

## CALCULATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE BIOGAS ON THE CHARACTERISTICS OF THE VEHICLE ENGINE

V.N. Bgantsev, A.M. Levterov, N.Y. Hladkova

Decrease the consumption of mineral fuels in ICE is considered one of the important goals of reducing the harmful influence of this energy source on the environment. Within this plan, one of the most effective fuels type is biogas obtained from the processing of municipal solid waste and livestock waste. Biogas basically includes methane and carbon dioxide with a wide range of their ratio. The composition of biogas, in relation to the special features of obtaining it, can change, which leads to a change of indicators of the ICE. In connection with, the forecast of these indicators is actual, which is necessary for the development of effective systems for regulating the supply of biogas in the internal combustion engines. This forecast can be executed with the help of mathematical modeling of the working cycle of ICE with using adequate mathematical models. In this research used improved mathematical model of the working cycle of internal combustion engine developed in the department of piston power plant A. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine.

The subject of the research is diesel engine D21A, converted to a gas engine, for which the investigations of possible options biogas composition were carried out with methane and carbon dioxide content in percentage terms: 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60. Influence of the content in biogas of hydrogen, hydrogen sulfide, ammonia and nitrogen oxides in view of their smallness is neglected. The sufficiency of the mathematical model is verified by comparing the effective engine indicators obtained experimentally and by means of a calculation for the rated power mode of 18.5 kW (fuel-methane,  $n = 1800 \text{ min}^{-1}$ ,  $\alpha = 1$ ,  $\varphi = 25^\circ$ ,  $\varepsilon = 9.5$ ). The difference in the comparison of the results didn't be less than 10 %, which proves the fidelity of the model.

The influence of control actions on the parameters of an engine working on biogas is presented in the diagrams in X–Y coordinates. Graphical analysis of the results numerical experiment, depending on the changing parameter allows to predict the potential emission of NO, CO, CO<sub>2</sub>, economic indicators ( $g_i$ ,  $G_i$ ), capacity indicator ( $p_i$ ), the process quality index of the process inside the cylinder ( $\eta_i$ ), to estimate the maximum values of temperature and pressure of the cycle as for the rated power mode ( $n = 1800 \text{ min}^{-1}$ ) and for the maximum torque capacity ( $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ ), and retrieve additional info for different excess air ratio ( $\alpha = 1.0$ ,  $\alpha = 1.1$ ) by external velocity performance and load characteristics for all test parameters of the engine.

A numerical experiment based on predict the characteristics of an engine running on biogas with a different ratio of CH<sub>4</sub> / CO<sub>2</sub> made it possible to make a quick, with sufficient accuracy, preliminary analysis indicator indexes of ICE with spark ignition. Inference should be drawn that the use of biogas as a motor fuel for stationary and transport power plants shows positive results, videlicet: improves index toxicity at a significant decrease in the economic index of the engine, decreases the thermal load on the parts of the cylinder-piston group, which contributes to the increase in their motor mileage allowance, the carbon dioxide balance in the environment is observed.

The results of mathematical modeling can be useful in optimizing the working cycles of ICE, which are transferred to work with natural gas and biogas. They are also necessary in the development of such complex structures as automatic control systems for the supply of gaseous fuels in the internal combustion engine with the instability of its component composition and the resulting heat of combustion.

