

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА НА ОСНОВІ ЕТАНОЛУ НА ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Sosida S.V., ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, serhiy.sosida@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3747-5643

Цюман М.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tsumanmp@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2537-8010

STUDY OF THE IMPACT OF USING ETHANOL-BASED FUEL ON INDICATED PERFORMANCE, ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF THE AUTOMOBILE ENGINE

Sosida S.V., State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, serhiy.sosida@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3747-5643

Tsiuman M.P., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tsumanmp@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2537-8010

Постановка проблеми

Етанол є одним з видів альтернативних палив або ж як добавка, що використовується до палива в автомобільних двигунах з іскровим запалюванням. Етанол – це відновлюване паливо, що виробляється шляхом переробки сировини сільськогосподарського походження [1, 2]. Попередні дослідження стосувались впливу використання палив на основі етанолу до 40 % на ефективні та екологічні показники [3], дослідження ефективності використання спиртовмісних палив в умовах експлуатації [4], проведено експериментальні дослідження ефективних та екологічних показників двигуна за живлення його паливами з вмістом етанолу до 75 % [5]. Використання палива на основі етанолу чинить вплив на робочий цикл двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Робочий цикл характеризується індикаторними показниками. Ці показники стосуються процесів, що відбуваються всередині циліндра двигуна і характеризують досконалість циклу за тепловикористанням [6]. Водночас, вказаний вплив вмісту етанолу на індикаторні показники двигуна викликаний зміною складу свіжого заряду, процесу згоряння, складу продуктів згоряння, які в свою чергу спричиняють зміни у енергоефективності двигуна та його екологічних показниках. Дослідженню даних показників автомобільних двигунів з іскровим запалюванням під час живлення паливами з високим вмістом етанолу і присвячена дана стаття.

Метою роботи є оцінка впливу вмісту етанолу в паливі на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна з іскровим запалюванням та каталітичною нейтралізацією відпрацьованих газів.

Виклад основного матеріалу.

Дослідження відповідно до мети роботи виконувались з використанням як експериментальних методів, так і математичного моделювання.

Експериментальні дослідження проведено в лабораторії випробувань двигунів Національного транспортного університету. Ці дослідження передбачали визначення індикаторних діаграм робочого циклу двигуна та аналіз індикаторних показників у окремих режимах роботи двигуна.

Для отримання індикаторних діаграм робочого циклу двигуна з іскровим запалюванням при живленні паливами з різним вмістом етанолу використовувався датчик надлишкового тиску типу МИДА–ДИ–12П–081, який було встановлено на ДВЗ в спеціальний отвір, що розміщувався в головці блоку циліндрів та давав змогу отримувати дані тиску в 4 циліндри. Отримуваний сигнал датчику тиску подавався на операційний підсилювач, після чого – на один з каналів осцилографа типу USB Autoscope, та за допомогою програмного забезпечення встановленого на ПК USB Oscilloscope-1 записувався у файл. До осцилографа також подавався керуючий сигнал з котушки запалювання 4 циліндру та з датчика кута повороту колінчатого валу. Приклад отримуваних індикаторних діаграм показано на рис. 1.

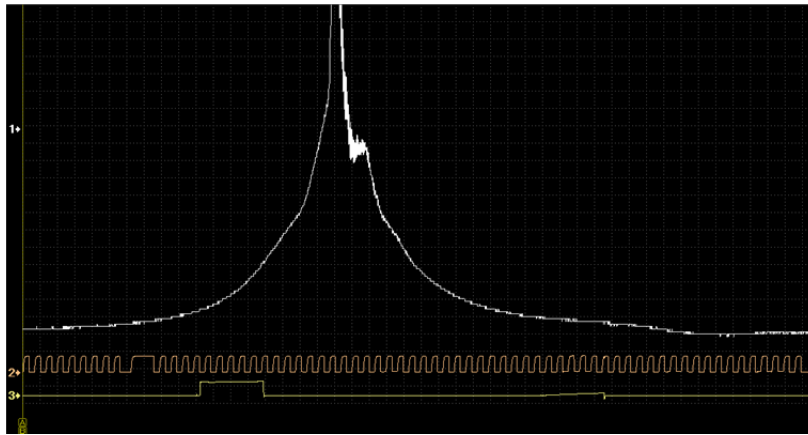


Рисунок 1 – Приклад візуалізації сигналів з датчиків за допомогою програмного забезпечення USB Oscilloscope-1
 Figure 1 – An example of visualization of signals from sensors using USB Oscilloscope-1 software

