

## І ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЖДЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.436.12

### ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СУМІШОУТВОРЕННЯ В ДИЗЕЛІ ПРИ РОБОТІ НА БІОПАЛИВІ МЕТОДОМ МАЛИХ ВІДХИЛЕНЬ ПАРАМЕТРІВ

*Анісімов В.Г.*

*Семенов В.Г.*

*Рябошапка В.Б.*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Розглянуто фізичні залежності параметрів сумішоутворення в дизелі, а також можливість застосування теорії малих відхилень для дослідження їх багатofакторних взаємозв'язків.*

*Physical dependences of parameters of sumishoutvorenniya are considered in diesels, and also possibility of application of theory of small rejections, for research of them multivariable intercommunications.*

#### **Вступ**

При роботі автотракторних дизелів на альтернативних паливах, зокрема метил-ефірах жирних кислот, спостерігається незначна зміна робочих параметрів двигуна [1]. Як відомо з існуючих досліджень, вагомий вплив на параметри роботи дизеля, мають процеси сумішоутворення і згорання – особливо при переведенні двигуна на альтернативні палива [2].

#### **Постановка завдання**

При зміні параметрів сумішоутворення, внаслідок використання біопалива, експлуатаційні характеристики двигуна можуть змінюватися на 4-8% від їх вихідних значень [1]. Тому, в даному випадку, мова йде лише про незначні відхилення параметрів. Для вирішення завдання оптимізації параметрів при їх невеликих відхиленнях (частіше до 5%, а іноді до 10%) доцільно використовувати метод малих відхилень [3,4].

#### **Результати**

Розглянемо фізичну суть процесу сумішоутворення за допомогою критеріальних залежностей А. С. Лишевського [2].

Для визначення шляху струменя паливної суміші від розпилювача до границі між початковою та основними фазами розвитку струменя, розглянемо основні критерії.

Середня швидкість за час впорскування циклової порції палива:

$$U_0 = \frac{B_{\text{ц}}}{\mu \cdot f_{\text{с}} \cdot i_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{Т}} \cdot \tau_{\text{впр}}}, \quad (1)$$

де  $B_u$  - циклова подача палива,

$\mu = 0,7$  – коефіцієнт поперечного перерізу струменя,

$f_C$  - площа поперечного перерізу соплового отвору,

$i_C$  - кількість соплових отворів,

$\rho_T$  - густина палива,

$\tau_{впр}$  - час впорскування.

Критерій Вебера, що характеризує співвідношення сил поверхневого натягу та сил інерції:

$$W_e = \frac{U_0^2 \cdot d_c \cdot \rho_T}{\sigma_T}, \quad (2)$$

де  $d_c$  - діаметр соплового отвору,

$\sigma_T$  - коефіцієнт поверхневого натягу палива.

Критерій  $M$ , що характеризує співвідношення сил поверхневого натягу та в'язкості:

$$M = \frac{\mu_T^2}{\rho_T \cdot d_c \cdot \sigma_T}, \quad (3)$$

де  $\mu_T$  - динамічна в'язкість палива.

Відношення густини газів в циліндрі  $\rho_a$  до густини палива  $\rho_T$ :

$$\rho = \frac{\rho_a}{\rho_T}. \quad (4)$$

Тоді, шлях струменя паливної суміші до границі між початковою та основною фазами розвитку струменя згідно критеріальної залежності [2]:

$$l_T = C_S \cdot d_c \cdot W_e^{0,25} \cdot M^{0,4} \cdot \rho^{-0,6}, \quad (5)$$

де  $C_S = 8,85$  – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей [2].

Виразимо площу поперечного перерізу  $f_C$  через діаметр  $d_c$ :

$$f_C = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}. \quad (6)$$

Після нескладних перетворень у рівнянні (5), використовуючи формули 1 – 4, 6, з урахуванням розмірностей параметрів в системі СІ, а параметрів  $d_c$  і  $B_u$  в мм і г/цикл відповідно, отримаємо:

$$l_T = A \cdot B_u^{0,5} \cdot d_c^{-0,15} \cdot i_c^{-0,5} \cdot \rho_T^{-0,05} \cdot \mu_T^{0,8} \cdot \sigma_T^{-0,65} \cdot \tau_{впр}^{-0,5} \cdot \rho_a^{-0,6}, \quad (7)$$

де  $A = 11936$  – постійний коефіцієнт.

