غازات العادم لمحرك ديزل ذي حجرة احتراق في المكبس.

——— ديزل من دون شحن قسري.

--- ديزل مع شحن قسري.

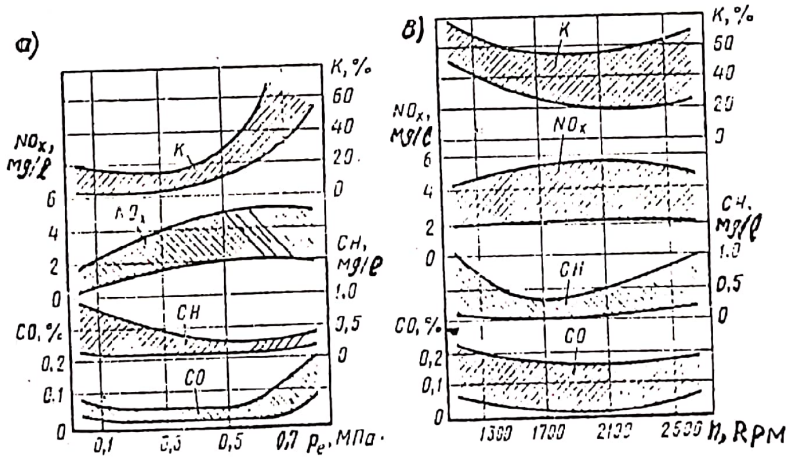
هـ- نظام عمل المحرك: يبين الشكل رقم (3) مجالات محتوى غازات العادم مع المواد الملوثة وتغيير الدخان لمحرك ديزل ذات طرق مختلفة في تشكيل الشحنة وذلك تبعاً لنظام عمل المحرك:

آ- تأثير الحمولة.

ب- تأثير سرعة الدوران.

عند زيادة حمولة المحرك في المجال (P_e>0.4÷0.5Mpa) تسوء عملية تشكل واحتراق المزيج، لذلك تزداد نسبة CO وترتفع نسبة الدخان بشكل حاد من غازات العادم. وأما تشكل NO_x فيحدده بشكل أساسي عامل الحرارة، غير أنه عند الحمولات الصغيرة والمتوسطة وعند زيادة كمية الوقود المحقونة في الدورة في هذه الحالة يتباطأ ظهور NO_x وأحياناً كثيرة ينعدم تشكله ويعود هذا إلى ظهور مناطق متعددة ينعدم فيها الأوكسجين الحر[2].

إن زيادة سرعة الدوران إلى n = 2000RPm يؤدي إلى تخفيض الدخان في غازات العادم نتيجة لتحسن تشكل الخليط، غير أنه عند سرعات دوران n > 2000RPm تزداد نسبة الدخان من جديد، ويفسر ذلك باختصار فترة احتراق الوقود وبشكل يكون فيه تأثير سرعة الدوران على ظهور المركبات CH و CO و NO_x مع غازات العادم ضعيفاً في محركات الديزل ذات حجرة الاحتراق المتوضعة في المكبس، وعند العمل على سرعات دوران منخفضة يزداد الدخان في غازات العادم بمقدار 2-15 مرة بالمقارنة مع العمل عند السرعة الاسمية.



شكل (3):

ويفسر ذلك أنه عند انخفاض سرعة الدوران تسوء عملية امتزاج الوقود بالهواء ويصبح الكربون المشكل في المناطق الغنية بالوقود من حجرة الاحتراق في مناطق غنية بالأوكسجين في وقت متأخر، فلا تتم أكسدته لذلك فإن من الضروري تحديد حقن الوقود في مجال السرعات المنخفضة، أي تأمين المعايرة المناسبة

لمميزات السرعة لحقن الوقود في مرحلة التسارع (التعجيل) للسيارات المزودة بمحرك ديزل وخصوصاً تلك المزودة بشاحن، ونتيجة لإغناء المزيج لفترة قصيرة فإن الدخان مع غازات العادم يزداد بشكل كبير وفي الوقت نفسه تلاحظ زيادة قليلة فقط في نواتج CH وCO NO_x.

طرق تخفيض التلوث الدخان في محركات الديزل[4]:

آ- تطوير عمليات تشكيل الخليط واحتراقه: ميزة هذه الطريقة أنها في الوقت نفسه ومع تخفيض الدخان في غازات العادم وتركيز CO وCH فيها تسمح بتحسين اقتصادية واستطاعة المحرك. غير أن زيادة فعالية الاحتراق تؤدي إلى زيادة محتوى NO_x، وعلى العكس فإن التأثير على عملية الاحتراق عن طريق تخفيض نسبة الانضغاط وتقليل زاوية تسبيق الحقن أو زيادة المقاومة الهيدروليكية لهواء الامتصاص تؤدي جميعها إلى انخفاض قيمة NO_x، لكنها في الوقت نفسه تقلل من الميزات الدليلية لعمل المحرك.