Отримані діаграми зберігались в окремі файли, відповідно до точок, що відповідали різним режимам роботи двигуна. З одного файлу обирались послідовно 25 одноциклових діаграм, що відповідали даному режиму роботи двигуна. До кожної діаграми застосовувався скрипт який перетворював графічний сигнал індикаторної діаграми в масив точок даних, вказуючи їх точну кількість (x), що відповідали тиску в циліндрі вираженому у вольтах для подальшого опрацювання в програмі обробки діаграм.

За допомогою програми USB Oscilloscope-1 отримувались часові координати точок моменту запалювання (A_1) та верхньої мертвої точки (A_2). Підстановка цих координат у формули дозволяла отримувати наступні показники:

– частота обертання колінчатого валу, хв^{-1} :

$$n = \frac{2 \cdot (6 \cdot 10^7)}{t}, \quad (1)$$

де t – тривалість робочого циклу, мкс;

– тривалість робочого циклу, мкс:

$$t = x \cdot 8, \quad (2)$$

де x – кількість точок даних індикаторної діаграми, що відповідає одному повному робочому циклу ДВЗ;

– кут випередження запалювання, град п.к.в.:

$$\theta = \frac{6 \cdot n \cdot (A_2 - A_1)}{10^6}, \quad (3)$$

де n – частота обертання колінчатого валу, хв^{-1} ;

A_1 – часова координата моменту запалювання, мкс;

A_2 – часова координата верхньої мертвої точки, мкс;

– крок кута повороту колінчатого валу:

$$\Delta\varphi = \frac{6 \cdot n \cdot t}{x \cdot 10^6}. \quad (4)$$

У підсумку проміжного етапу обробки даних було отримано масив даних, який містив кут випередження запалювання, тривалість циклу, крок повороту колінчатого валу, частоту обертання колінчатого валу та кількість точок, що відповідали тиску вираженому у вольтах для кожного з режимів навантажувальної характеристики.

Наступним етапом була обробка вищезазначеного масиву даних за допомогою програми в середовищі Mathcad для розрахунку індикаторних показників циклу і характеристик тепловиділення

двигуна внутрішнього згоряння [7]. Програма дозволяє після введення масиву значень сигналу напруги від датчика тиску, початкового значення кута п.к.в. та значення кута випередження запалювання визначити розгорнуту індикаторну діаграму. Із розгорнутої діаграми визначають максимальний тиск в циліндрі під час згоряння P_z і кут п.к.в., що відповідає початку третьої фази згоряння $\varphi_{P_{max}}$.

Результатом обробки даних був масив індикаторних показників циклу і характеристик тепловиділення двигуна внутрішнього згоряння. З метою врахування нерівномірності циклів, обиралось 25 послідовних циклів, внаслідок чого виникла необхідність отримання середніх значень. Для цього отримані дані спочатку зображувались графічно, з метою виключення точок, які явно лежать за межею істинних даних (рис. 2). З точок, які лежать в межах істинних значень, визначалось середнє арифметичне значення для кожного досліджуваного параметру.

