

O. M. Kondratenko

ASSESSMENT OF FUEL AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF EXPLOITATION PROCESS OF RECIPROCATING ICE OF POWER PLANTS WITH CONSIDERING OF EMISSION OF BENZO(A)PYRENE AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

In this study, the author has improved its previously proposed methods for determining the value of mass hourly emissions of benzene(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel engine exhaust gases flow. The purpose of the study is to obtain the values of complex fuel-ecological criterion that characterize the ecological safety level of diesel engine exploitation process considering the emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons as toxic and carcinogenic pollutants. The distributions of such emissions have been obtained over the field of a 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine operating modes field and over the modes of standardized steady testing cycle ESC. The mathematical apparatus and method of application of complex fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov have been improved. The author has obtained the distributions of these indicator values of ecological safety level of power plants with reciprocating ICE exploitation process over the field of 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine operating modes of and over modes of standardized steady testing cycle ESC, as well as its average operating value. It has been established that, average operating values of K_{fe} criterion and the δK_{fe} effect for all investigated variants of accounting for mass hourly emissions of B(a)P and PAH in diesel engine exhaust gas flow are almost identical and reduce the value of the K_{fe} criterion on 29 – 32 % – from 63 % up to 42 – 45 %. The scientific novelty of the obtained results is that the approach of Prof. Igor Parsadanov for criteria-based assessment of fuel-ecological efficiency of autotractor diesel engines exploitation process as a part of power plant considering the of mass hourly emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons with RICE EG flow as the toxic pollutants and also methods for determining of such emissions and ponderability of such pollutants received further development towards in direction of application of this mathematical apparatus for standardized steady testing cycles.

Key words: ecological safety, environmental protection technologies, power plants, reciprocating internal combustion engines, pollutants emission, criteria-based assessment, benzo(a)pyrene, polycyclic aromatic hydrocarbones.

Introduction and problem statement

According to the results of the analysis of the mathematical apparatus of the complex fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov (NTU «KhPI») K_{fe} described in the monograph [1] and improved in the monograph [2] and developed on the basis of method [3] found that it has the following advantages. 1) Taking into account the values of the full set of legislative normalized indicators of toxicity of exhaust gases of reciprocating internal combustion engine (RICE). 2) Availability of physical content. 3) Taking into account the features of the engine exploitation model. 4) Taking into account the value of the RICE fuel consumption. 5) Availability of components that have monetary equivalents. 6) Availability of an absolute internal scale with one reference point, which characterizes the specific assessment object. 7) Operation with specific values of influencing factors.

However, the main disadvantages of the K_{fe} criterion are the following. 1) Failure to take into account statutory norms or other special magnitudes of influencing factors. 2) Obtaining only the average operating values (the original mathematical apparatus described in the monograph [2], does not give individual mode magnitudes). 3) Dependence of the internal scale reference point value on the type and condition of the assessment object. 4) Uncertainty for idling modes and low informativeness for low effective power modes. 5) Uncertainty of some aspects of the instrumental and

methodological component of the systematic error in determining its values. 6) Impossibility to take into account a wider range of ecological safety (ES) factors that are different in physical nature from emissions of gaseous pollutants.

The same source formulates the concept of improving the mathematical apparatus and method of the K_{fe} criterion application, one of the main points of which is the partial overcoming of item 6 of the above disadvantages, namely, the introduction of the criterion of new ES factors into mathematical apparatus.

In particular, in the classification of ES factors, the source of which is RICE in power plant (PP), presented together with the concept, with the corresponding classifier, built on a hierarchical principle (see Table 1 [2]), in addition to directly legally regulated factors – gaseous and aerosol pollutants in the flow of exhaust gases (EG), there are also legally regulated indirectly – sulphur oxides SO_x , polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), heavy metal compounds, greenhouse gases (CO_2), as well as non-regulated emissions of motor fuel and oil, aerosol of crankcase gases and water vapor and some others. Such ES factors can in principle be introduced into the structure of the K_{fe} criterion.

Other material ES factors contained in the classification, in order to be part of the influencing factors of the mathematical apparatus of the K_{fe} criterion, must transform to the gaseous state (these are spills of liquid pollutants), and those who under normal conditions can

not make such transformation (waste, i.e. solids-pollutants) such a mathematical apparatus cannot be taken into account directly at all.

Table 1. Proposed hierarchical classifier of ES factors the source of which are RICE [2]