УДК. 621.43

А. Н. Авраменко

DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.03

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ТЕПЛОВОЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Проведен обзор современных способов организации рабочего процесса дизельных двигателей и методик моделирования показателей ДВС. Использование современных способов организации рабочего цикла позволяет улучшить показатели топливной экономичности ДВС и снизить уровень токсичности отработавших газов. В работе рассмотрены результаты сравнительного численного моделирования рабочего цикла тепловозного дизельного двигателя 16 ЧН 26/27 при работе на характерных эксплуатационных режимах (режим холостого хода, 30% от режима номинальной мощности и номинальном режиме). С использованием численных методов рассмотрены расчетные варианты в штатном исполнении (при работе двигателя по циклу Дизеля) и модернизированном (НССИ двигатель). Использование численных методов для исследования рабочих процессов ДВС позволяет получить информацию о локальных и осреднённых характеристиках рабочего цикла и их изменении по углу поворота коленчатого вала. В работе показано, что у НССИ двигателя отмечается снижение уровня выбросов оксидов азота, в среднем на 15-20 %, массового выброса сажи (твердых частиц) в среднем на 18 - 22 %, что достигнуто путем гомогенизации топливовоздушной смеси, снижения максимальных локальных температур пламени и увеличения полноты сгорания топлива.*

**Введение**

Повышение требований к топливной экономичности и токсичности отработавших газов современных ДВС приводит к необходимости использо-

вания новых подходов к организации рабочих процессов, использования альтернативных видов топлива и систем нейтрализации отработавших газов [1-8].

Для улучшения показателей рабочих процессов дизельных двигателей используют такие подходы: оптимизация параметров агрегатов наддува, увеличение давления впрыска топлива, совершенствование процессов смесеобразования и сгорания и использование новых топлив [1-6].

Одним из современных подходов по улучшению показателей рабочего цикла дизельного двигателя является гомогенное воспламенение от сжатия (НССИ двигатель). Реализация такого процесса стала возможной благодаря использованию систем типа Common-Rail, позволяющих реализовать многостадийную подачу топлива для равномерного заполнения цилиндра топливом и воздухом, начиная от такта сжатия с окончанием процесса впрыска вблизи ВМТ и добавлением к свежему заряду предварительно подготовленных отработавших газов (система EGR) для предотвращения неконтролируемого самовоспламенения гомогенизированной топливовоздушной смеси.

#### Анализ публикаций

Использование современных программных комплексов позволяет исследовать рабочие процессы ДВС с использованием численного эксперимента.

Наиболее информативными являются методики численных исследований рабочих процессов ДВС, реализованные в программном комплексе AVL Fire [10]. Возможности программного комплекса позволяют моделировать рабочие циклы ДВС в плоской осесимметричной постановке, трехмерной осесимметричной и трехмерной несимметричной постановках. При этом есть возможность рассматривать работу двигателя в целом совместно с трансмиссией и автомобилем [11]. В результате таких численных экспериментов появляется возможность детально проанализировать показатели двигателя в составе транспортного средства и получить, к примеру, распределение характеристик токсичности отработавших газов в граммах на 100 км пробега автомобиля [11].

Исследованием НССИ двигателей в последнее время занимаются ученые во многих странах мира [6-9]. Реализация рабочего цикла дизельного двигателя с гомогенизированным смесеобразованием позволяет не только увеличить полноту сгорания топлива, снизить уровень токсичности отработавших газов, но и снизить уровень температур и напряжений в деталях камеры сгорания.

Характерными эксплуатационными режимами тепловозных дизельных двигателей являются режим холостого хода (60% от общей продолжительности работы двигателя), 30% от режима номинальной мощности (порядка 25% от общей про-

должительности работы двигателя) и номинальный режим (15% от общей продолжительности работы двигателя).

Исследуя параметры рабочих процессов на этих режимах, можно комплексно оценивать эффективность влияния конструктивных, регулировочных и режимных параметров двигателя после модернизации на показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов.

#### Цель и задачи исследования

Цель работы – сравнительная расчетная оценка параметров рабочих процессов тепловозного дизельного двигателя 16 ЧН 26/27 при работе в штатном и модернизированном исполнении.

Основные этапы и результаты исследования сводятся к следующему. Объект исследования – рабочий процесс тепловозного дизельного двигателя 16 ЧН 26/27 при работе на характерных эксплуатационных режимах.

С использованием численных методов проведено математическое моделирование процессов впуска, смесеобразования, сгорания и формирования токсичных веществ при работе двигателя на исследуемых режимах.