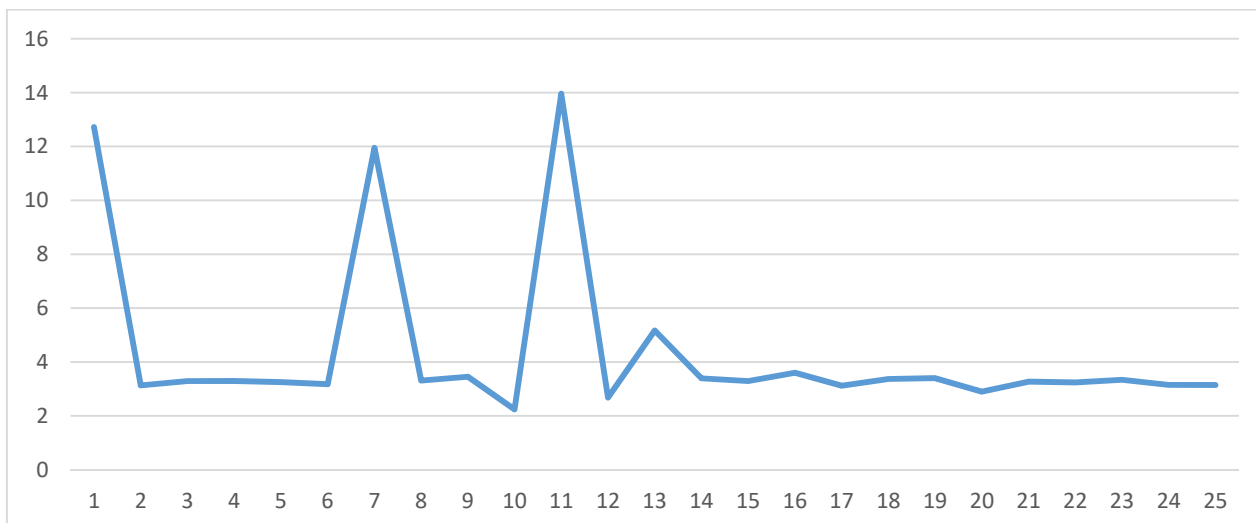


Рисунок 2 – Графічне відображення отриманих значень показника характеру згоряння m_{zg} характеристики тепловиділення (точки 1, 7 та 11 виходять за межі істинних значень)
 Figure 2 – Graphic representation of the obtained indicator of the nature of combustion m_{zg} of the heat release characteristic (points 1, 7 and 11 are outside the true values)

Отримані усереднені індикаторні діаграми для окремих режимів роботи двигуна під час живлення двигуна паливами з різним вмістом етанолу зображено на рис. 3, 4. Як видно з індикаторних діаграм, збільшення вмісту етанолу в паливі впливає на процеси згоряння та розширення: при збільшенні вмісту етанолу дещо знижуються значення тиску, що призводить до деякого зменшення індикаторної роботи циклу.

За результатами обробки індикаторних діаграм у різних навантажувальних режимах отримано залежності максимального тиску та температури під час згоряння (рис. 5, 6). Як видно із представлених залежностей, вміст етанолу в паливі незначно впливає на значення максимального тиску в циліндрі в різних режимах роботи двигуна. Вплив на значення максимальної температури під час згоряння носить складаний характер: в одних режимах збільшення вмісту етанолу в паливі призводить до збільшення максимальної температури, в інших – до зменшення.

На основі аналізу процесу згоряння встановлено характеристики тепловиділення, для яких визначено тривалість та характер згоряння під час використання палив з різним вмістом етанолу (рис. 7, 8). З отриманих результатів видно, що збільшення вмісту етанолу в паливі спричиняє зменшення тривалості та показника характеру згоряння для більшості навантажувальних режимів. Отримані дані цих параметрів процесу згоряння є основою для встановлення поліноміальних залежностей для використання їх в математичній моделі робочого процесу двигуна.

Таким чином, наявність етанолу у паливі чинить вплив на робочий процес двигуна внутрішнього згоряння, проте аналіз отриманих показників ускладнюється наявною нерівномірністю циклів та похибками при вимірюванні тиску в циліндрі.

Для отримання чітких та не спотворених даних, дослідження впливу виду палива на показники робочого циклу слід здійснювати за індикаторними діаграмами, отриманими за допомогою уточненої математичної моделі робочого процесу двигуна [8].