| Classifier Code | Ecological Safety Factor | Current Status |
|-----------------|--|-------------------|
| A | POLLUTANTS | 3 / 14 |
| <i>A.a</i> | <i>Gaseous and aerosol substances-pollutants</i> | <i>2 / 8</i> |
| <i>A.a.1</i> | <i>Legislative normalized directly</i> | <i>2 / 2</i> |
| <i>A.a.1.1</i> | Emission of products of uncompleted combustion of motor fuel in EG aerosol flow (C _n H _m , CO, PM) | Yes |
| <i>A.a.1.2</i> | Emission of products of complete combustion of motor fuel in EG aerosol flow (NO _x) | Yes |
| <i>A.a.2</i> | <i>Legislative normalized indirectly</i> | <i>0 / 3</i> |
| <i>A.a.2.1</i> | Emission of sulphur oxides in EG aerosol flow (SO _x) | No |
| <i>A.a.2.2</i> | Emission of PAH and compounds of heavy metals in EG aerosol flow (benzo(a)pyrene, PAH, TEL) | No |
| <i>A.a.2.3</i> | Emission of greenhouse gases in EG aerosol flow (CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ , NO _x) | No |
| <i>A.a.3</i> | <i>Legislative unnormalized</i> | <i>0 / 3</i> |
| <i>A.a.3.1</i> | Emission of vapour of motor fuel and oil caused by phenomena of large and small reservoir breathing | No |
| <i>A.a.3.2</i> | Emission of aerosol of carter gases | No |
| <i>A.a.3.3</i> | Increasing of atmospheric air humidity (H ₂ O) | No |
| <i>A.b</i> | <i>Liquid substances-pollutants</i> | <i>0 / 6</i> |
| <i>A.b.1</i> | <i>Flammable and explosive</i> | <i>0 / 2</i> |
| <i>A.b.1.1</i> | Pollution of environment by motor fuel | No |
| <i>A.b.1.2</i> | Pollution of environment by motor oil | No |
| <i>A.b.2</i> | <i>Incombustible</i> | <i>0 / 2</i> |
| <i>A.b.2.1</i> | Pollution of environment by cooling liquid | No |
| <i>A.b.2.2</i> | Pollution of environment by breaking liquid | No |
| <i>A.b.3</i> | <i>Consistent</i> | <i>0 з 2</i> |
| <i>A.b.3.1</i> | Pollution of environment by consistent lubricants | No |
| <i>A.b.3.2</i> | Pollution of environment by conservation liquids | No |
| B | HARMFUL INFLUENCE FACTORS | 0 / 6 |
| <i>B.a</i> | <i>Energetic pollution of environment</i> | <i>0 / 3</i> |
| <i>B.a.1</i> | Pollution of environment by noise and vibration | No |
| <i>B.a.2</i> | Pollution of environment by heat | No |
| <i>B.a.3</i> | Pollution of environment by electromagnetic fields | No |
| <i>B.b</i> | <i>Informational pollution of environment</i> | <i>0 / 3</i> |
| <i>B.b.1</i> | Pollution of environment by wrong information | No |
| <i>B.b.2</i> | Pollution of environment by information noise | No |
| <i>B.b.3</i> | Pollution of environment by disturbing factors | No |
| <i>B.c</i> | <i>Consumption of non-renewable energy source</i> | <i>Yes, 1 / 1</i> |
| C | WASTES (SOLID SUBSTANCES-POLLUTANTS) | 0 / 3 |
| <i>C.a</i> | Pollution of environment by alloys of ferrous and non-ferrous metals | No |
| <i>C.b</i> | Pollution of environment by polymer and composite materials | No |
| <i>C.c</i> | Pollution of environment by glass and ceramic substances | No |

* *A.a.1.1, A.a.1.2, B.c* – ES factors which are taken into account by original mathematical apparatus; *A.a.2.1, A.a.2.3, A.a.3.1 – A.a.3.3, B.a.1, B.a.2* – ES factors which are manifested in normal exploitation process of RICE and can be considered; *A.b.1.1, A.b.1.2, A.b.2.1, A.b.2.2, A.b.3.1, A.b.3.2, B.a.3, B.b.1 – B.b.3, C.a – C.c* – ES factors which are not manifested in normal exploitation process of RICE but can be considered; *A.a.2.2* – ES factor which are studied in this article.

The same applies to non-material ES factors, i.e. harmful influencing factors – energy and information pollution of environment. The only harmful factor that can be taken into account in this case is the consumption of a non-renewable energy source – motor fuel of petroleum origin, which is partly devoted in monograph [2].

There is the main alternative to the K_{fe} criterion – mathematical apparatus of integral index of ecological evaluation of RICE of Prof. Pavlo Kanilo (KhNAHWU) [4]. This criterion was applied in several studies, that was analysed in the study [5].

It is known that RICE operational process produces significant mass hourly emissions of PAH including benzo(a)pyrene (B(a)P) as the toxic and carcinogenic pollutants [4, 5].

However, the analysis of scientific and technical, normative, reference and patent literature the results of the studies of expansion the range of ES factors which takes into account by the mathematical apparatus of the K_{fe} criterion was not revealed, so the implementation of such research and analysis of its results is an relevant scientific task.

Purpose of the study. Obtaining the values of complex fuel-ecological criterion that characterized the ES level of diesel engine exploitation process considering the emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons as the toxic and carcinogenic pollutants. **Problem of the study.** Obtaining the distribution of values of complex fuel-ecological criterion for autotractor diesel engine 2Ch10.5/12 on the standardized steady testing cycle ESC considering the emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons as the toxic and carcinogenic pollutants. **Object of the study.** Ecological safety of diesel engine exploitation process the exploitation model of which corresponds to testing cycle ESC. **Subject of the study.** Influence of emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons as the toxic and carcinogenic pollutants on qualitative and quantitative aspects of object of the study. **Methods of the study.** Analysis of specialized scientific and technical, reference and normative literature, analysis of results of motor bench tests, basics of scientific discipline «Theory of RICE», «Theory of ESMS», «Environment protection technologies», improved mathematical apparatus of complex fuel and ecological criterion, method of least squares.

Tasks of the study

1. Analysis of features of complex fuel-ecological criterion and standardized steady testing cycle ESC.
2. Obtaining of initial data set for implementation of calculated assessment for standardized steady testing cycle ESC and diesel engine 2Ch10.5/12 as a part of PP.

3. Improving the application method for assessing of value of mass hourly emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons with RICE EG flow and ponderability of such ES factor as the toxic pollutants.

4. Calculated assessment of values of complex fuel-ecological criterion for standardized steady testing cycle ESC and analysis of its results.