При моделировании рассматривалась задача в трёхмерной нестационарной постановке в Декартовых координатах от момента открытия впускного клапана до момента открытия выпускного клапана.

Для описания турбулентных течений в цилиндре двигателя использовалась k-ε модель турбулентности. Методика численного моделирования детально изложена в работах [9, 10].

Расчетная сетка, повторяющая сложную конфигурацию камеры сгорания с элементами впускных и выпускных каналов представлена на рис. 1.

Краткая характеристика рассматриваемых вариантов штатного и НССИ модернизированного двигателей представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Краткая характеристика штатного двигателя

Степень сжатия	16,5
Диаметр сопловых отверстий распылителя, мм	0,3
Угол опережения впрыска, град п.к.в. до ВМТ	20
Длительность впрыска топлива, град п.к.в.	20

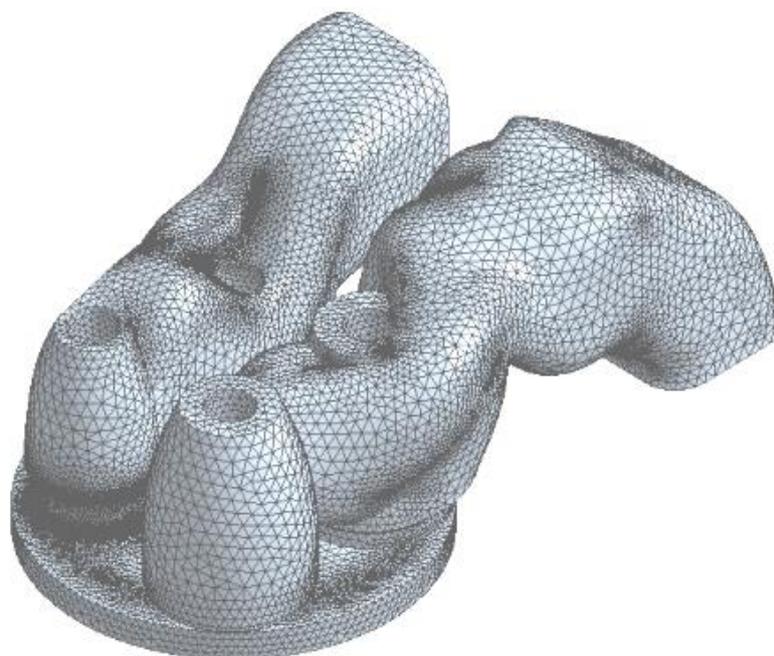


Рис. 1. Расчетная сетка

Таблица 2. Краткая характеристика HCCI двигателя

Степень сжатия	16,5
Диаметр сопловых отверстий распылителя, мм	0,22
Угол опережения впрыска, град п.к.в. до ВМТ	1300 100 40 12
Количество впрысков	4
Длительность впрыска топлива, град п.к.в.	20
Система рециркуляции отработавших газов	EGR

Результаты численного моделирования процесса впрыска топлива и его визуализация представлена на рис. 2

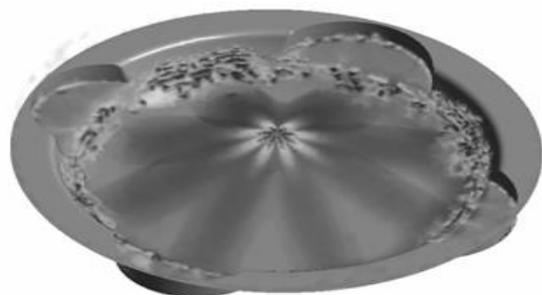


Рис. 2. Визуализация процесса впрыска топлива

Далее приведены результаты численного исследования процессов сгорания и формирования токсичных и канцерогенных компонентов в цилиндре тепловозного дизельного двигателя (рис. 3).

