

EXHAUST GAS RECIRCULATION PARAMETERS IN A DIESEL ENGINE¹

Assoc. Prof. Zdravko Ivanov, PhD

Department of Automotive Engineering,
Technical University of Varna, Bulgaria
E-mail: zdravko.ivanov@tu-varna.bg

Assist. Prof. Veselin Mihaylov, PhD

Department of Automotive Engineering,
Technical University of Varna, Bulgaria
E-mail: v_mihaylov@tu-varna.bg

Assist. Prof. Georgi Chekelov

Department of Automotive Engineering,
Technical University of Varna, Bulgaria
E-mail: g_chekelov@tu-varna.bg

***Abstract:** The limit conditions for the influence of exhaust gas recirculation parameters on various limiting components and environmental characteristics of a diesel engine are studied. The possibilities for reducing the amount of NO_x and the impact on the other toxic components and particulate matter in exhaust gases were determined. The behaviour of the carbon emissions from the engine is determined when changing the air charge parameters.*

***Keywords:** diesel engine, exhaust gas recirculation, NO_x, O₂, oxygen concentration, harmful emissions.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Целта на рециркулацията на отработилите газове е подобряване на екологичните характеристики на двигателя и по-специално понижаване на азотните оксиди (NO_x). Смесването на въздух и отработили газове (ОГ) в различно отношение предизвиква намаляване на разполагаемото за протичане на химични реакции количество кислород (O₂), постъпващо в цилиндъра на ДВГ, вследствие на което поради влошени условия горивният процес протича с развиване на по-ниски локални температури.

Цел на настоящето изследване е да се определи съдържанието на кислород в свежия заряд при автомобилен дизелов двигател и неговото влияние върху образуването на токсични компоненти и твърди частици. Понижаването на това количество води до намаляване съдържанието на NO_x в отработилите газове, но съдържанието на въглероден оксид (CO) и твърди частици (PM) се повишава. При значително намаляване количеството O₂ започва влошаване и на мощностните и икономически показатели на двигателя. В настоящето изследване са проведени експериментални изследвания, при които количеството на O₂, постъпващо в двигателя, се регулира чрез система за рециркулация на отработилите газове.

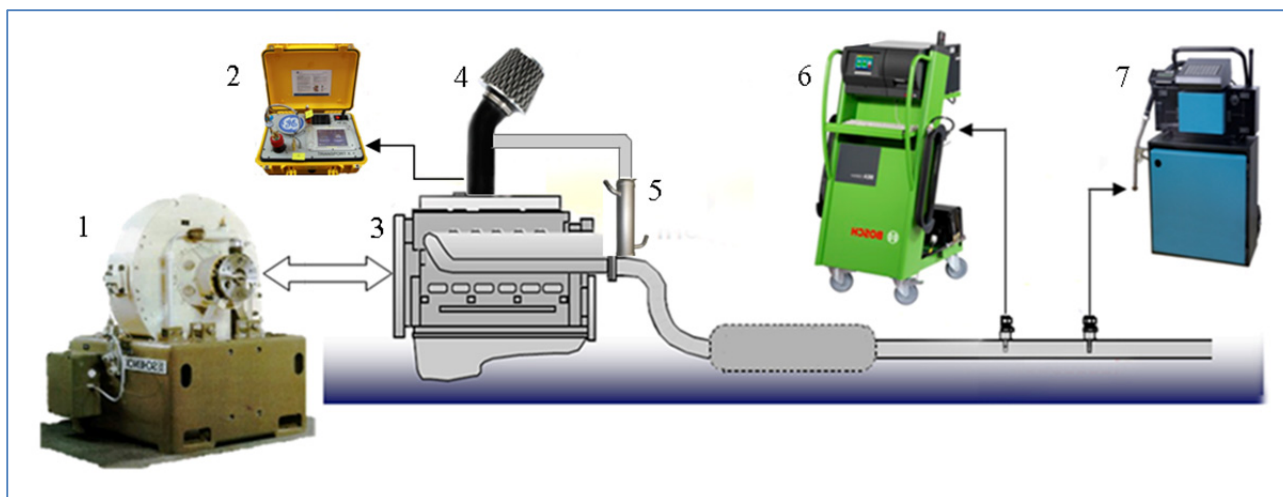
ИЗЛОЖЕНИЕ

Описание условия на експеримента

Изследванията са извършени на автомобилен дизелов двигател с непосредствено впръскване. Изследвани са изменението на екологичните характеристики на двигателя при

