

## ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ЗМІНИ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ ЗМІНІ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Калінін Є.І., к.т.н., доц.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка*

*На основі теплового розрахунку двигуна ЯМЗ-236Д-3 проаналізовано вплив температури навколишнього середовища на ефективну потужність та питому витрату палива. Встановлена попередня залежність цих показників від температури навколишнього повітря.*

**Вступ.** В даний час тракторні дизелі експлуатуються в широкому діапазоні навантажувальних і швидкісних режимів, а значні зміни природно-кліматичних умов призводять до виконання технологічних робіт в різних умовах експлуатації. Розширення сфери та інтенсивності експлуатації тракторів пред'являє підвищені вимоги до рівня надійності і стабільності робочих параметрів дизелів, порушення нормального функціонування яких тягне за собою значне збільшення витрат при їх експлуатації.

Характерним для сільськогосподарського виробництва є функціонування техніки в несприятливих умовах, пов'язаних із сезонністю робіт, коли в обмежені строки збирання врожаю або польових кампаній сільськогосподарські машинно-тракторні агрегати працюють на форсованих режимах.

До числа головних природно-кліматичних факторів, що визначають працездатність вузлів і агрегатів тракторних дизелів, належать такі: температура навколишнього середовища, відносна вологість, запиленість, атмосферний тиск та інші.

**Аналіз публікацій.** Питанням впливу кліматичних факторів на роботу дизельного двигуна присвячені роботи Дьяченко Н.Х., Ждановського А.В., Костіна А.К., Ларіонова В.В., Михайлова Л.І., Ніколаєнко О.В., Орліна А.С., Розенбліта Г.Б., Руднева Б.І., Хватова В.М., Хрулькевича О.А., Чайнова Н.Д. та ін.

Так, в [1] проведена оцінка впливу температури охолоджуючої рідини на теплонапруженість деталей двигуна і ефективність його роботи. Було встановлено, що підвищення температури сприяє зниженню коефіцієнта наповнення, що, в свою чергу, призводить до зниження коефіцієнта надлишку повітря, отже, і до зниження індикаторної потужності.

У лабораторії кафедри ДВЗ ЛПІ була проведена серія експериментів з вивчення робочого процесу двигуна при підвищенні температури охолоджувальної води з 90 до 130°C. У результаті дослідження було встановлено, що з підвищенням температури охолоджуючої рідини на кожні 10°C коефіцієнт наповнення знижувався в середньому на 1,0%, а коефіцієнт

надлишку повітря – на 0,9%.

З причини того, що на температуру охолоджуючої рідини значний вплив робить температура навколишнього середовища, вплив зміни якої на ефективні показники двигуна не враховувався в попередніх роботах, була поставлена наступна мета досліджень.

**Мета досліджень.** Вивчення впливу температури навколишнього середовища на ефективну потужність та питому витрату палива двигуна, на прикладі двигуна ЯМЗ-236Д-3.

**Загальна частина.** Для проведення теоретичних досліджень, за основу прийнятий двигун ЯМЗ-236Д-3 ВАТ «Автодизель» РФ, яким обладнуються трактори загального призначення виробництва ВАТ «Харківський тракторний завод імені С.Орджонікідзе» – ХТЗ-150К-09, ХТЗ-17221, ХТЗ-17221-09. Характеристики двигуна, які використовуються при тепловому розрахунку, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики двигуна ЯМЗ-236Д-3

Показник	Значення показника
Діаметр циліндру $D$ , мм	130
Хід поршня $S$ , мм	140
Кількість циліндрів $i$ , шт.	6
Тактність	4-х тактний
Номинальна частота обертання колінчатого валу $n$ , об/хв	2100
Наявність турбонадува	немає
Потужність двигуна при номінальній частоті обертання колінчатого валу, кВт	129
Питома витрата палива при номінальній частоті обертання колінчатого валу, г/кВт×год	220