Из результатов, представленных на рис. 3 видно, что для штатного варианта дизельного двигателя имеет место значительная неравномерность распространения температур и концентраций, связанная с особенностями организации рабочего цикла Дизеля с камерой сгорания типа "Гессельман". Так, максимальная температура пламени достигает 2300 °С (рис. 3. а). Распределение массовой доли *NO* имеет явно выраженный зональный характер, что связано с объемным смесеобразованием и значительной долей "быстрых *NO*" на периферийном участке фронта пламени (рис. 3. б). Наличие участков камеры сгорания с низким коэффициентом избытка воздуха в процессе сгорания паров топлива приводит к локализации сажи (рис. 3. в).

Результаты численного исследования процессов сгорания и формирования токсичных и канцерогенных компонентов в цилиндре HCCI двигателя представлены на рисунке 4.

Из результатов, представленных на рис. 4, видно, что для HCCI двигателя уменьшается неравномерность распространения температур и концентраций, связанная с гомогенизацией топливоздушной смеси путем многостадийного впрыска топлива. Так, максимальная температура пламени достигает 2100 °С (рис. 4. а). Зоны распределения массовой доли *NO* размыты по камере сгорания,

что связано с гомогенизацией смеси и уменьшением доли “быстрых NO” на периферийном участке фронта пламени (рис. 4. б). Улучшение процесса смесеобразования положительно сказалось на снижении массовой доли сажи (рис.4. в).

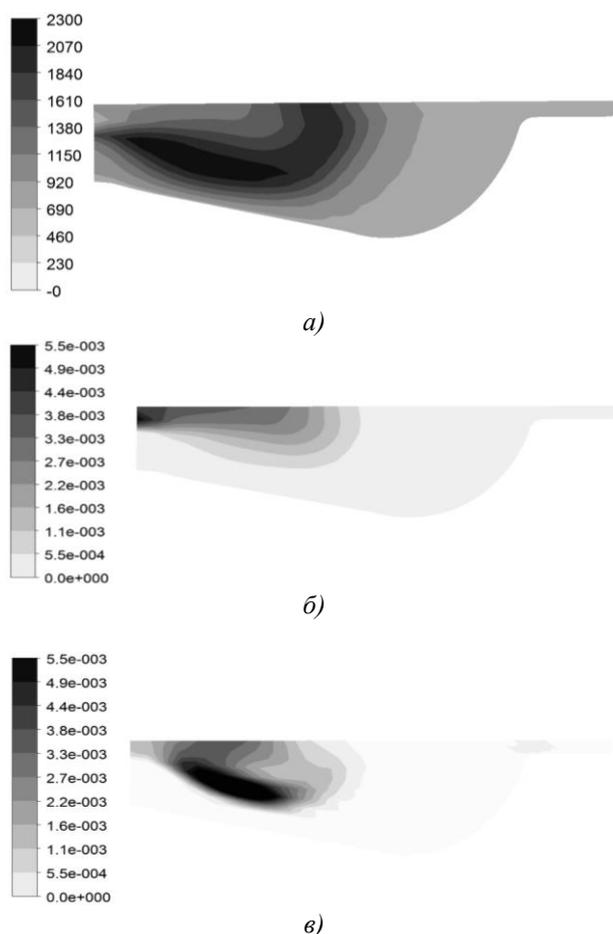


Рис. 3. Результаты численного моделирования процессов сгорания и формирования токсичных и канцерогенных компонентов в цилиндре ( $N_e = 2940$  кВт,  $\varphi = 365$  горд п.к.в.):

а – распределение температуры пламени и газа в меридиональном сечении камеры сгорания; б – распределение массовой доли монооксида азота (NO); в – распределение массовой доли сажи

Сравнение параметров рабочих процессов штатного и НССИ двигателей представлены в таблицах 3, 4 и 5.

Как видно из результатов, представленных в табл. 4 и 5 для расчетного варианта НССИ двигателя на исследуемых режимах отмечается снижение уровня токсичности отработавших газов, в среднем на 18 - 20%. Это связано с гомогенизацией топливовоздушной смеси, снижением максимальной температуры пламени в локальных зонах камеры сгорания и более полным сгоранием топлива.