Прологарифмуємо рівняння (7) за допомогою натурального логарифма:

$$\ln l_T = \ln A + \ln(B_u^{0,5}) + \ln(d_c^{-0,15}) + \ln(i_c^{-0,5}) + \ln(\rho_T^{-0,05}) + \ln(\mu_T^{0,8}) + \ln(\sigma_T^{-0,65}) + \ln(\tau_{впр}^{-0,5}) + \ln(\rho_a^{-0,6})$$

Диференціюємо отриманий вираз за допомогою частинних диференціалів:

$$\begin{aligned} \frac{dl_T}{l_T} = & \frac{0,5 \cdot B_y^{-0,5}}{B_y^{0,5}} \cdot dB_y + \left( \frac{-0,5 \cdot d_c^{-1,15}}{d_c^{-0,15}} \right) \cdot dd_c + \left( \frac{-0,05 \cdot \rho_T^{-1,05}}{\rho_T^{-0,05}} \right) \cdot d\rho_T + \\ & + \frac{0,8 \cdot \mu_T^{-0,2}}{\mu_T^{0,8}} \cdot d\mu_T + \left( \frac{-0,65 \cdot \sigma_T^{-1,65}}{\sigma_T^{-0,65}} \right) \cdot d\sigma_T + \left( \frac{-0,5 \cdot \tau_{внр}^{-1,5}}{\tau_{внр}^{-0,5}} \right) \cdot d\tau_{внр} + \\ & + \left( \frac{-0,6 \cdot \rho_a^{-1,6}}{\rho_a^{-0,6}} \right) \cdot d\rho_a + \left( \frac{-0,5 \cdot i_c^{-1,5}}{i_c^{-0,5}} \right) \cdot di_c = 0,5 \cdot \frac{dB_y}{B_y} - 0,15 \cdot \frac{dd_c}{d_c} - \\ & - 0,5 \cdot \frac{di_c}{i_c} - 0,05 \cdot \frac{d\rho_T}{\rho_T} + 0,8 \cdot \frac{d\mu_T}{\mu_T} - 0,65 \cdot \frac{d\sigma_T}{\sigma_T} - 0,5 \cdot \frac{d\tau_{внр}}{\tau_{внр}} - 0,6 \cdot \frac{d\rho_a}{\rho_a}. \end{aligned}$$

Позначимо відносні прирости відповідних параметрів [3]:  $\frac{dl_T}{l_T} = \delta l_T, \frac{dB_y}{B_y} = \delta B_y, \text{ і т. д.}$

або в загальному вигляді  $\frac{dx}{x} = \delta x$ .

Тоді:

$$\begin{aligned} l_T = & 0,5 \cdot \delta B_y - 0,15 \cdot \delta d_c - 0,5 \cdot \delta i_c - 0,05 \cdot \delta \rho_T + 0,8 \cdot \delta \mu_T - 0,65 \cdot \delta \sigma_T - 0,5 \cdot \delta \tau_{внр} - \\ & - 0,6 \cdot \delta \rho_a. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким чином, рівняння 8 це і є критеріальна залежність для визначення шляху струменя паливної суміші до границі між початковою та основною фазами розвитку струменя в малих відхилення. Числові коефіцієнти в рівнянні показують наскільки буде впливати відповідний параметр на величину  $l_T$  при умові, що інші параметри залишаються незмінними. Так наприклад, якщо змінити циклову подачу палива  $B_y$  на 1 %, то при незмінних інших параметрах  $l_T$  зміниться на 0,5 %.

Для визначення середнього діаметра крапель струменя паливної суміші використовуємо критеріальне рівняння [2]:

$$d_k = E_k \cdot d_c \cdot (\rho \cdot W_e)^{-0,266} \cdot M^{0,0733}, \quad (9)$$

де  $E_k$  - коефіцієнт, що залежить від конструкції форсунки та способу осереднення розмірів крапель.

Використовуючи формули 1 – 4, 6, з урахуванням розмірностей параметрів в системі СІ, а параметрів  $d_c$  і  $B_y$  в мм і г/цикл відповідно, запишемо рівняння 9 у вигляді:

$$d_k = B \cdot E_k \cdot d_c^{1,7247} \cdot B_y^{-0,532} \cdot \rho_a^{-0,266} \cdot i_c^{0,532} \cdot \tau_{внр}^{0,532} \cdot \rho_T^{0,4584} \cdot \sigma_T^{0,1927} \cdot \mu_T^{0,1466}, \quad (10)$$

де  $B = 727,4$  – постійний коефіцієнт.

Рівняння 10 в малих відхиленнях:

$$\begin{aligned} \delta d_k = & \delta E_k + 1,7247 \cdot \delta d_c - 0,532 \cdot \delta B_y - 0,266 \cdot \delta \rho_a + 0,532 \cdot \delta i_c + 0,532 \cdot \delta \tau_{внр} + \\ & + 0,4584 \cdot \delta \rho_T + 0,1927 \cdot \delta \sigma_T + 0,1466 \cdot \delta \mu_T. \end{aligned} \quad (11)$$

Кут розкриття паливного струменя на основній ділянці визначається по критеріальній залежності [2]:

$$\gamma_T = 2 \cdot \arctg(F_s \cdot W_e^{0,32} \cdot M^{-0,07} \cdot \rho^{0,5}), \quad (12)$$

де  $F_s = 0,009$  – постійний коефіцієнт.