ب- تدوير غازات العادم: إذا تم توجيه قسم من غازات العادم إلى قنوات الامتصاص، فإن استيعاب الاسطوانات من الهواء يقل وخلال ذلك فإن مركبات NO_x المتواجدة في غازات العادم يمكن أن تسبب اختصار فترة تأخير الاشتعال، هذا وبالإضافة إلى السعة الحرارية النسبية العالية لنواتج الاحتراق تؤدي جميعها إلى تخفيض درجة الحرارة العظمى للدورة وتركيز الأوكسجين في الشحنة، وهذا يعني الإقلال من ظهور NO_x في غازات العادم وتخفيضها بمقدار 50%÷40، وقد بينت التجارب أنه من أجل تخفيض NO_x في الحدود المذكورة ينبغي دفع (تدوير) الغازات بمقدار 20% من كمية الهواء. تعد طريقة تدوير الغازات أكثر فعالية على الحمولات المنخفضة والمتوسطة، زد على ذلك فإن فعاليتها في محركات الديزل ذات حجرة الاحتراق في المكبس أكبر منها في المحركات الأخرى ذات حجر الاحتراق المنفصلة. ومن الطبيعي أنه عند الحمولات الكبيرة يؤدي تدوير غازات العادم إلى انخفاض المردود الحراري للدورة وزيادة تشكل co.

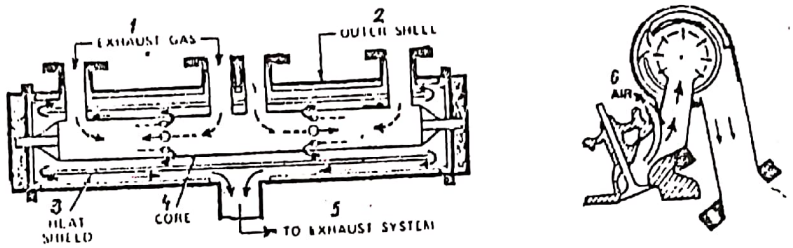
جـ- إضافة الماء: تؤثر عملية إضافة الماء إلى الوقود تأثيراً ملحوظاً على النواتج الملوثة في غازات العادم. ويتم ذلك إما عن طريق حقن الماء في قنوات الامتصاص أو في الاسطوانة مباشرة، وفي هذه الحالة الأخيرة يمكن أن يتم حقن الوقود والماء على شكل خليط منهما، أو حقنهما بشكل منفصل داخل الاسطوانة بوساطة حاقنين مستقلين، أو عبر حاقن واحد مزود بقناتين للوقود والماء. عند إضافة الماء بنسبة 6% وزناً فإن تركيز NO_x ينخفض بمقدار مرتين والدخان

بمقدار مرتين، أما محتوى CO وCH فإنه عملياً لا يتأثر بإضافة الماء، إلا أن استخدام هذه الطريقة يلاقي عدداً من المصاعب العملية المرتبطة بإمكانية تجميد الماء، وظهور الصدأ، وزيادة تآكل بعض أجزاء المحرك ومجموعة حقن الوقود.

د- الوقود والإضافات: إن زيادة رقم السيتان للوقود يقلل من فترة تأخر الاشتعال، وخشونة عمل المحرك، وقيمة الضغط الأعظمي للاحتراق، مما يجعل التأثير على محتوى المواد الملوثة والدخان معقداً. فعند الحمولات المنخفضة والمتوسطة يؤدي زيادة رقم السيتان إلى خفض نواتج NO_x وCH، وأما عند الحمولات العالية، في بعض الحالات إلى زيادة الدخان في غازات العادم. وبقدر ما يتحسن تبخره وهذا يعني تجانس المزيج في حجرة الاحتراق. يؤدي ذلك إلى تخفيض نسبة الدخان ونواتج NO_x. إن إضافة بعض المواد المضادة لتشكل الدخان إلى وقود الديزل بنسبة 1%، مثل برابع اتيل الرصاص، المارغنز، وغيرها يسمح عند الحمولات الكبيرة بتخفيض الدخان عدة مرات وكذلك محتوى الالدهيدات.

هـ- استعمال موانع التلوث أو المفاعلات: وهي من الطرق الفعالة في تحييد المواد الملوثة أي تحويلها إلى مواد غير ضارة، وتستخدم عدة أنواع من هذه المفاعلات، منها المعجلة وفيها تمر الغازات الناتجة عن محرك الديزل خلال طبقة من المعجلات من البلاتين أو أكاسيد الرصاص أو النيكل أو الكروم وغيرها،و هي تساعد في الأكسدة CO وCH وتحويلها إلى H_2O وCO_2. نتيجة لذلك وعند درجة حرارة غازات العادم أكثر من 300°C تقل نسبة CO بمقدار 90%÷85 وCH بمقدار 80%÷75، لكن فعالية هذه الموانع دون حرارة 300°C غير كبيرة. عند استثمار هذه الموانع بسبب ترسب الكربون على طبقة المعجلات من المساوئ التي يجري التخلص منها عن طريق وضع مصيدة لذرات الكربون قبل المفاعل أو عن طريق حرق الكربون فيها بين الحين والآخر. تستخدم موانع أخرى وهي الموانع الحرارية، ويعتمد عملها على أكسدة CO وCH في ظروف حرارة عالية، ويتوقف إتمام عملية تحييد الغازات الملوثة على نسبة تركيزها ودرجة الحرارة والضغط وزمن بقاء الغازات في المانع، وكذلك وجود الأوكسجين.