Тепловий розрахунок проводиться при номінальній частоті обертання колінчатого валу та в інтервалі температур повітря навколишнього середовища від 0 до 40°C. При цьому визначаються термодинамічні параметри робочого тілі в характерних точках циклу (індикаторна діаграма дійсного циклу дизельного двигуна наведена на рис. 1). Найбільше уваги при цьому треба звернути на процес впуску (процес г-а), для якого змінюються початкові параметри повітря свіжого заряду (за рахунок зміни густини повітря навколишнього середовища), та процес згоряння паливо-повітряної суміші (процес с-з), в якому повнота згоряння залежить від коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$ , а ефективна робота визначається ступенями підвищення тиску  $\lambda$ , попереднього розширення  $\rho$  та розширення  $\delta$ .

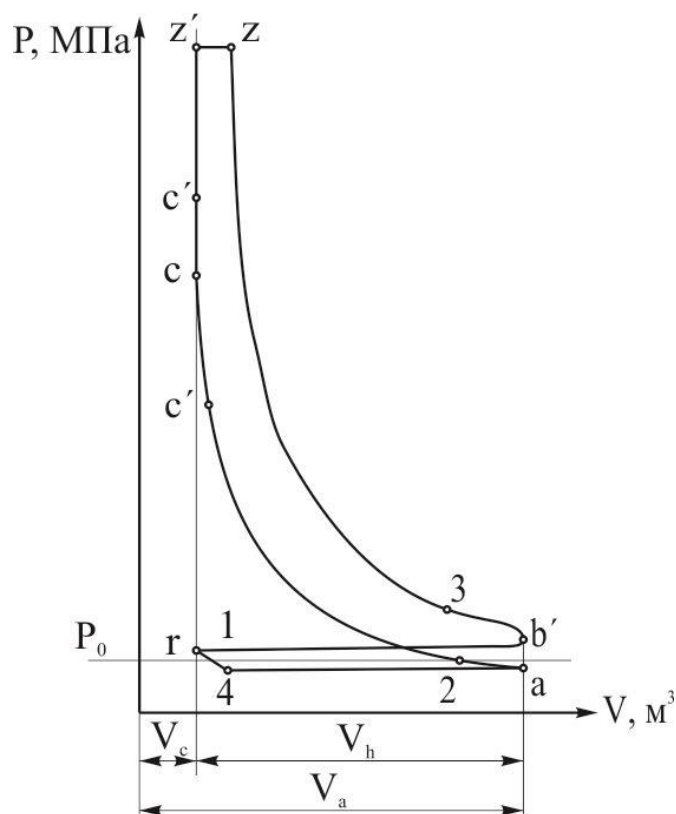


Рис. 1 – Індикаторна діаграма дійсного циклу чотирьохтактного дизельного двигуна

Ефективна потужність двигуна може бути визначена за формулою:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n \cdot i}{30 \cdot \tau}, \quad (1)$$

де:  $P_e$  – середній ефективний тиск, Па;  
 $V_h$  – робочий об'єм циліндру, м<sup>3</sup>;  
 $n$  – частота обертів колінчатого валу, об/хв;  
 $i$  – кількість циліндрів, шт.;  
 $\tau$  – тактність двигуна.

Знаючи діаметр циліндру  $D$  та хід поршня  $S$  можна визначити робочий об'єм  $V_h$  за формулою:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S, \quad (2)$$

Середній ефективний тиск можна визначити за формулою механічного ККД, тобто:

$$P_e = \eta_m \cdot P_i, \quad (3)$$

де:  $\eta_m$  – механічний ККД двигуна (для сучасних дизельних двигунів складає 0,7...0,82);

$P_i$  – дійсний середній індикаторний тиск, Па, який відрізняється від теоретичного значення індикаторного тиску  $P_i'$  на величину коефіцієнту повноти діаграми  $\varphi = 0,92 \dots 0,95$ , тобто  $P_i = \varphi \cdot P_i'$ .

Теоретичний середній індикаторний тиск можна визначити за формулою:

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \quad (4)$$

де  $P_c$  – абсолютний тиск в циліндрі в кінці такту стиснення, Па;  
 $\varepsilon$  – ступінь стиснення, який для двигуна ЯМЗ-236Д-3 дорівнює 16,5.