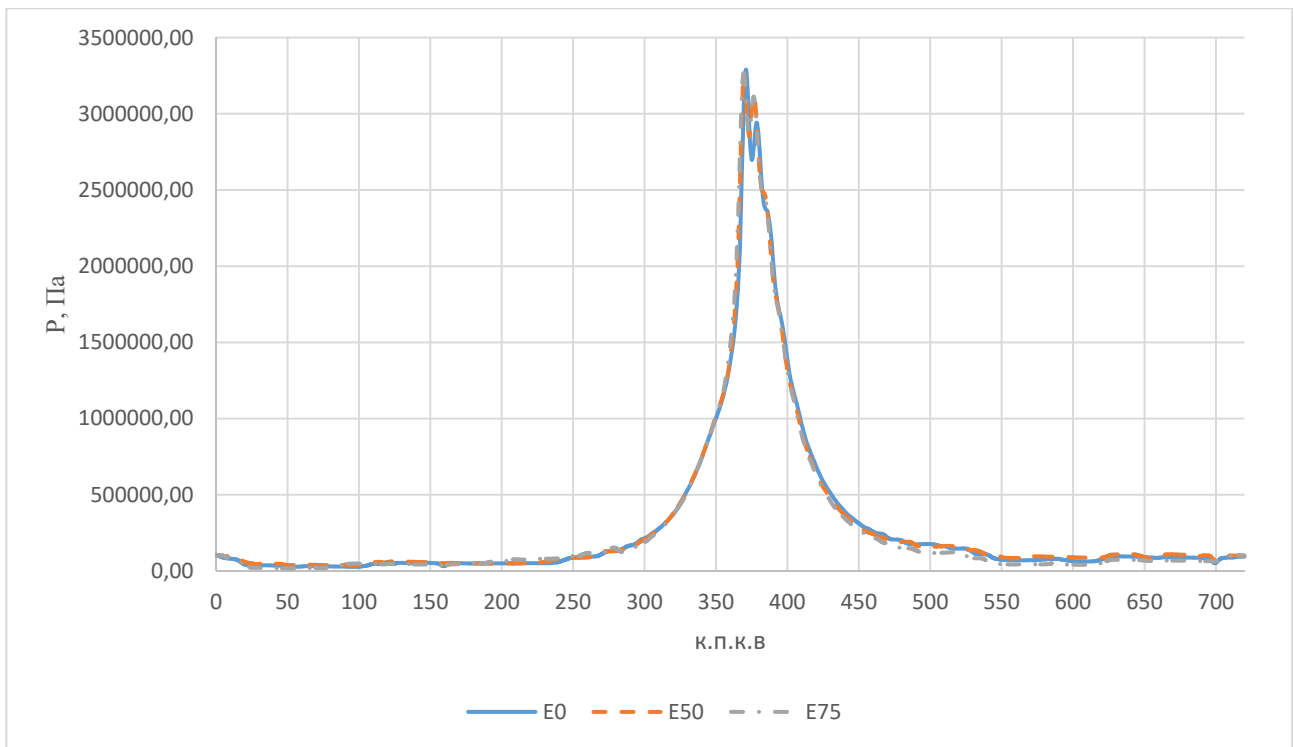


Рисунок 3 – Розгорнута індикаторна діаграма для палив з різним вмістом етанолу при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$ отримана експериментально
 Figure 3 – Expanded indicated diagram for fuels with different ethanol content at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$ obtained experimentally