وعندما يكون محتوى غازات العادم من الأوكسجين قليلاً أو غير كافٍ، فإنه يدفع هواء إضافياً إلى الموانع. عند درجات حرارة منخفضة 200÷150°C تجري أكسدة فعالة لأول أكسيد الآزوت NO وتحويله إلى NO_2. الشكل التصميمي لهذه الموانع يبدو على شكل مبادل معزول، ويركب على مجرى غازات العادم، وبقدر ما يمكن قرب الصمامات الشكل رقم (4).



الشكل (4): مانع حراري مركب على أنبوب العادم لمحرك
1- دخول غازات العادم، 2- عازل خارجي، 3- حاجز حراري، 4- مفاعل، 5- إلى أنبوب العادم، 6- دخول الهواء الإضافي.

و- الحالة التقنية للمحرك: تتوقف نسبة تلوث الغازات والدخان إلى حد كبير على الحالة الفنية للمحرك، وعيارات مجموعة حقن الوقود،وعدم تشرب الوقود من الحاقن، والعيارات غير الصحيحة لضغط الحقن، وتماسك إبرة الحاقن. تعتبر الحالة الحرارية للحاقن من أهم المميزات، فإذا ازدادت حرارته فوق 180÷210°C، فيمكن أن يترسب عليه الكربون، وبالتالي يسيئ إلى خواص الحقن وانتظام التذرير والحقن عبر الثقوب المتعددة. في هذه الحالات يزداد دخان المحرك وتلوث الغازات الناتجة. عن الاحتراق. كما أنه عند اتساخ فلتر الهواء يمكن أن يزداد تلوث الغازات، كنتيجة لانخفاض استيعاب الاسطوانات. ويزداد تشكل المواد الملوثة أيضاً في محركات الديزل ذات الاسطوانات المتآكلة بسبب وصول الزيت إلى حجرة الاحتراق. لذلك فإن الاستثمار الصحيح للمحرك أي المحافظة عليه في حالة فنية جيدة وإجراء المعايرة الدورية لمجموعة حقن الوقود تسمح بتخفيض نسبة المواد الملوثة بشكل عام بمقدار 30÷40%.

النتائج:

1- من أجل تخفيض تلوث غازات العادم في محركات الديزل، فإنه من الضروري تقليل فترة تأخر الاشتعال، خلال هذه الفترة يجب أن يتم حقن الكمية الأكبر من الوقود بغية أن يتم الاحتراق خلال المرحلة الثانية بسرعة غير كبيرة، وأما المرحلة النهائية فبالسرعة القصوى الممكنة.

2- من أجل تخفيض قيمة NO_x بمقدار 40÷50%، ينبغي دفع (تدوير) الغازات بمقدار حوالي 20% من كمية الهواء.

3- عند الحمولات الكبيرة يؤدي تدوير غازات العادم إلى انخفاض المردود الحراري للدورة وزيادة تشكل CO.

4- عند إضافة الماء بنسبة 6% وزناً، فإن تركيز NO_x ينخفض بمقدار مرتين وكذلك الدخان، أما محتوى CO وCH فإنه عملياً لا يتأثر بإضافة الماء.

5- إن إضافة بعض المواد المضادة لتشكل الدخان إلى وقود الديزل بنسبة 1% مثل رابع ايتل الرصاص، المارغنز، وغيرها يسمح عند الحمولات الكبيرة بتخفيض الدخان عدة مرات وكذلك محتوى الألدهيدات.

6- إن الاستثمار الصحيح للمحرك، أي المحافظة عليه في حالة فنية جيدة وإجراء المعايرة الدورية لمجموعة حقن الوقود، تسمح بتخفيض نسبة المواد الملوثة بشكل عام بمقدار 30÷40%.

REFERENCES المراجع

[1]- "The internal COMBUSTION engine in theory and practice" second edition, by Charles Fayette Taylor, 1978. Vol.I. and II.

[2]- Edward F. Obert, Professor of Mechanical Engineering in the University of Wesconin, New York "Internal COMBUSTION Engines and Air Pollution.

[3]- A.S. Orlin (ed) "Internal CONBUSTION engines" Vol.I,II, Moscow 1983.

[4]- V.N. Lykanin (ed) "Internal COMBUSTION Engines" Moscow, 1985