¹ Докладът е представен на пленарната сесия на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: ПАРАМЕТРИ НА РЕЦИРКУЛАЦИЯТА НА ОТРАБОТИЛИТЕ ГАЗОВЕ ПРИ АВТОМОБИЛНИ ДИЗЕЛОВИ ДВИГАТЕЛИ

работа по товарна характеристика в средния честотен диапазон. Концентрацията на постъпващия кислород се управлява чрез количеството на рециркулирани отработили газове. В охладителя на отработили газове (фиг.1, поз.5) има монтирана клапа, чрез която може да се регулира дебита им към пълнителния колектор. Сумарната концентрация на кислород се определя от газоанализатор (фиг.1, поз.2), който измерва газовете в пълнителния колектор. Допълнително има монтиран възприемател за температура на входящия въздух (не е показан на схемата), като по време на експериментите тази температура е отчитана. Основните вредни компоненти в отработилите газове се измерват от газоанализатора (6) и димомера (7), като повече информация за опитната постановка може да се намери в (Ivanov, Z. 2012).

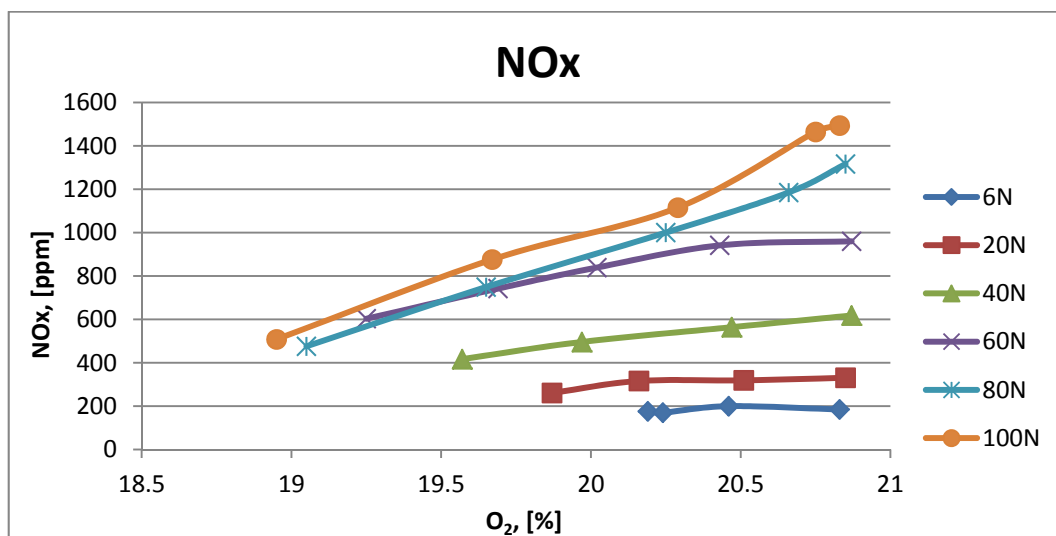


Фиг.1. Схема на опитната постановка

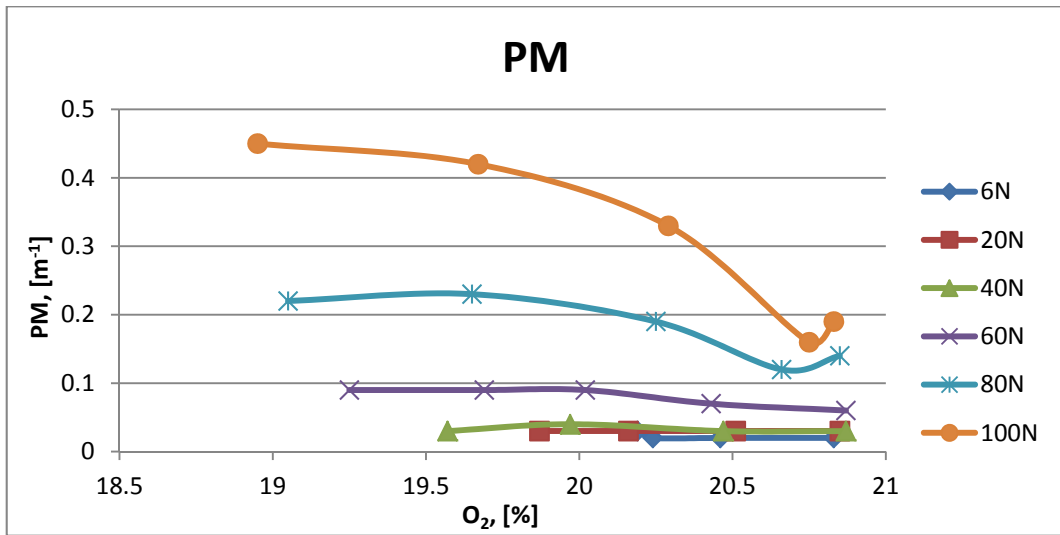
1-Динамометър; 2-Газоанализатор за входящ в-х; 3-Двигател; 4-Въздушен филтър; 5-Воден охладител; 6-Газоанализатор за ОГ; 7-Димомер

Експериментални резултати

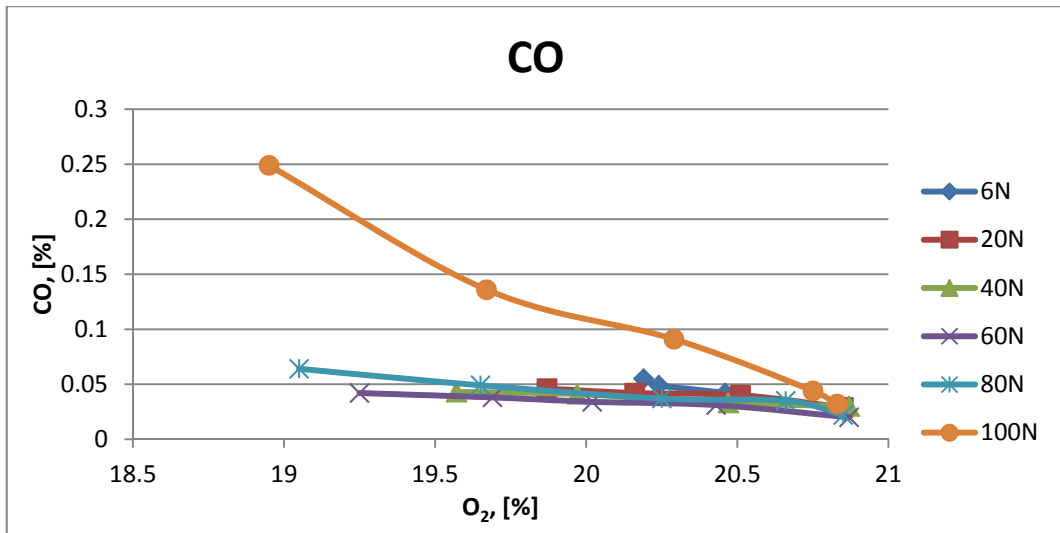
На следващите фигури е показано изменението на основните компоненти в отработилите газове, температурата на ОГ, часовия и специфичния разход на гориво в зависимост от концентрацията на кислород във входящия въздух.