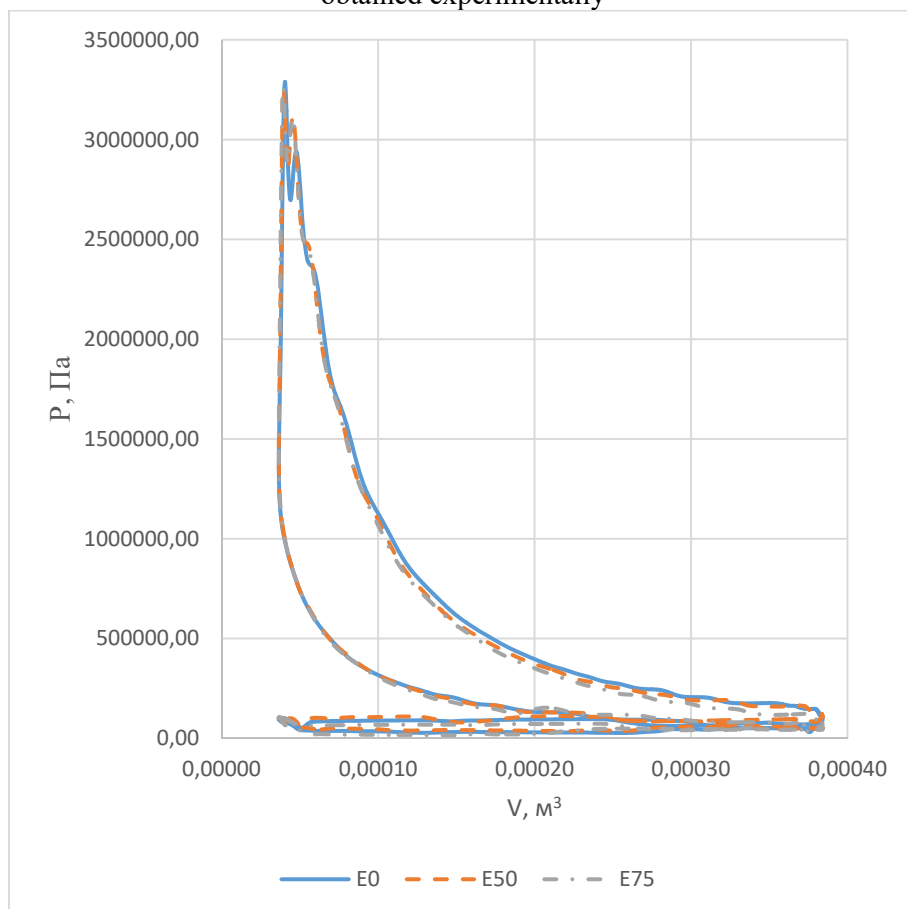


Рисунок 4 – Індикаторна діаграма для палив з різним вмістом етанолу при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$ отримана експериментально
 Figure 4 – Indicated diagram for fuels with different ethanol content at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$ obtained experimentally

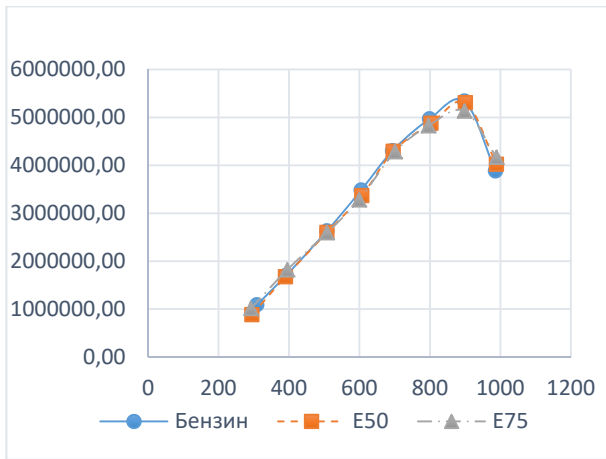


Рисунок 5 – Максимальний тиск циклу при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$

Figure 5 – Maximum cycle pressure at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

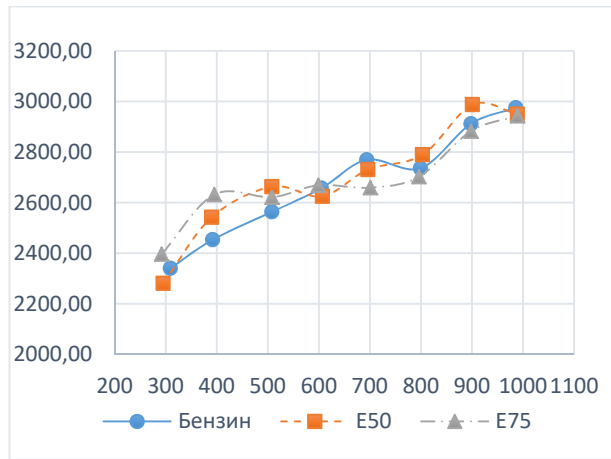


Рисунок 6 – Максимальна температура циклу при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$

Figure 6 – Maximum cycle temperature at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

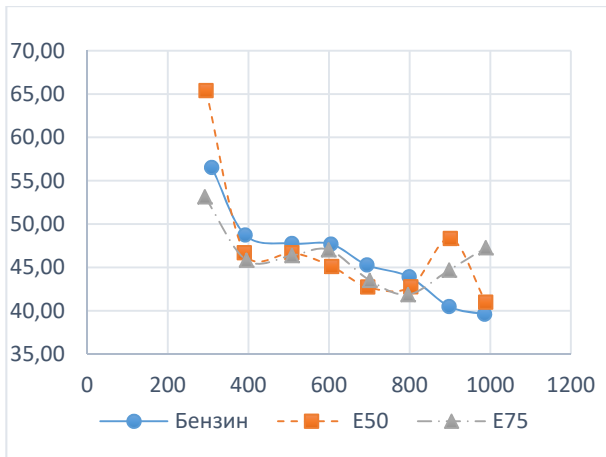


Рисунок 7 – Тривалість згоряння при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$