Scientific novelty of obtained results. The approach of Prof. Igor Parsadanov for criteria-based assessment of fuel-ecological efficiency of autotractor diesel engines exploitation process as a part of power plant considering the of mass hourly emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons with RICE EG flow as the toxic pollutants and also methods for determining of such emissions and ponderability of such pollutants received further development towards in direction of application of this mathematical apparatus for standardized steady testing cycles.

Practical value of obtained results. The obtained results are suitable for providing the qualitative and quantitative assessment of ES level of different types of diesel engine exploitation process considering the emissions of benzo(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons with RICE EG flow as the toxic pollutant.

Analysis of publications

Results of using the mathematical apparatus of integral index of ecology-chemical evaluation of RICE of Prof. Pavlo Kanilo, that is the alternative to mathematical apparatus of complex fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov, which was improved by the author for D21A1 [6] (2Ch10.5/12 in accordance with ISO 3046-1:2002) autotractor diesel engine which operates on modes of ESC standardized steady testing cycle (in accordance with UENCE Regulations № 49 [7]) of this study presented in source [5].

Analysis fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov

The values of the criterion K_{fe} for i -th RICE steady representative operational mode with value of weight factor WF are determined by formula (1) and its components – by formulas (2) – (5) [1, 2].

$$K_{fe} = \eta_e \cdot (1 - \beta) \cdot 10^3 = f \left(\sum_{m=1}^h (A_k \cdot G_k) / G_{fuel} \right), \% \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^h (A_k \cdot G_k) = A(PM) \cdot G(PM) + A(NO_x) \cdot G(NO_x) + A(C_nH_m) \cdot G(C_nH_m) + A(CO) \cdot G(CO), \text{ kg/h} \quad (2)$$

where the index i indicates the values for a separate representative mode of RICE operation or range in the its exploitation model; G_{fuel} – mass hourly fuel consumption, kg/h; G_k – mass hourly emission of k -th pollutant in EG flow, kg/h; A_k – dimensionless index of relative aggressiveness of k -th pollutant in EG flow; $h = 4$ [4] –

number of pollutants in EG flow; η_e – effective efficiency coefficient; β – coefficient of relative exploitation ecological monetary costs.

The average operational value of criterion K_{fe} is described by formula (2) as it was proposed in study [2].

$$K_{fene} = \sqrt[7]{\sum_{i=1}^N (K_{fei}^7 \cdot WF_i) / \sum_{i=1}^N (WF_i)} \cdot 1000, \% \quad (3)$$

Methods of obtaining of values of mass hourly emissions of B(a)P and PAH in criteria-based assessment

In present study the following methods is proposed for such assessment that takes into account the toxic influence of B(a)P and PAH emission on a human in accordance of which formula (2) converts into the formula (4) where value of coefficients $A(B(a)P)$ and $A(PAH)$ determine the formulas (5) and (6) [3, 4].

$$\sum_{m=1}^h (A_k \cdot G_k) = A(PM) \cdot G(PM) + A(NO_x) \cdot G(NO_x) + A(C_nH_m) \cdot G(C_nH_m) + A(CO) \cdot G(CO) + A(B(a)P) \cdot G(B(a)P) + A(PAH) \cdot G(PAH) \text{ kg/h} \quad (4)$$

$$A_k = a_k \cdot \alpha_k \cdot \beta_k \cdot \delta_k, \quad (5)$$

$$a_k = \sqrt{\frac{MPC_{co}(CO) \cdot MCP_{p3}(CO)}{MPC_{co}(k) \cdot MPC_{p3}(k)}}, \quad (6)$$

where a_k – index of relative danger of presence of k -th gaseous or aerosol pollutant in atmospheric air that a human breathes; α_k – correction that takes into account the probability of accumulation of k -th gaseous or aerosol pollutant in environment components, trophic chains and admission to the human body by non-inhalation way; β_k – correction that takes into account the probability of formation of other (secondary) pollutants, more harmful than the original, by the source of the k -th gaseous or aerosol pollutant emitted into the atmosphere; δ_k – correction that takes into account the impact of k -th gaseous or aerosol pollutant on other recipients except a human; $MPC_{ad}(CO)$ and $MPC_{ot}(CO)$, $MPC_{ad}(k)$ and $MPC_{ot}(k)$ – maximum permissible concentration of reference ($A_{CO} = 1,0$, $MPC_{ad}(CO) = 3,0$ mg/m³, $MPC_{ot}(CO) = 20,0$ mg/m³ [5, 24]) and k -th pollutant in air average day-and-night and maximal one-time, mg/m³.

The information about magnitudes of values $A(B(a)P)$ and $A(PAH)$ has been summarized in Table 2 from data in sources [4, 5].

In previous stage of this study, results of which have been described in article [5], it was detected that in case of considering of magnitudes of value of $G(B(a)P)$ in criteria-based assessment the magnitude of value $A(PM)$ is about $1.587 \cdot 10^{-2} \%$ from total ponderability of ecological component of criterion K_{fe} , magnitude of value $A(NO_x)$ – $3.262 \cdot 10^{-3} \%$, magnitude of value $A(CO)$ – $7.932 \cdot 10^{-5} \%$ and the rest of such ponderabili-

ty 99.981 % is accounted for magnitude of value $A(B(a)P)$ – see Table 2. In case of considering of magnitudes of value of $G(PAH)$ the ponderability of such pollutant is 0.990 % from total ponderability and for value $A(PM)$ – $1.571 \cdot 10^{-2}$ %, value $A(NO_x)$ – $3.232 \cdot 10^{-3}$ %, value $A(C_nH_m)$ – $2.503 \cdot 10^{-4}$ %, value $A(CO)$ – $7.826 \cdot 10^{-5}$ %, value $A(B(a)P)$ – 98.991 % – see Tab. 2.