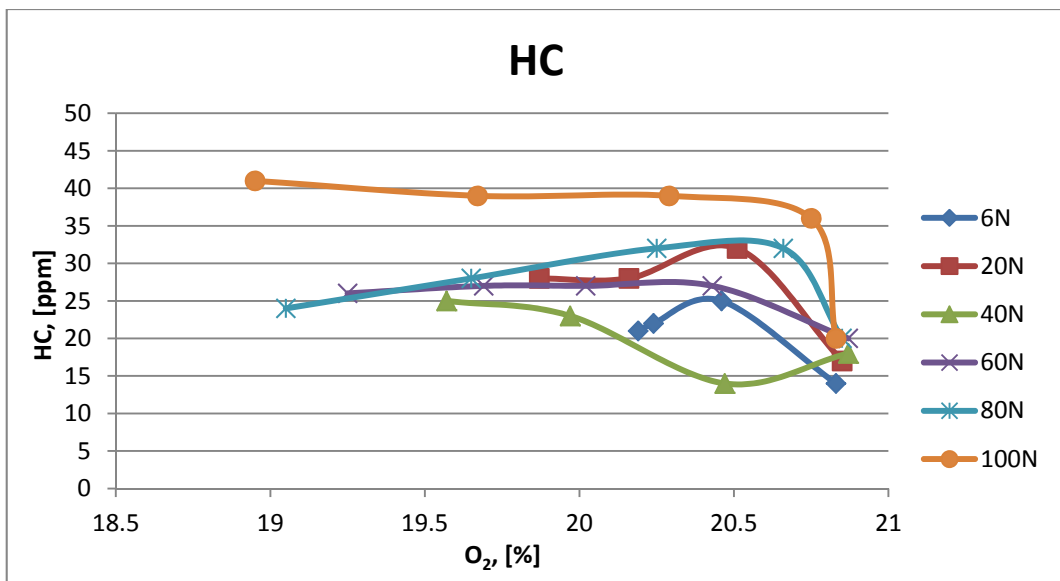
Фиг. 2. Изменение на азотните оксиди



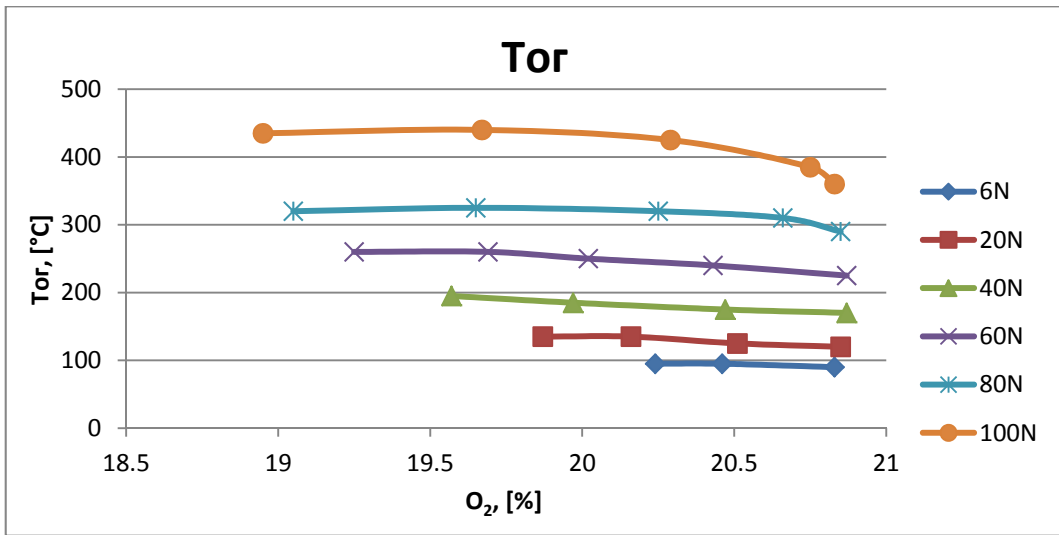
Фиг. 3. Изменение на твърдите частици



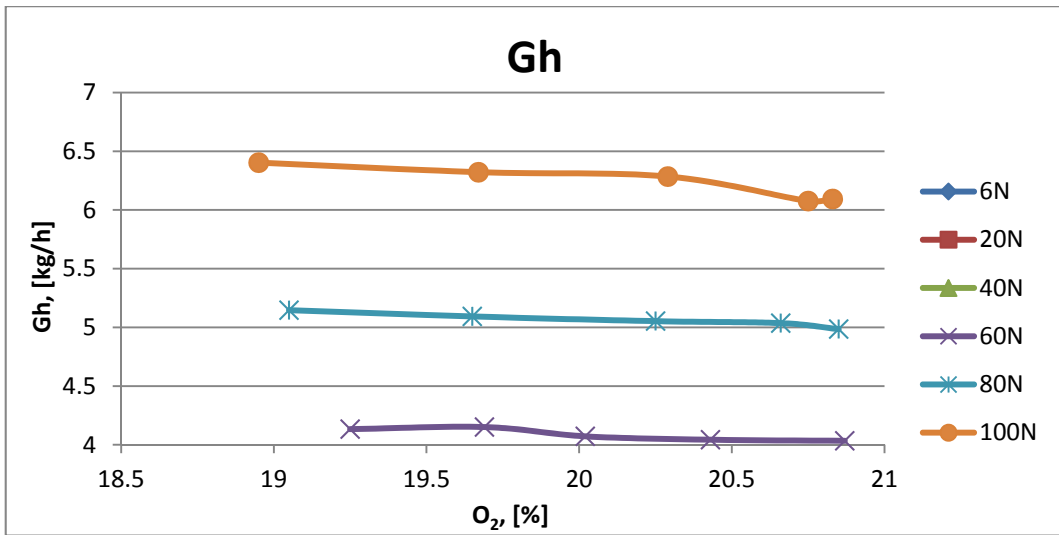
Фиг. 4. Изменение на въглеродния оксид



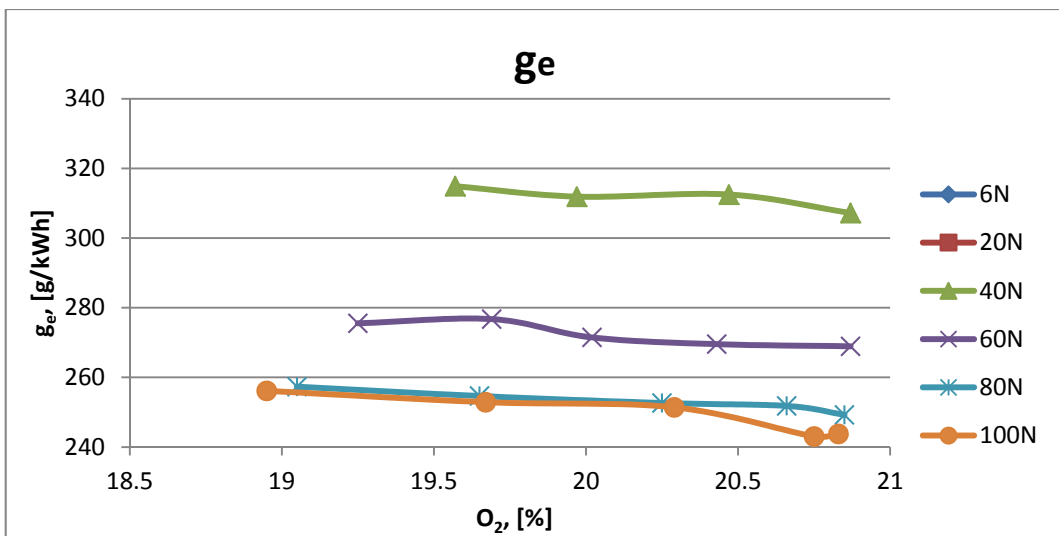
Фиг. 5. Изменение на въглеводородите



Фиг. 6. Изменение на температурата на отработилите газове



Фиг. 7. Изменение на часовия разход на гориво



Фиг. 8. Изменение на специфичния разход на гориво

Анализ на резултатите

Най-голямо влияние количество кислород постъпващо в цилиндъра оказва върху количеството NO_x . В областта на ниските натоварвания количеството на NO_x намалява с около 20%. Тази тенденция се запазва до натоварвания достигащи до около 30% от максималното натоварване. В областта на средни натоварвания влиянието на количеството O_2 е съществено - фиг.2. Чрез намаляване кислорода във входящия въздух до около 19,2% NO_x намаляват съответно от 960 ppm до 603 ppm, или с около 38%. Специфичният разход на гориво нараства незначително от 270 до 275g/kWh, а промяната в останалите компоненти е също незначителна- фиг.3 и фиг.4.