Figure 7 – Duration of combustion at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

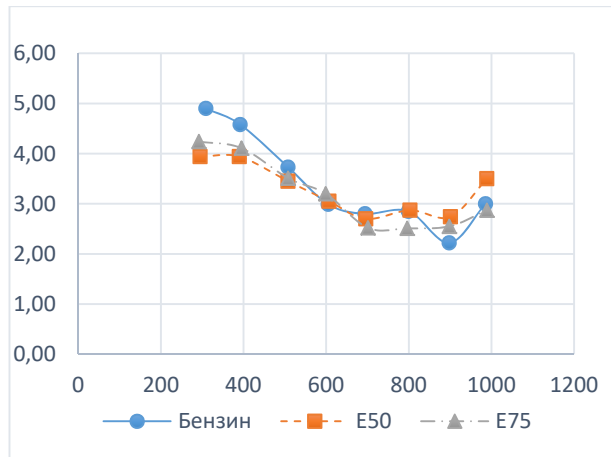


Рисунок 8 – Показник характеру згоряння при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$

Figure 8 – Indicator of the nature of combustion at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

Як видно з індикаторних діаграм двигуна за роботи на різних паливах (рис. 9) при частоті обертання 2400 хв^{-1} , $P_k=500 \text{ мбар}$, використання палива E50 призводить до певного зниження максимального тиску під час згоряння порівняно з використанням бензину. Водночас, під час використання палива E75 максимальний тиск такий же як і при живленні бензином. Під час процесу розширення лінія тиску при роботі на E75 проходить нижче ніж, при роботі на інших паливах. Це відбувається внаслідок збіднення суміші при роботі на E75 через зміну складу продуктів згоряння та збільшення їхньої мольної теплоємності порівняно з мольною теплоємністю продуктів згоряння більш багатой суміші при інших рівних умовах.

Розгорнуті індикаторні діаграми (рис. 10) дозволяють проаналізувати вплив виду палива на процес згоряння більш детально. З розгорнутих індикаторних діаграм ділянки згоряння (рис. 11) видно, при живленні паливом E75 активне згоряння починається раніше ніж при живленні іншими паливами і відповідне раніше досягається значення максимального тиску. Швидкість наростання тиску найбільша при активному згорянні бензину, тому, досягається такий же максимальний тиск, як і при E75, але дещо пізніше. Інтенсивність наростання тиску при згорянні палив E50 та E25 нижча ніж у бензину, тому, досягнуті значення максимального тиску менші.

Отриманий ефект впливу на зміну тиску в циліндрі під час використання спиртовмісних палив пов'язаний зі зміною характеру тепловиділення під час згоряння (рис. 12). Як видно, при використанні палива E75 активне тепловиділення (друга фаза згоряння) розпочинається приблизно на 1 град. п.к.в. раніше ніж за роботи на бензині та паливі E50. При цьому, інтенсивність тепловиділення

(кут нахилу характеристики тепловиділення) найвища при роботі на бензині; для палив E50 та E75 інтенсивність тепловиділення практично не відрізняється.