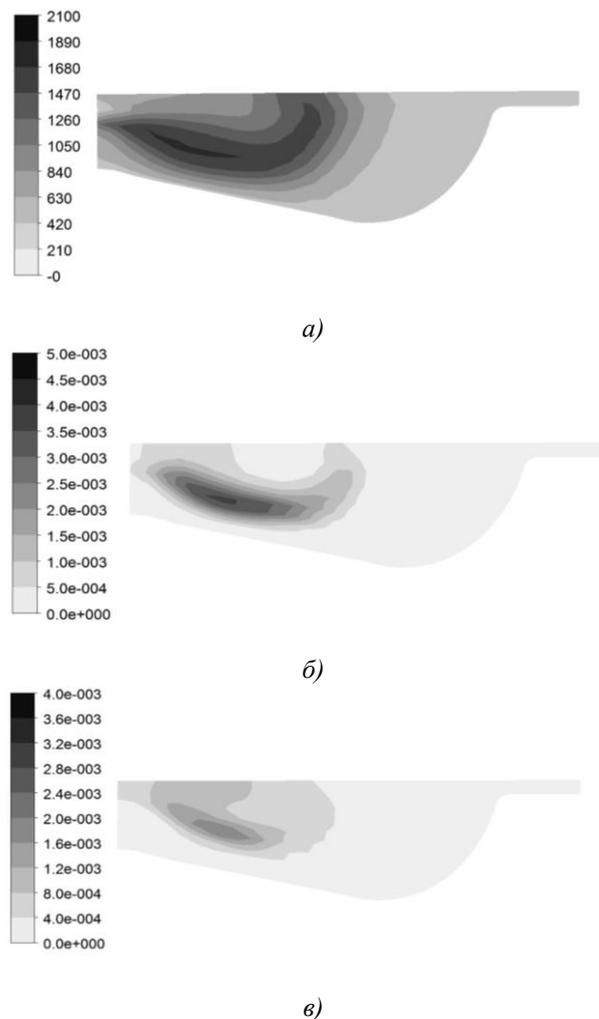


Рис. 4. Результаты численного моделирования процессов сгорания и формирования токсичных и канцерогенных компонентов в цилиндре ( $N_e = 2940$  кВт,  $\varphi = 365$  горд п.к.в.):

а – распределение температуры пламени и газа в меридиональном сечении камеры сгорания; б – распределение массовой доли монооксида азота (NO); в – распределение массовой доли сажи

Таблица 3. Сравнение параметров рабочих процессов штатного и НССИ двигателей

№	$N_e$	$n$	$P_z$	$T_z$	$g_e$
	кВт	мин <sup>-1</sup>	МПа	К	г/кВт·ч
1	0	350	5,4	1521	257
			5,3*	1505*	258*
2	750	880	7,3	1538	235
			7,2*	1509*	236*
3	2940	1000	11,5	1546	203
			11,4*	1515*	204*

\* - НССИ двигатель

Таблица 4. Экологические показатели штатного двигателя

№	<i>N<sub>e</sub></i>	<i>n</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>C</i>
	кВт	мин <sup>-1</sup>	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч
1	320	350	9,27	5,06	0,73
2	750	880	15,35	27,2	3,4
3	2940	1000	41,05	18,48	2,11

Таблица 5. Экологические показатели НСЦИ двигателя

№	<i>N<sub>e</sub></i>	<i>n</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>C</i>
	кВт	мин <sup>-1</sup>	г/кВт·ч	г/кВт·ч	г/кВт·ч
1	320	350	7,7	4,09	0,59
2	750	880	11,9	21,7	2,65
3	2940	1000	34,5	15,1	1,7

### Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующее заключение:

- НСЦИ двигатель обладает улучшенными экологическими показателями, по сравнению со штатным вариантом, за счет организации процесса сгорания при более низких локальных температурах в цилиндре, частичного отравления свежего заряда подготовленными отработавшими газами (система EGR), уменьшения доли “быстрых NO” на периферийных участках фронта пламени и увеличения полноты сгорания топлива;

- у НСЦИ двигателя, относительно базового варианта (работающего по циклу Дизеля), отмечается снижение уровня выбросов оксидов азота, в среднем на 15-20 %, массового выброса сажи (твердых частиц) в среднем на 18 - 22 %, что свидетельствует о перспективности такого способа организации рабочего цикла для тепловозного дизельного двигателя.