Table 2. Parameters of B(a)P as the pollutant in composition of EG of diesel RICE [4, 5]

| Pollutant | Indicator | | | | |
|-----------------|------------------|-----------|------------|------------|-------------------|
| | α_k | β_k | γ_k | δ_k | A_k |
| CO | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C_nH_m | 0.63 | 1.0 | 5.0 | 1.0 | 3.16 |
| NO ₂ | 27.4 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 41.1 |
| SO ₂ | 11.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 22.0 |
| C (Soot) | 17.5 | 2.0 | 1.0 | 1.2 | 41.5 |
| PM | – | – | – | – | 200 |
| B(a)P | $6.3 \cdot 10^5$ | 2.0 | 1.0 | 1.0 | $12.6 \cdot 10^5$ |
| PAH | $6.3 \cdot 10^5$ | 2.0 | 1.0 | 1.0 | $12.6 \cdot 10^3$ |

Obtaining of initial data set

In the previous stage of this study, results of which are described in article [5], the improved approach was proposed for obtaining of components of formula (4). Figures 1–3 show the distributions of the values of mass hourly emissions $G(B(a)P)$ and $G(PAH)$ over the field of operating modes and ECS testing cycle modes. Data from motor bench tests of 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine have been obtained in studies [8 – 11].

Results of the study and their analysis

In the second stage of the calculation study, the evaluation results for the following variants were obtained (see Table 3).

Variant A – *Reference* – without taking into account the values of $G(B(a)P)$ and $G(PAH)$.

Variant B – *Single hydrocarbons* – with considering the value of $G(B(a)P)$, which is distributed over the field of operation modes of the diesel engine similar to the value of $G(C_nH_m)$.

Variant C – *Dual hydrocarbons* – with considering the values of $G(B(a)P)$ and $G(PAH)$, which are distributed over the field of operation modes of the diesel engine similar to the value of $G(C_nH_m)$.

Variant D – *Single particles* – with considering the value of $G(B(a)P)$, which is distributed over the field of operation modes of the diesel engine similar to the value of $G(PM)$.

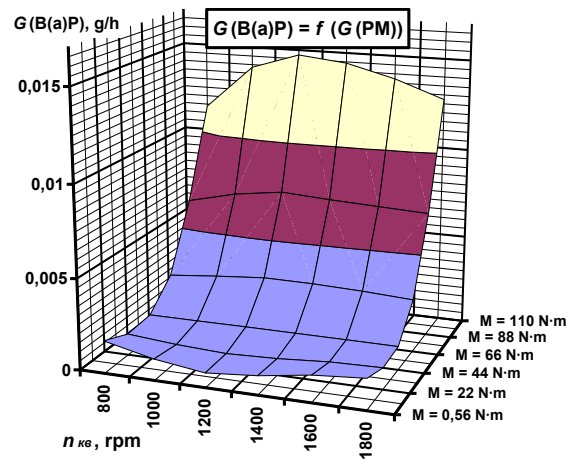
Variant E – *Dual particles* – with taking into account the values of $G(B(a)P)$ and $G(PAH)$, which are distributed over the field of operation modes of the diesel engine similar to the value of $G(PM)$.

The results of the calculated study are illustrated in Fig. 4 – 7. Fig. 4 shows the distribution of magnitu-

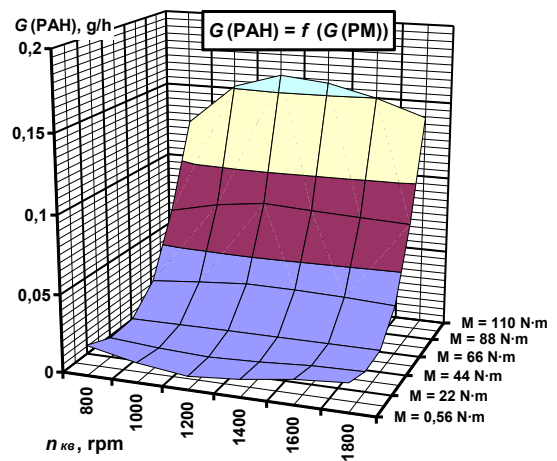
des the value of $\Sigma(A_k \cdot G_k)$ by the modes of the ESC testing cycle for all variants of the study, Fig. 5 and 6 – such distributions for the values of K_{fe} and δK_{fe} . Fig. 7 shows the average operational values of K_{fe} and δK_{fe} for all study variants.

On Fig. 4 it can be seen that maximal magnitude of of the value of $\Sigma(A_k \cdot G_k)$ for variant A (the best) (17 kg/h) reaches on mode № 10 (nominal effective power $n_{cs} = 1750$ rpm, $M = 95$ N·m) and minimal (1.5 kg/h) – on mode № 1 (minimal idle $n_{cs} = 750$ rpm, $M = 0$ N·m). For variant E (the worst): maximal (35 kg/h) – on mode № 2 (maximal torque $n_{cs} = 1250$ rpm, $M = 110$ N·m) and minimal (3.0 kg/h) – on mode № 1.

On Fig. 5 it can be seen that maximal magnitude of the value of K_{fe} criterion for variant A (68 %) reaches on mode № 8, minimal (3 %) – on mode № 1. For variant E: maximal (48 %) – on mode № 5, minimal (1 %) – on mode № 1.