З урахуванням виразів 1 – 4, 6, з урахуванням розмірностей параметрів в системі СІ, а параметрів  $d_c$  і  $B_u$  в мм і г/цикл відповідно, рівняння 12 запишемо у вигляді:

$$\gamma_T = 2 \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14}), \quad (13)$$

де  $C = 0,074$  – постійний коефіцієнт.

Логарифмуючи та диференціюючи рівняння 13, отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma_T}{\gamma_T} = & \left\{ (0,89 \cdot C \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot d_c^{-0,89}) / [(1 + \right. \\ & + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,5} \cdot \mu_T^{-0,28}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \times \\ & \times \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{dd_c}{d_c} - \left\{ (0,64 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \times \right. \\ & \times B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot i_c^{-0,64}) / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \times \\ & \times \sigma_T^{-0,5} \cdot \mu_T^{-0,28}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \times \\ & \times \frac{di_c}{i_c} - \left\{ (0,64 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64}) / [(1 + C^2 \times \right. \\ & \times d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,5} \cdot \mu_T^{-0,28}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \times \\ & \times \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{d\tau_{\text{внр}}}{\tau_{\text{внр}}} + \left\{ (0,5 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot B_u^{0,64} \times \right. \\ & \times \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot \rho_a^{0,5}) / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,5} \times \\ & \times \mu_T^{-0,28} \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{d\rho_a}{\rho_a} + \\ & + \left\{ (0,64 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot B_u^{0,64}) / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \times \right. \\ & \times i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \times \\ & \times B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{dB_u}{B_u} - \left\{ (0,75 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \times \right. \\ & \times \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot \rho_T^{-0,75}) / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,25} \times \\ & \times \mu_T^{-0,14}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{d\rho_T}{\rho_T} - \\ & - \left\{ (0,25 \cdot C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \mu_T^{-0,14} \cdot \sigma_T^{-0,25}) / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \times \right. \\ & \times i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \times \\ & \times \sigma_T^{-0,25} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} / [(1 + C^2 \cdot d_c^{-1,78} \cdot i_c^{-1,28} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-1,28} \cdot \rho_a \cdot B_u^{1,28} \cdot \rho_T^{-1,5} \cdot \sigma_T^{-0,25} \times \\ & \times \mu_T^{-0,14}) \cdot \arctg(C \cdot d_c^{-0,89} \cdot i_c^{-0,64} \cdot \tau_{\text{внр}}^{-0,64} \cdot \rho_a^{0,5} \cdot B_u^{0,64} \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14})] \Big\} \cdot \frac{d\mu_T}{\mu_T}. \end{aligned}$$

Запишемо кінцевий вигляд критеріальної залежності розкриття паливного струменя в малих відхиленнях, враховуючи прийняті вище позначення відносних приростів:

$$\begin{aligned} \delta\gamma_T = & -K_1 \cdot \delta d_c - K_2 \cdot \delta i_c - K_3 \cdot \delta \tau_{впр} + K_4 \cdot \delta \rho_a + K_5 \cdot \delta B_{\psi} - K_6 \cdot \delta \rho_T - \\ & - K_7 \cdot \delta \sigma_T - K_8 \cdot \delta \mu_T, \end{aligned} \quad (14)$$

де  $K_1, K_2, K_i$  – коефіцієнти впливу відповідного параметра на величину  $\gamma_T$ .

Як бачимо, вплив параметрів сумішоутворення на величину  $\gamma_T$  залежить не тільки від коефіцієнтів впливу, але й від їх початкових значень.

### Висновки

1. Використавши теорію малих відхилень і критеріальні залежності А. С. Лишевського маємо змогу оцінити вплив конструктивних параметрів розпилювача а також фізичних параметрів палива на основні характеристики сумішоутворення, враховуючи ступінь впливу кожного параметра, що дає змогу полегшити доведення оптимальних показників двигуна при переведенні на інший вид палива.

2. При дослідженні таких основних характеристик як шлях та середній діаметр крапель струменя паливної суміші встановлено, що при зміні параметрів сумішоутворення, зміна цих характеристик оцінюється постійними коефіцієнтами впливу відповідних параметрів (вирази 8, 11), а при дослідженні кута розкриття паливного струменя, коефіцієнти впливу змінні (вираз 14).

### Література

1. В. Ф. Анисимов, Л. П. Серета, Рябошапка В. Б. Пясецький А. А. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо / Промислова гідравліка і пневматика. №2(20) 2008. – 7 с.
2. Грабар І. Г., Колодницька Р. В., Семенов В. Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: монографія – Житомир: ЖДТУ, 2011
3. Черкез А. Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений. М., Машиностроение, 1965
4. Погодин С. И. Приведение мощности дизелей к стандартным условиям. М., «Машиностроение», 1972