### Список литературы:

1. Polivianchuk A. Creation and experimental studies of the dynamic measuring concentrations of particulates in the exhaust gases of diesel engines/ A. Polivianchuk, I. Parsadanov, O. Holkina // *Teka Komisiji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, – 2015.- Vol. 15, No.2, 15-23. 2. Pirjola L. Model studies of volatile diesel exhaust particle formation: are organic vapours involved in nucleation and growth?/ L. Pirjola, M. Karl, T. Rönkkö and F. Arnold // *Atmos. Chem. Phys.* - 2015 - Vol. 15, P. 10435–10452. 3. Парсаданов И.В. Оценка влияния гальваноплазменного покрытия поршня автотракторного дизеля на выбросы твердых частиц с отработавшими газами / И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2009 - № 2. С. 97-100. 4. Марченко А.П. Особливості процесу згорання в дизелі при роботі на водопаливній емульсії / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, А.О. Прохоренко, А.В. Савченко, О.О. Осетров, Д.В. Мешков // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2016. – № 1. С. 3-10. 5. Perini F. Comparison of Linear, Non-Linear and General-

ized RNG-Based *k*-epsilon Models for Turbulent Diesel Engine Flows / F. Perini, K. Zha, S. Busch and R. Reitz // *SAE Technical Paper*, 2017-01-0561. 6. Wickman D. Optimized Split-Spray Piston Geometry for HSDI Diesel Engine Combustion / D. Wickman, H. Yun and R. Reitz // *SAE paper*, 2003-01-0348, *SAE Transactions*, Volume 112, Section 3, *Journal of Engines*, 2003, 488-507. 7. Munnannur A. Use of a Pressure Reactive Piston to Control Diesel PCCI Operation - A Modeling Study / A. Munnannur, N. Abani and R. Reitz // *SAE Paper*, 2006-01-0921. *SAE Transactions*, Vol. 115, Section 3, *Journal of Engines*, 2006, 542-555. 8. Ra Y. Effect of Piston Crevice Flows and Lubricant Oil Vaporization on Diesel Engine Deposits / Y. Ra, R. Reitz, M. Jarrett and T. Shyu // *SAE Paper*, 2006, 2006-01-1149. 9. Genzale C. Effects of Piston Bowl Geometry on Mixture Development and Late-Injection Low-Temperature Combustion in a Heavy-Duty Diesel Engine/ C. Genzale, R. Reitz and M. Musculus // *SAE paper*, 2008-01-1330, *Special Publication*, SP-2185, *Compression Ignition Combustion Processes*, *SAE Int. J. Engines*, Vol. 1, 2009, 913-937. 10. Абрамчук Ф.И. Программный комплекс для моделирования внутрицилиндровых процессов ДВС / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Авраменко // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2010. – Вып. 2. – С. 7 - 12. 11. AVL FIRF, *Feel's Manual Version 7*, AVL LIST GmbH, Graz, Austria, 2000.