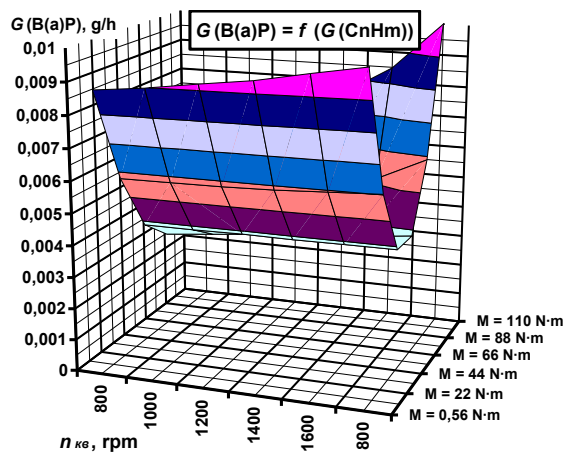


a)

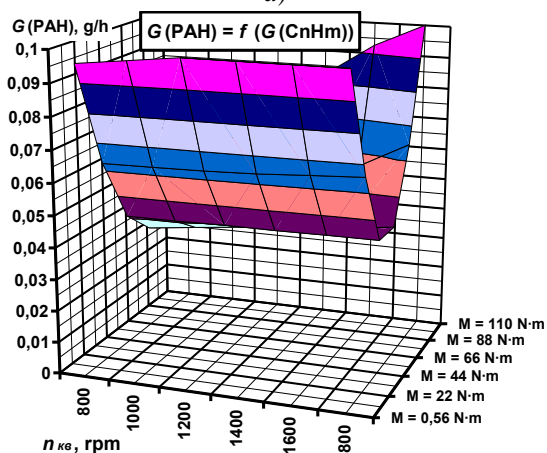


b)

Fig. 1. Distributions of magnitudes of values $G(B(a)P) = f(G(PM))$ (a) and $G(PAH) = f(G(PM))$ (b) on operational modes field of 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine [5]



a)



b)

Fig. 2. Distributions of magnitudes of values $G(B(a)P) = f(C_nH_m)$ (a) and $G(PAH) = f(C_nH_m)$ (b) on operational modes field of 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine [5]

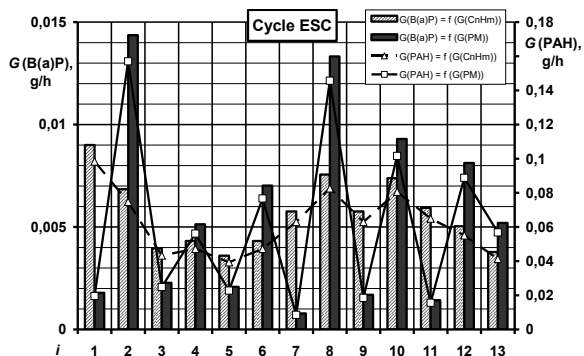


Fig. 3. Distribution of individual mode magnitudes of values $G(B(a)P) = f(G(PM))$ and $G(PAH) = f(G(PM))$, $G(B(a)P) = f(C_nH_m)$ and $G(PAH) = f(C_nH_m)$ for modes of standardized steady testing cycle ESC 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine [5]

On Fig. 6 it can be seen that maximal magnitude of the value of effect δK_{fe} for variant C (-92 %) reaches on mode № 1, minimal (-28 %) – on mode № 6. For variant D: maximal (-63 %) – on mode № 1, minimal (22 %) – on mode № 3.

Table 3. Variants of calculated study

| Variant | | Parameter | | | |
|---------|---------------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | | G(B(a)P) | | G(PAH) | |
| Sign. | Name | $f(G(C_nH_m))$ | $f(G(PM))$ | $f(G(C_nH_m))$ | $f(G(PM))$ |
| | | A | Reference | - | - |
| B | Single hydrocarbons | + | - | - | - |
| C | Dual hydrocarbons | + | - | + | - |
| D | Single particles | - | + | - | - |
| E | Dual particles | - | + | - | + |

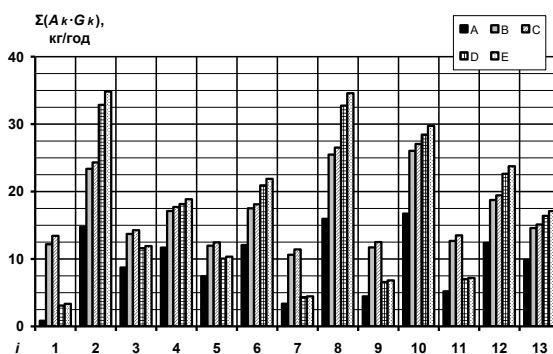


Fig. 4. Distribution of magnitudes of the value of $\Sigma(A_k \cdot G_k)$ by the modes of the ESC testing cycle for all variants of the study

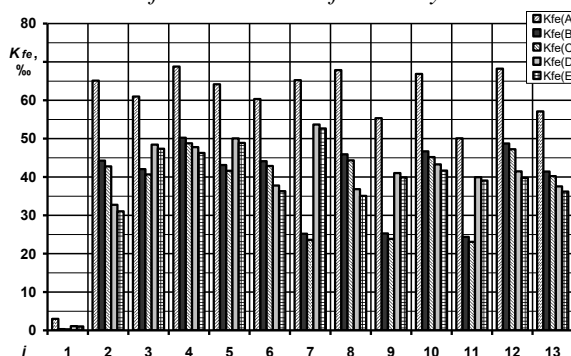


Fig. 5. Distribution of magnitudes the value of K_{fe} by the modes of the ESC testing cycle for all variants of the study