Значителна разлика в емисиите на NO_x се наблюдава в областта на високите натоварвания на двигателя. При тях намаляването е около 3 пъти - от 1494ppm при максимална концентрация на кислород до 508 ppm при концентрация на O_2 18,9%. От друга страна това намаляване на тези емисии води до влошаване на показателите на двигателя по отношение на останалите лимитирани компоненти в отработилите газове. Вследствие влошаване на условията на горене се наблюдава значително повишаване съдържанието на CO в отработилите газове, което значително надхвърля типичните за работа на дизелови двигатели, достигайки нива характерни за двигатели с външно смесообразуване. Паралелно с това съдържанието на твърди частици(сажди) в отработили газове също показва тенденция на влошаване. Съдържанието им нараства от $0,19 \text{ m}^{-1}$ при чист въздух до $0,45 \text{ m}^{-1}$ при 18.9% кислород.

Температурата на отработилите газове (фиг.6) показва тенденция на увеличаване с намаляване съдържанието на кислород във входящия въздух. При средни натоварвания температурата на отработилите газове се увеличава с около 30°C . В областта на високи натоварвания тази тенденция е още по-ясно изразена като разликите са в диапазона $80\div 100^\circ\text{C}$ при концентрация на кислород 19,7%. При по-нататъшно намаляване на кислорода температурата на отработилите газове започва постепенно да намалява.

Това нарастване на температурата се потвърждава от изменението на някои термодинамични показатели на горивния процес на двигателя, изследван при неговото индициране. Максималната скорост на топлоотделяне, получена при първата фаза на горене намалява, което се отразява в продължителността на горенето. Показателят във втората функция на Вибре също показва тенденция на нарастване с намаляване съдържанието на кислород в постъпващия въздух. Промяната на тези показатели води до известно изместване на горивния процес по линия на разширението което води до повишаване на температурата на отработилите газове.

ИЗВОДИ

Рециркулацията на отработилите газове е много ефективен метод за намаляване емисиите на азотни оксиди NO_x от ДВГ. Резултатът от смесването на свеж въздух и отработили газове се явява смес в която имаме понижено съдържание на кислород O_2 . Проведените изследвания в настоящият труд показват силна зависимост на лимитираните компоненти в отработилите газове от това съдържание на кислород. Намаляването на NO_x е най-голямо при средните и високи натоварвания на двигателя. По отношение на въглеродния оксид CO и твърдите частици PM , намаляване съдържанието на кислород в свежия заряд оказва негативно въздействие. При средните и високи натоварвания това влошаване надхвърля типичните стойности за този двигател. Заедно с CO и PM се наблюдава и леко повишаване на часовия и специфичния разход на гориво на двигателя, но тъй като това увеличаване е незначително, то определящи за границите на рециркулация на отработилите газове се явяват съдържанието на въглероден оксид и твърди частици.

1. Основен фактор при рециркулацията се явява сумарното количество кислород, постъпващ в двигателя. Незначителното му намаляване води до рязка промяна в съдържанието на NO_x в отработилите газове. В резултат на изследването е

- установено, че в областта на високите натоварвания на двигателя само 2% намаляване на O_2 води до 3 пъти намаляване на NO_x .
2. Паралелно с намаляване на NO_x се влошават показателите за CO и твърди частици. Това влошаване играе решаваща роля при определяне на количеството на отработили газове постъпващи в цилиндъра на двигателя.
 3. Температурата на отработилите газове показва тенденция на нарастване, която след достигане на определен максимум започва отново да намалява, което говори за изключително влошаване условията на горене в цилиндъра на двигателя.

REFERENCES

- Mollenhauer, K., Tschoeke, H (2010). *Handbook of Diesel Engines*, Publisher: Springer-Verlag Berlin
- Martyr, A. (2007). *Engine Testing: Theory and Practice*, Publisher: Butterworth-Heinemann
- Ivanov, Z., Mihaylov, V., Kolev, A. (2012). *Research system for determination of ecological characteristics of automobile engines*, Eco Varna - 2012
- Wang L, Norman C. (2004). *Advanced air and noise pollution control*, Publisher: Humana Press, New Jersey
- Barzev, K., Stankov E. (2007). *Ecological problems in transport*, Ruse
- Dimitrov, A., Sevastakiev, V., Ivanov, Z. (2006). *Ecological characteristics of ICE and automobiles*, Varna.