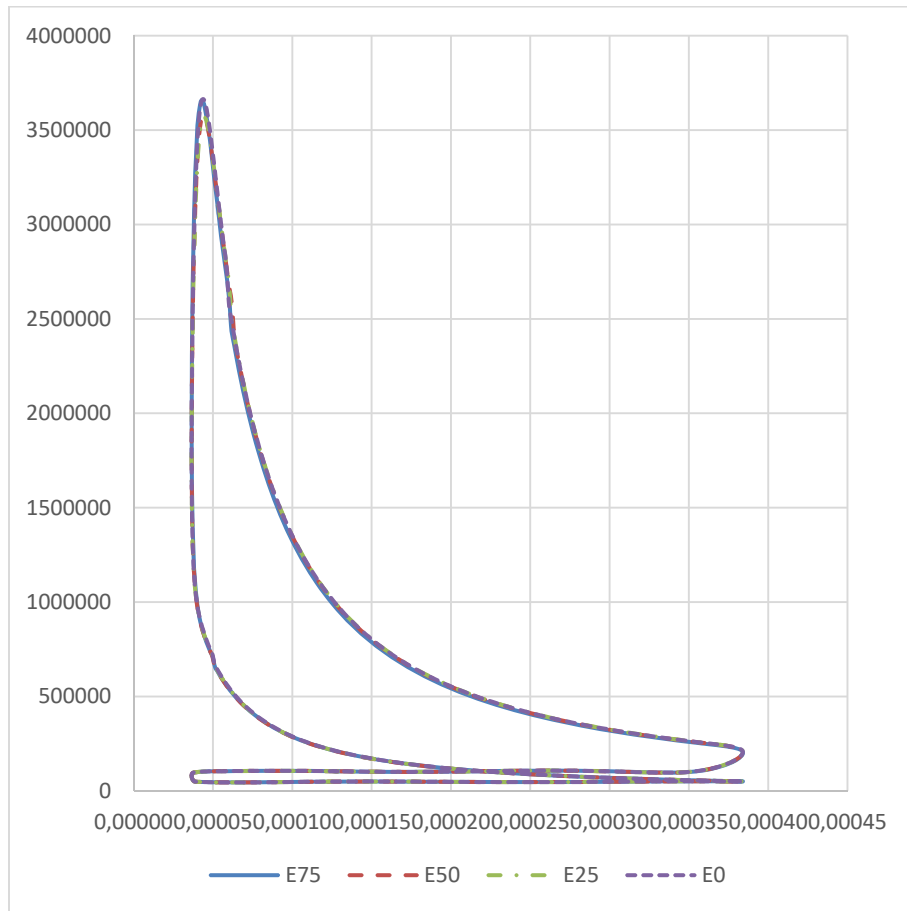


Рисунок 9 –Індикаторна діаграма при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 9 – Indicated diagram at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

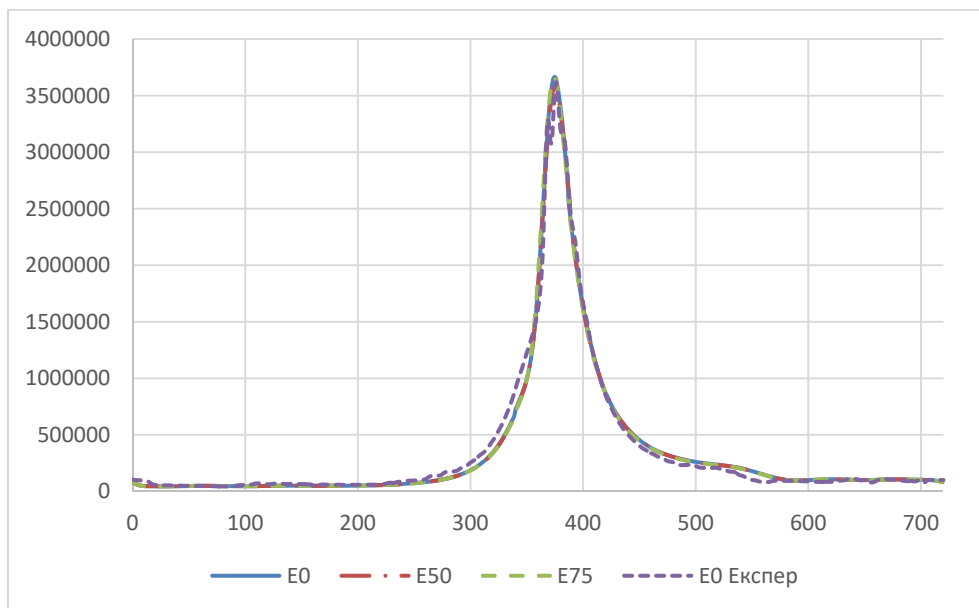


Рисунок 10 – Розгорнута індикаторна діаграма при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 10 – Expanded indicated diagram at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