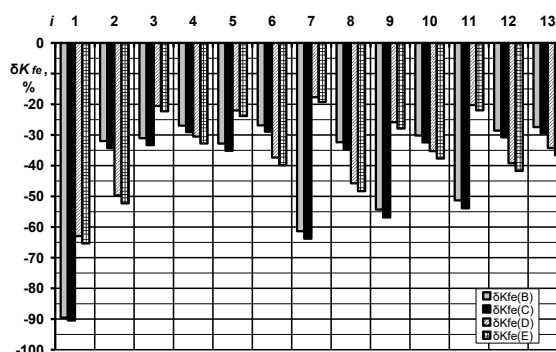


Fig. 6. Distribution of magnitudes the value of δK_{fe} by the modes of the ESC testing cycle for all variants of the study

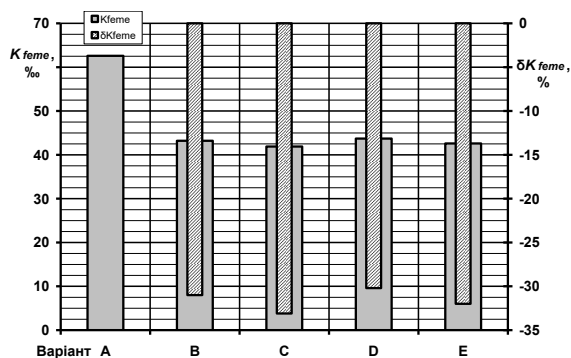


Fig. 7. Average operation magnitudes of values of K_{fe} and δK_{fe} for all study variants

On Fig. 7 it can be seen that average operation magnitudes of values of K_{fe} and δK_{fe} for all studied variants of considering of mass hourly emissions of B(a)P and PAH almost equal to each other and decline the value of K_{fe} criterion on 29 – 32 % – from 63 ‰ up to 42 – 45 ‰.

Conclusions

Thus, in present paper based on the improved methods of determination of values of mass hourly emissions of benzene(a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel engine exhaust gases flow for 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine and on modes of standardized steady testing cycle ESC the mathematical apparatus and method of application of complex fuel-ecological criterion of Prof. Igor Parsadanov, have been improved.

Distributions of values of such indicator of ecological safety level of power plants with reciprocating ICE exploitation process on operational modes field of 2Ch10.5/12 autotractor diesel engine and on modes of standardized steady testing cycle ESC and average operation values have been received.

It has been revealed that average operation values of values of criterion K_{fe} and effect δK_{fe} for all studied variants of considering of mass hourly emissions of B(a)P and PAH in diesel engine exhaust gases flow almost equal to each other and declines the value of K_{fe} criterion by 29 – 32 % – from 63 ‰ up to 42 – 45 ‰.

The research was carried out in the science and research work of Applied Mechanics and Environment Protection Technologies Department of National University of Civil Defence of Ukraine «Using of fuzzy logic and psychophysical scales in a critical assessment of the level of ecological safety» (State Reg. № 0119U001001, 2019 – 2021).

References:

1. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія / І.В. Парсаданов –

Х.: Центр НТУ «ХПІ», 2003. – 244 с. 2. Kondratenko O.M. Metrological aspects of complex criteria-based assessment of ecological safety level of exploitation of reciprocating engines of power plants: Monograph / O.M. Kondratenko. – Х.: Стиль-Издат (ФООП Бровін О.В.), 2019. – 532 с. 3. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др. – М.: Экономика, 1986. – 96 с. 4. Канило П.М. Автомобіль та навколишнє середовище / П.М. Канило, І.С. Бей, О.І. Ровенський. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с. 5. Kondratenko O.M. Assessment of ecological and chemical efficiency of exploitation process of reciprocating ICE of vehicle with consideration of emission of sulphur oxides, benzo (a)pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbones / O.M. Kondratenko // Technogenic and Ecological Safety. – Х.: НУЦЗУ, 2020. – № 7(1/2020). – С. 38 – 50. – DOI: 10.5281/zenodo.3780076. 6. Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода / В.В. Эфрос [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 277 с. 7. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine: regulation United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles of 26 January 2013 year Regulation No. 49, Revision 6 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2013. – 434 p. – URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf>. 8. Mathematical model of efficiency of diesel particulate matter filter / O.M. Kondratenko, O.P. Strokov, S.O. Vambol, A.M. Avramenko // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2015. – Issue 6 (150). – С. 55–61. 9. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system / S. Vambol, V. Vambol, O. Kondratenko, Y. Suchikova, O. Hurenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 3/10 (87). – С. 63–73. 10. Criteria based assessment of the level of ecological safety of exploitation of electric generating power plant that consumes biofuels / O. Kondratenko, I. Mishchenko, G. Chernobay, Yu. Derkach, Ya. Suchikova // Book of Papers of 2018 IEEE 3rd International International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2018), 10–14 September 2018. – Kharkiv, NTU «KhPI». – С. 185–189, DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559570. 11. Description of mass hourly emissions of particulate matter of diesel engine by beta-distribution with taking into account the passport accuracy of gas analyzer / O.P. Strokov, O.M. Kondratenko, V.Yu. Koloskov, I.V. Mishchenko // Двигуни внутрішнього згорання. – 2019. – № 1. – pp. 49 – 62.