Показники циклу  $\lambda$ ,  $\rho$  та  $\delta$  визначаються через абсолютні температури кінця стиснення  $T_c$  та кінця згоряння свіжого заряду  $T_z$  та абсолютні тиски цих точок ( $P_c$  та  $P_z$  відповідно) з урахуванням дійсного коефіцієнту молекулярної зміни  $\beta$  з залежностей:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c}, \quad (5)$$

$$\rho = \frac{\beta}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}, \quad (6)$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}. \quad (7)$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни  $\beta$  визначається через його теоретичне значення  $\beta_0$  з урахуванням коефіцієнту залишкових газів  $\gamma$  за формулою:

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma}{1 + \gamma}. \quad (8)$$

Коефіцієнт залишкових газів  $\gamma$  визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{P_r \cdot T_0}{P_0 \cdot T_r \cdot \eta_v (\varepsilon - 1)}, \quad (9)$$

де:  $P_0$  – атмосферний тиск (для розрахунків прийнято  $P_0 = 101325$  Па);  
 $P_r = P_0(1 + 0,55 \cdot 10^{-4} n)$  – абсолютний тиск в кінці такту випуску, Па;  
 $T_0$  – абсолютна температура навколишнього середовища, К;  
 $T_r = 800 \dots 900$  К – абсолютна температура в кінці такту випуску, К;  
 $\eta_v$  – коефіцієнт наповнення, який може бути визначений за формулою:

$$\eta_v = \frac{(P_a \cdot \varepsilon - P_r) T_0}{P_0 (\varepsilon - 1) T_r}, \quad (10)$$

де:  $T'_0 = T_0 + \Delta t$  – абсолютна температура свіжого заряду, яка відрізняється від абсолютної температури навколишнього середовища на величину  $\Delta t$  – підігрів заряду в впускному колекторі двигуна, К;  
 $P_a$  – тиск в кінці такту впуску, Па.

Тиск  $P_a$  залежить від багатьох показників, однак при цьому найбільшу увагу звертають на затухання швидкості свіжого заряду в впускному колекторі в певному його перерізі (характеризується коефіцієнтом  $\beta'$ ) та на гідравлічний опір, який віднесений до найбільш вузького перетину (визначається коефіцієнтом  $\xi_{en}$ ). При цьому зменшується середня швидкість руху заряду  $V_{кл}$  в прохідному перерізі клапану, яка в свою чергу залежить від густини свіжого заряду  $\rho_3$ . Таким чином тиск в кінці такту впуску можна визначити за формулою:

$$P_a = P_0 - (\beta'^2 + \xi_{en}) \frac{V_{кл}^2}{2} \rho_3. \quad (11)$$

Сума  $\beta'^2 + \xi_{en}$  для сучасних двигунів дорівнює 2,5...3,2, при цьому більші значення відповідають підвищеній швидкохідності.

Густина свіжого заряду залежить від його абсолютної температури  $T'_0$  та може бути визначена з рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$\rho_3 = \frac{P_0}{RT'_0}, \quad (12)$$

де:  $R = 288$  Дж/кг×К – газова стала для повітря.

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни визначається як відношення виду:

$$\beta_0 = \frac{M}{M_c}, \quad (13)$$

де:  $M$  – кількість кіломолей продуктів згоряння, кмоль/кг:

$$M = L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32}, \quad (14)$$

а  $M_c$  – молярна маса свіжого заряду перед початком згоряння, кмоль/кг:

$$M_c = \alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma). \quad (15)$$

Величина теоретично необхідної кількості повітря  $L_0$  визначається на основі маси елементів, які входять до його складу ( $C$ ,  $H$ ,  $O$  – відповідно маса вуглецю, водню та кисню в 1 кг палива):