### Bibliography (transliterated):

1. Polivianchuk A., Parsadanov I., Holkina O. (2015), “Creation and experimental studies of the dynamic measuring concentrations of particulates in the exhaust gases of diesel engines”, *Teka Komisiji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Vol. 15, No.2, pp.15-23. 2. Pirjola L., Karl M., Rönkkö T. and Arnold F. (2015), “Model studies of volatile diesel exhaust particle formation: are organic vapours involved in nucleation and growth?”, *Atmos. Chem. Phys.* - Vol. 15, pp. 10435–10452. 3. Parsadanov I.V., Polivianchuk A.P. (2009), “Evaluation of the influence of the plating of the plunger of an auto-tractor diesel on the emissions of solid particles with exhaust gases” [“Otsenka vliyaniya galvanoplazmennogo pokrytiya porshnya avtotraktorного дизеля на выбросы твердых частиц с отработавшими газами”], *Dvyhately vnutrenneho s-horannya*, № 2. pp. 97-100. 4. Marchenko, A.P., Parsadanov, I.V., Prohorenko, A.O., Savchenko, A.V., Osetrov, O.O., Meshkov, D.V. (2016), “Features combustion process in diesel engines when working at water-fuel emulsion” [“Osoblyvosti protsesu z-horyannya v dyzeli pry roboti na vodoropalivniiy emul'siyi”], *Dvyhately vnutrenneho s-horannya*, № 1, pp. 3-10. DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.01. 5. Perini F., Zha K., Busch S. and Reitz R. (2017), “Comparison of Linear, Non-Linear and Generalized RNG-Based *k*-epsilon Models for Turbulent Diesel Engine Flows”, *SAE Technical Paper*, 2017-01-0561. DOI: 10.4271/2017-01-0561. 6. Wickman D., Yun H. and Reitz R. (2003), “Optimized Split-Spray Piston Geometry for HSDI Diesel Engine Combustion”, *SAE paper*, 2003-01-0348, *SAE Transactions*, Volume 112, Section 3, *Journal of Engines*, 488-507. DOI: 10.4271/2003-01-0348. 7. Munnannur A., Abani N. and Reitz R. (2006), “Use of a Pressure Reactive Piston to Control Diesel PCCI Operation - A Modeling Study”, *SAE Paper*, 2006-01-0921. *SAE Transactions*, Vol. 115, Section 3, *Journal of Engines*, 542-555. DOI: 10.4271/2006-01-0921. 8. Ra Y., Reitz R., Jarrett M. and Shyu T. (2006), “Effect of Piston Crevice Flows and Lubricant Oil Vaporization on Diesel Engine Deposits”, *SAE Paper*, 2006-01-1149 DOI: 10.4271/2006-01-1149. 9. Genzale C., Reitz R. and Musculus M. (2008), “Effects of Piston Bowl Geometry on Mixture Development and Late-Injection Low-Temperature Combustion in a Heavy-Duty Diesel Engine”, *SAE paper*, 2008-01-1330, *Special Publication*, SP-2185, *Compression Ignition Combustion Processes*, *SAE Int. J. Engines*, Vol. 1, 913-937. DOI: 10.4271/2008-01-1330. 10. Abramchuk F.I., Avramenko A.N. (2010), “Program complex for modelling intracylinder processes ICE” [Programnyi kompleks dlya modelirovaniya vnutrisilindrovyykh protsessov DVS, Dvyhateli vnutrenneho shoraniya], Vol. 2, pp. 7 - 12. 11. AVL FIRF, *Feel's Manual Version 7*. (2000.), AVL LIST GmbH, Graz, Austria.

**Авраменко Андрей Николаевич**, канд. техн. наук, и.о. зав. отделом водородной энергетики, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: an0100@ukr.net, 349-47-54.