Bibliography (transliterated):

1. Parsadanov, I.V. (2003), “Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on complex fuel and ecological criteria: monograph” [Pidvyshshennya yakosti ta konkurentosproможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: монографія], Kharkiv, Publ. NTU “KhPI”, 244 p. 2. Kondratenko O.M. (2019), Metrological aspects of complex criteria-based assessment of ecological safety level of exploitation of reciprocating engines of power plants : Monograph, Publ. Style-Izdat (FOP Brovin O.V.), NUCPU, Kharkiv, Ukraine, 532 p. 3. Bystrov A.S.,

Varankiv V.V., Vilensky M.A. et al. (1986). "Temporary standard methodology for determining the economic efficiency of environmental protection measures and assessing the economic damage caused to the national economy by environmental pollution", Moscow, Publ. Ekonomika, 96 p. 4. Kanilo P.M., Bey I.S., Rovensky O.I. (2000), "Automobile and environment", Kharkiv, Publ. Prapor, 304 p. 5. Kondratenko O.M. (2020), "Assessment of ecological and chemical efficiency of exploitation process of reciprocating ICE of vehicle with consideration of emission of sulphur oxides, benzo(a) pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbones", Technogenic and Ecological Safety, № 7(1/2020), pp. 38–50, DOI: 10.5281/zenodo.3780076. 6. Efros V.V. et al. (1976), "Diesel engines with air cooling of Vladimir tractor plant", Moscow, Publ. Mashinostroyeniye, 277 p. 7. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine: regulation United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles of 26 January 2013 year Regulation No. 49, Revision 6 [Electronic recourse]. – Geneva: UNECE, 2013. – 434 p. – URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/>

wp29/wp29regs/2013/R049r6e.pdf. 8. Kondratenko, O.M., Stokov, O.P., Vambol, S.O., Avramenko A. M. (2015), "Mathematical model of efficiency of diesel particulate matter filter", Scientific Bulletin of NMU, Issue 6 (150), pp. 55–61, URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2227>. 9. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Suchikova, Y., Hurenko, O. (2017), "Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arrangement of pollutants neutralization system", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 3/10 (87), pp. 63–73, URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/102314/100169>. 10. Kondratenko, O., Mishchenko, I., Chernobay G., Derkach, Yu., SuchikovaYa. (2018), "Criteria based assessment of the level of ecological safety of exploitation of electric generating power plant that consumes biofuels", Book of Papers of 2018 IEEE 3rd International International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS–2018), 10–14 September, Kharkiv, Publ. NTU "KhPI", pp. 185–189. URL: www.ieps.org.ua, DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559570. 11. Stokov O.P., Kondratenko O.M., Koloskov V.Yu., Mishchenko I.V. (2019), "Description of mass hourly emissions of particulate matter of diesel engine by beta-distribution with taking into account the passport accuracy of gas analyzer", Internal combustion engines, № 1, pp. 49–62, DOI: 10.20998/0419-8719.2019.1.09.

Received to the editorial office 12.06.2020

Kondratenko Olexandr Mykolayovych – Cand. Sci.(Tech.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of Applied Mechanics and Environment Protection Technologies Dept., National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kongratenkoom2016@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9687-0454, Scopus ID: 57144373800, ResearcherID: D-7346-2018, Google Scholar ID: 0lBjMcAAAAA.

ОЦІНЮВАННЯ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНЕВОГО ДВЗ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ВИКИДІВ БЕНЗ(А)ПІРЕНА ТА ПОЛІЦИКЛІЧНИХ АРОМАТИЧНИХ ВУГЛЕВОДНІВ

О. М. Кондратенко

У даному дослідженні вдосконалено запропоновані автором раніше методики визначення значення масових годинних викидів бенз(а)пірену та поліциклічних ароматичних вуглеводнів з потоком відпрацьованих газів дизельного двигуна. Метою дослідження є отримання величин комплексного паливно-екологічного критерію, які характеризують рівень екологічної безпеки процесу експлуатації дизельних двигунів з урахуванням викидів бенз(а)пірену та поліциклічних ароматичних вуглеводнів як токсичних та канцерогенних поллютантів. Отримано розподіли таких викидів по полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та за режимами стандартизованого стаціонарного випробувального циклу ESC. Вдосконалено математичний апарат та методику застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. Ігоря Парсаданова. Отримано розподіли значень цього показника рівня екологічної безпеки процесу експлуатації енергоустановок з поршневим ДВЗ по полю робочих режимів автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 та за режимами стандартизованого стаціонарного випробувального циклу ESC, а також його середньоексплуатаційне значення. Встановлено, що середньоексплуатаційні значення критерію K_{fe} та ефекту δK_{fe} для усіх досліджених варіантів врахування масових годинних викидів Б(а)П і ПАВ з потоком відпрацьованих газів дизеля майже ідентичні одне одному та знижують значення критерію K_{fe} на 29 – 32 % – з 63% до 42 – 45 %. Наукова новизна одержаних результатів полягає в отриманні подальшого розвитку підходу проф. Ігоря Парсаданова щодо критеріїв оцінювання паливно-екологічної ефективності процесу експлуатації автотракторних дизельних двигунів як частини енергоустановки з урахуванням масових годинних викидів бенз(а)пірену та поліциклічних ароматичних вуглеводнів з потоком відпрацьованих газів поршневого ДВЗ як токсичних поллютантів, а також в розробленні методики визначення таких викидів та їх вагомості у напрямку застосування цього математичного апарату для стандартизованих стаціонарних випробувальних циклів.

Ключові слова: екологічна безпека; технології захисту навколишнього середовища; енергетичні установки; поршневі двигуни внутрішнього згорання; викиди поллютантів, критеріальне оцінювання; бенз(а)пірен; поліциклічні ароматичні вуглеводні.