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right). \quad (16)$$

Показники політропи стиснення свіжого заряду  $n_1$  та політропи розширення відпрацьованих газів  $n_2$  в циліндрі двигуна залежать від обертів колінчатого валу  $n$  та можуть бути визначені за апроксимованими функціями, які запропоновані проф. В.А. Петровим:

$$n_1 = 1,41 - \frac{100}{n}, \quad (17)$$

$$n_2 = 1,22 + \frac{130}{n}. \quad (18)$$

Абсолютна температура кінця стиснення визначається з урахуванням того, що процес відбувається по політропі, тому:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}, \quad (19)$$

де:  $T_a$  – температура кінця такту впуску, К, яка визначається за формулою:

$$T_a = \frac{T'_0}{1 - \frac{P_r}{\varepsilon \cdot P_a} \left(1 - \frac{T'_0}{T_r}\right)}, \quad (20)$$

Абсолютний тиск кінця стиснення також визначається за допомогою показника політропи за формулою:

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}. \quad (21)$$

Абсолютний тиск кінця згоряння  $P_z$  можна визначити з виразу:

$$P_z = \beta \cdot P_c \cdot \frac{T_z}{T_c}, \quad (22)$$

де:  $T_z$  – абсолютна температура кінця згоряння свіжого заряду, К.

Абсолютна температура  $T_z$  визначається з рівняння згоряння:

$$\frac{\xi Q_n}{M_c (1 + \gamma)} + \mu_{vm} T_c = \beta \cdot \mu_{pm} T_z, \quad (23)$$

де:  $\xi = 0,85 \dots 0,92$  – коефіцієнт використання теплоти при згорянні заряду;  
 $Q_n = 42500$  кДж/кг – питома нижча теплота згоряння дизельного палива;  
 $\mu_{vm}$  та  $\mu_{pm}$  – відповідно середня мольна ізохорна та ізобарна теплоємності, кДж/кмоль $\times$ К.

Середня мольна теплоємність  $\mu_{vm}$  може бути визначена з рівняння:

$$\mu_{vm} = 20,1 + 1,735 \cdot 10^{-3} T_c, \quad (24)$$

а  $\mu_{pm}$  – з формули Майєра:

$$\mu_{pm} = \mu_{vm} + 8,314. \quad (25)$$

Питома ефективна витрата палива визначається за формулою:

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e \cdot Q_H}, \quad (26)$$

де:  $\eta_e = \eta_m \cdot \eta_i$  – ефективний ККД двигуна, в якому  $\eta_i$  – його індикаторний ККД, який може бути визначений з залежності:

$$\eta_i = \frac{8,314 \cdot M_c \cdot T_c \cdot (\varepsilon - 1) \cdot P_i}{P_c \cdot Q_H}. \quad (27)$$

На основі приведених формул теплового розрахунку отримана залежність ефективної потужності  $N_e$  та питомої ефективної витрати палива  $g_e$  двигуна ЯМЗ-236Д-3 від температури повітря навколишнього середовища  $t_0$  (рис. 2).