### ПОРІВНЯЛЬНА РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТЕПЛОВИЗНОГО ДВИГУНА

*А.М. Авраменко*

Проведено огляд сучасних методів організації робочого процесу дизельних двигунів та методики моделювання показників ДВЗ. Використання сучасних способів організації робочого циклу дозволяє покращити показники паливної економічності ДВЗ і знизити рівень токсичності відпрацьованих газів. В роботі розглянуті результати порівняльного чисельного моделювання робочого циклу тепловизного дизельного двигуна 16 ЧН 26/27 при роботі на характерних експлуатаційних режимах (режим холостого ходу, 30% від режиму номінальної потужності і номінальному режимі). З використанням чисельних методів розглянуті розрахункові варіанти в штатному виконанні (при роботі двигуна за циклом Дизеля) і модернізованому (НССІ двигун). Використання чисельних методів для дослідження робочих процесів ДВЗ дозволяє отримати інформацію про локальні та осередненні характеристики робочого циклу і їх зміну по куту повороту колінчастого валу. В роботі показано, що у НССІ двигуна відзначається зниження рівня викидів оксидів азоту, в середньому на 15-20%, масового викиду сажі (твердих частинок) в середньому на 18-22%, що досягнуто шляхом гомогенізації суміші, зниження максимальних локальних температур полум'я і збільшення повноти згоряння палива.

### COMPARATIVE DESIGN ASSESSMENT OF INDICATORS OF WORKING CYCLE DIESEL ENGINE

*A. N. Avramenko*

The review of modern ways of the organization of the working process of diesel engines and methods for modeling the indicators of ICE. The use of modern methods of organizing the working cycle can improve the fuel economy of ICE and reduce the level of toxicity of exhaust gases. The paper discusses the results of comparative numerical simulation of the duty cycle of diesel engine 16 FT 26/27 when operating at typical operating conditions (idling, 30% of rated power and nominal mode). With the use of numerical methods, considered variants in the standard version (when the engine is running on a Diesel cycle) and upgraded (HCCI engine). The use of numerical methods for studying the ICE work processes allows obtaining information on local and averaged characteristics of the working cycle and their variation in the angle of rotation of the crankshaft. The work shows that the HCCI engine has a decrease in the level of nitrogen oxide emissions, on average by 15-20%, mass emission of soot (solid particles) on average by 18-22%, which is achieved by homogenizing the fuel-air mixture, reducing the maximum local flame temperatures and increasing the completeness of combustion.

УДК 621.43.057.3

*А.В. Савченко*

DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.04

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУМІШОУТВОРЕННЯ ТА ЗГОРЯННЯ В ДИЗЕЛІ НА ВОДОПАЛИВНІЙ ЕМУЛЬСІЇ

*Використання водопаливної емульсії (ВПЕ) в якості палива для дизелів дозволяє досягти значного комплексного покращення паливно-екологічних показників двигуна. Проте, процес згоряння ВПЕ помітно відрізняється від згоряння традиційного дизельного палива. Це обумовлює виникнення резервів з покращення дизеля на ВПЕ шляхом вибору оптимальних параметрів. Найбільш раціональним шляхом для вирішення поставленої задачі є використання комплексної математичної моделі дизеля при роботі на ВПЕ. Одним з найбільш важливих складових такої моделі дизеля є математична модель процесів сумішоутворення та згоряння палива в циліндрі. Наведено основні елементи математичної моделі процесів сумішоутворення та згоряння водопаливної емульсії в дизелі. Для ідентифікації математичної моделі було використано результати комплексу експериментальних досліджень дизеля на водопаливній емульсії на найбільш показових режимах роботи дизеля, що відображають вплив кута випередження впорскування палива, та вміст води у водопаливній емульсії. Підвищення точності отриманих даних експериментальних досліджень досягнуто використанням методів обробки даних окремо для кожного робочого циклу дизеля. Наведено результати ідентифікації математичної моделі. Результати математичного моделювання добре узгоджуються із експериментальними даними, характер та ступінь впливу розглянутих факторів на процеси сумішоутворення та згоряння відображений адекватно. Отримані результати є вихідними даними для моделювання процесів утворення сажі та оксидів азоту в циліндрі дизеля. Це дозволить адекватно оцінити вплив кожного з обраних параметрів на показники дизеля та визначити сукупність параметрів, що забезпечать найбільш ефективне використання ВПЕ в дизелі.*

#### **Вступ**

В наш час значно зростає інтерес світової спільноти до питань, що пов'язані з глобальними еко-

логічними проблемами. Все більш актуальними стають питання зменшення шкідливого впливу діяльності людства на навколишнє середовище. Сто-