ОЦЕНКА ТОПЛИВО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРШНЕВОГО ДВС ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ВЫБРОСОВ БЕНЗ(А)ПИРЕНА И ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

А. Н. Кондратенко

В данном исследовании усовершенствованы предложенные автором ранее методики определения значения массовых часовых выбросов бенз(а)пирена и полициклических ароматических углеводородов с потоком отработавших газов дизельного двигателя. Целью исследования является получение величин комплексного топливно-экологического критерия, характеризующих уровень экологической безопасности процесса эксплуатации дизельных двигателей с учетом выбросов бенз(а)пирена и полициклических ароматических углеводородов как токсичных и канцерогенных поллютантов. Получены распределения таких выбросов по полю рабочих режимов автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 и по режимам

стандартизованого стаціонарного испытательного цикла ESC. Усовершенствованы математический аппарат и методика применения комплексного топливно-экологического критерия проф. Игоря Парсаданова. Получены распределения значений этого показателя уровня экологической безопасности процесса эксплуатации энергоустановок с поршневым ДВС по полю рабочих режимов автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 и по режимам стандартизованного стаціонарного испытательного цикла ESC, а также его среднеэксплуатационное значение. Установлено, что среднеэксплуатационные значения критерия K_{fe} и эффекта δK_{fe} для всех исследованных вариантов учета массовых часовых выбросов Б(а)П и ПАУ с потоком отработавших газов дизеля почти идентичны друг другу и снижают значение критерия K_{fe} на 29 – 32 % – с 63 % до 42 – 45 %. Научная новизна полученных результатов заключается в том, что получил дальнейшее развитие подход проф. Игоря Парсаданова к критериальному оцениванию топливно-экологической эффективности процесса эксплуатации автотракторных дизельных двигателей как части энергоустановки с учетом массовых часовых выбросов бенз(а)пирена и полициклических ароматических углеводородов с потоком отработавших газов поршневого ДВС как токсичных поллютантов, а также в разработке методики определения таких выбросов и их весомости в направлении применения этого математического аппарата для стандартизованных стаціонарных испытательных циклов.

Ключевые слова: экологическая безопасность; технологии защиты окружающей среды; энергетические установки; поршневые двигатели внутреннего сгорания; выброс поллютантов, критериальное оценивание; бенз(а)пирен; полициклические ароматические углеводороды.

УДК 621.43.068

DOI: 10.20998/0419-8719.2020.1.08

А.П. Полив'яничук

РЕАЛІЗАЦІЯ НА БАЗІ МІКРОТУНЕЛЮ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛІВ

Проаналізовано сучасні методи динамічного контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів. Розглянуто принципи дії та технічні характеристики методів: Method for Real-Time Mass Microbalances, Tapered element oscillating microbalance – TEOM, Quartz Crystal Microbalance – QCM та Laser Induced Incandescence – LII. Встановлено, що точність цих методів забезпечує можливість вимірювань наднизьких концентрацій твердих частинок з чутливістю до $\pm 2 \text{ мкг/м}^3$ в діапазонах: 1,25 ... 0,25 ... 0,063 мг/м^3 , відповідно до вимог норм Євро-3, Євро-4,5 та Євро-6, а швидкодія вказаних методів забезпечує можливість контролю миттєвих значень викидів твердих частинок в ході виконання транзйентних випробувальних циклів дизелів: European Transient Cycle (ETC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVTC), Worldwide heavy-duty transient cycle (WHTC) та ін. На основі аналізу вказаних методів, світового та вітчизняного досвіду створення і експлуатації систем екологічної діагностики дизелів запропоновано для практичного застосування метод динамічного контролю концентрацій твердих частинок з оптичним чутливим елементом. Сутність даного методу полягає у непрямому визначенні миттєвих концентрацій твердих частинок за показником оптичної непрозорості – димності відпрацьованих газів дизеля з використанням емпіричної залежності між цими величинами, яка встановлюється в ході калібрування оптичного детектора твердих частинок гравіметричною системою – мікротунелем МКТ-2. Розглянуті принципова схема даного методу, технічні засоби для його реалізації, до яких відносяться: частковоопотокова система розбавлення відпрацьованих газів повітрям з МКТ-2 та динамічний детектор твердих частинок. Встановлено максимально допустимі значення коефіцієнтів розбавлення відпрацьованих газів повітрям в МКТ-2, при яких забезпечується потрібна точність вимірювань концентрацій твердих частинок оптичним детектором з чутливістю $\pm 0,1 \%$ за шкалою Hartridge при відповідності рівнів викидів твердих частинок дизеля вимогам норм Євро 3-6.

Ключові слова: дизель, відпрацьовані гази, тверді частинки, динамічний контроль, мікротунель, концентрація, димність.

Вступ

Відомо, що робота транспортних дизелів різного призначення супроводжується викидами у атмосферу шкідливих речовин – продуктів згоряння палива, що сприяє розвитку локальних та глобальних екологічних проблем навколишнього середовища, таких як: парниковий ефект, руйнування озонового шару атмосфери, погіршення якості повітря, утворення смогів, випадіння кислотних опадів та ін.

До складу найбільш небезпечних за дією на організм людини та довкілля забруднюючих речовин у складі відпрацьованих газів (ВГ) дизелів відносять тверді частинки (ТЧ), які визначають як

весь матеріал, зібраний на спеціальних фільтруючих засобах після пропускання через них ВГ, розбавлених чистим повітрям до температури, що не перевищує 52 °С [1].

Для забезпечення ефективного контролю нормованих викидів дизельних ТЧ передбачено використання складних високовартісних вимірювальних комплексів – розбавляючих тунелів, які в умовах інтенсивної екологічної модернізації сучасних двигунів повинні мати такі властивості, як: висока універсальність – можливість використання при проведенні екологічної діагностики дизелів різних типів автомобільних, тепловозних, тракторних, судових та ін.; висока точність – можливість ви-