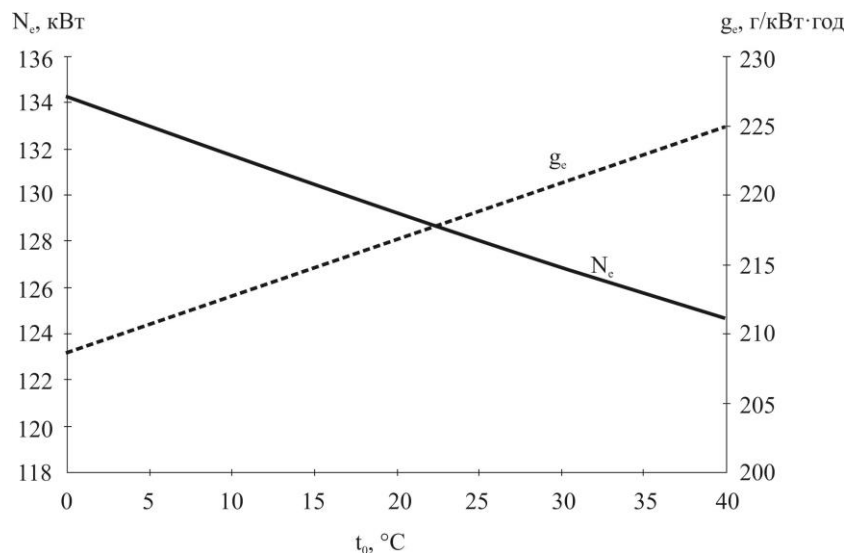


Рис. 2 – Залежність ефективної потужності  $N_e$  та питомої ефективної витрати палива  $g_e$  двигуна ЯМЗ-236Д-3 від температури повітря навколишнього середовища

Проаналізувавши дані залежності можна зробити наступні висновки.

**Висновки.** Температура навколишнього середовища впливає на коефіцієнт  $\alpha$ , за рахунок того, що змінюється густина повітря навколишнього середовища. В результаті такої зміни до циліндру надходить менше повітря, що призводить до неповного згоряння паливо-повітряної суміші – до зменшення ефективних показників двигуна. При збільшенні температури повітря навколишнього середовища для двигуна ЯМЗ-236Д-3 спостерігається зниження ефективної потужності двигуна в середньому на 1% на кожні 5°C. При цьому відбувається збільшення питомої ефективної витрати палива двигуном в середньому на 0,95% на кожні 5°C. Таким чином, підвищення температури навколишнього середовища з 15 до 40°C призводить до зменшення ефективної потужності двигуна на 5%, що, згідно ГОСТ 18509-88, вважається відказом двигуна, при якому подальша його експлуатація неприпустима.

## Список використаних джерел

1. Дьяченко, Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей [Текст] / Дьяченко Н.Х., Дашков С.Н., Костин А.К., Бурин М.М. – Л.: Машиностроение, 1969. – 247 с.
2. Ждановский, Н.С. Режимы работы двигателей энергонасыщенных тракторов [Текст] / Ждановский Н.С., Николаенко А.В., Шкрабак В.С. и др. – Л.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
3. А.с. 883543 СССР. Способ обкатки двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Ждановский Н.С., Николаенко А.В., Зуев В.П.
4. Костин, А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации [Текст] / Костин А.К., Пугачев Б.П., Кочинев Ю.Ю. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.
5. Костин, А.К. Исследование нестационарного теплообмена в камере сгорания дизеля [Текст] / Костин А.К., Михайлов Л.И., Руднев Б.И. и др. // Тр. ЛПИ. – 1980. – № 130. – С. 73 – 78.
6. Костин, А.К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания [Текст]: Справочное пособие / Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с.
7. Николаенко, А.В. Повышение эффективности использования тракторных дизелей в сельском хозяйстве [Текст] / Николаенко А.В., Хватов В.Н. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 189 с.
8. Розенблик, Г.Б. Теплопередача в дизелях [Текст] / Розенблик Г.Б. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
9. Хрулькевич, О.А. Двигатели для эксплуатации в тропиках [Текст] / Хрулькевич О.А. – М.: Машиностроение, 1974. – 168 с.
10. Чайнов, Н.Д. Тепломеханическая напряженность деталей двигателей [Текст] / Чайнов Н.Д., Заренбин В.Г., Иващенко Н.А. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.

## Аннотация

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЯМЗ-236Д-3 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Калинин Е.

*На основании теплового расчета двигателя ЯМЗ-236Д-3 проанализировано влияние температуры окружающей среды на эффективную мощность и удельный расход топлива. Установлена предварительная зависимость данных показателей от температуры окружающего воздуха.*



## **Abstract**

### **THEORETICAL ESTIMATION OF CHANGES IN THE EFFECTIVE PERFORMANCE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE JAMZ-236D-3 AT THE AMBIENT TEMPERATURE CHANGES**

E. Kalinin

*Based on the thermal design of the engine JAMZ-236D-3 analyzed the influence of ambient temperature on the effective power and specific fuel consumption. Have a pre-dependency of these indices on the ambient temperature.*