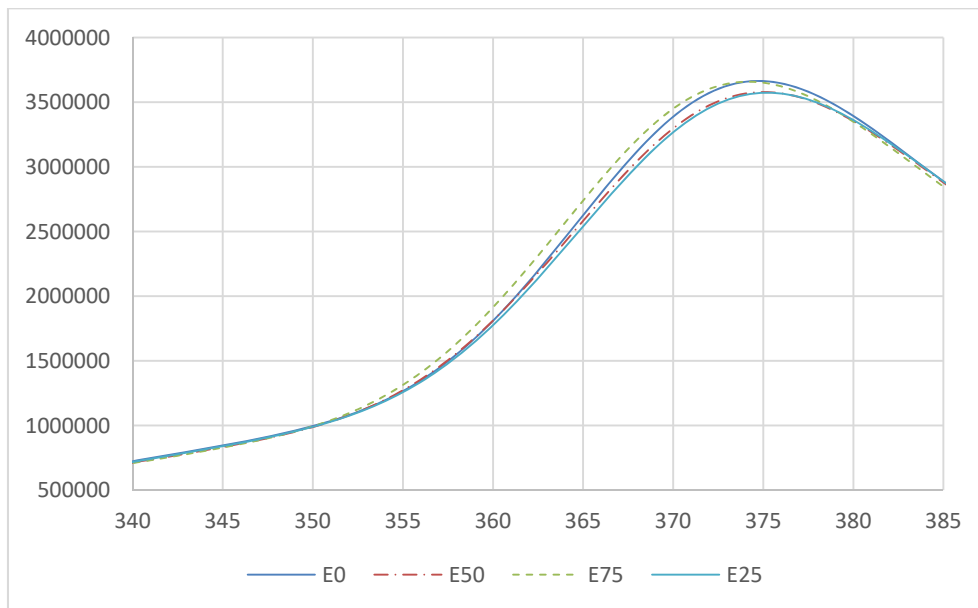


Рисунок 11 – Розгорнута індикаторна діаграма (ділянка згоряння) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 11 – Expanded indicated diagram (combustion section) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

Діаграма зміни температури в циліндрі дозволяє проаналізувати вплив виду палива на температурні умови. Так, під час впуску (рис. 13) вплив виду палива практично не проявляється, наявна підвищена теплота пароутворення етанолу, очевидно компенсується теплотою, що підводиться до свіжого заряду від каналів системи охолодження головки циліндрів у зоні впускних клапанів, де відбувається сумішоутворення.

На ділянці стискання (рис. 14) інтенсивність збільшення температури найбільша у бензині та знижується при збільшенні вмісту етанолу. В кінці стискання (340 град. п.к.в.) температура для бензину складає 620 К, для E50 – 610 К, для E75 – близько 605 К. Це відбувається через одночасний вплив таких факторів як, мольна маса палива (зменшується зі збільшенням вмісту етанолу), мольна теплоємність палива (зменшується зі збільшенням вмісту етанолу), циклова маса палива (збільшується зі збільшенням вмісту етанолу).

Під час згоряння (рис. 15) початок активного згоряння палива E75 раніше, що призводить до більших значень температури в циліндрі на ділянці 353...372 град. п.к.в. Однак, далі більшою мірою починає проявлятися вплив мольної маси, мольної теплоємності та циклової маси палива, а також мольної теплоємності та маси продуктів згоряння, тому, максимальна температура на E75 менша (2774 К) ніж за роботи на бензині (2806 К). При згорянні палив E25 та E50 вплив параметрів палива та продуктів згоряння менший, і характер зміни температури визначається в основному інтенсивністю згоряння, яка є нижчою за інтенсивність згоряння бензину. Максимальні температури на паливах E25 та E50 близькі до температур на паливі E75 (2779 та 2771 К відповідно), однак досягаються пізніше.

На ділянці розширення (рис. 16) значення температур визначаються температурою на початку розширення, мольною теплоємністю та масою продуктів згоряння. Для палив E25 та E50, для яких максимальна температура досягається пізніше ніж для палив E0 та E75, однак, має нижчі значення ніж для палива E0. Значення температури для палив E25 та E50 в процесі розширення мало відрізняються від значень для палива E0. Для палива E75 значення максимальної температури досягається раніше ніж для інших палив, а на початку розширення температура вже має менше значення, ніж для палив E0, E25, E50. Крім того, як вказано вище, при роботі на паливі E75 має місце збільшення мольної теплоємності продуктів згоряння внаслідок збіднення суміші порівняно з іншими паливами, що також зменшує температуру в процесі розширення.

Отриманий ефект зниження температури робочого тіла в процесі розширення за роботи на паливі E75 також має місце і в процесі впуску (рис. 17). Температура продуктів згоряння в кінці впуску складає 932 К, 931 К, 929 К та 924 К для палив E0, E25, E50 та E75 відповідно.

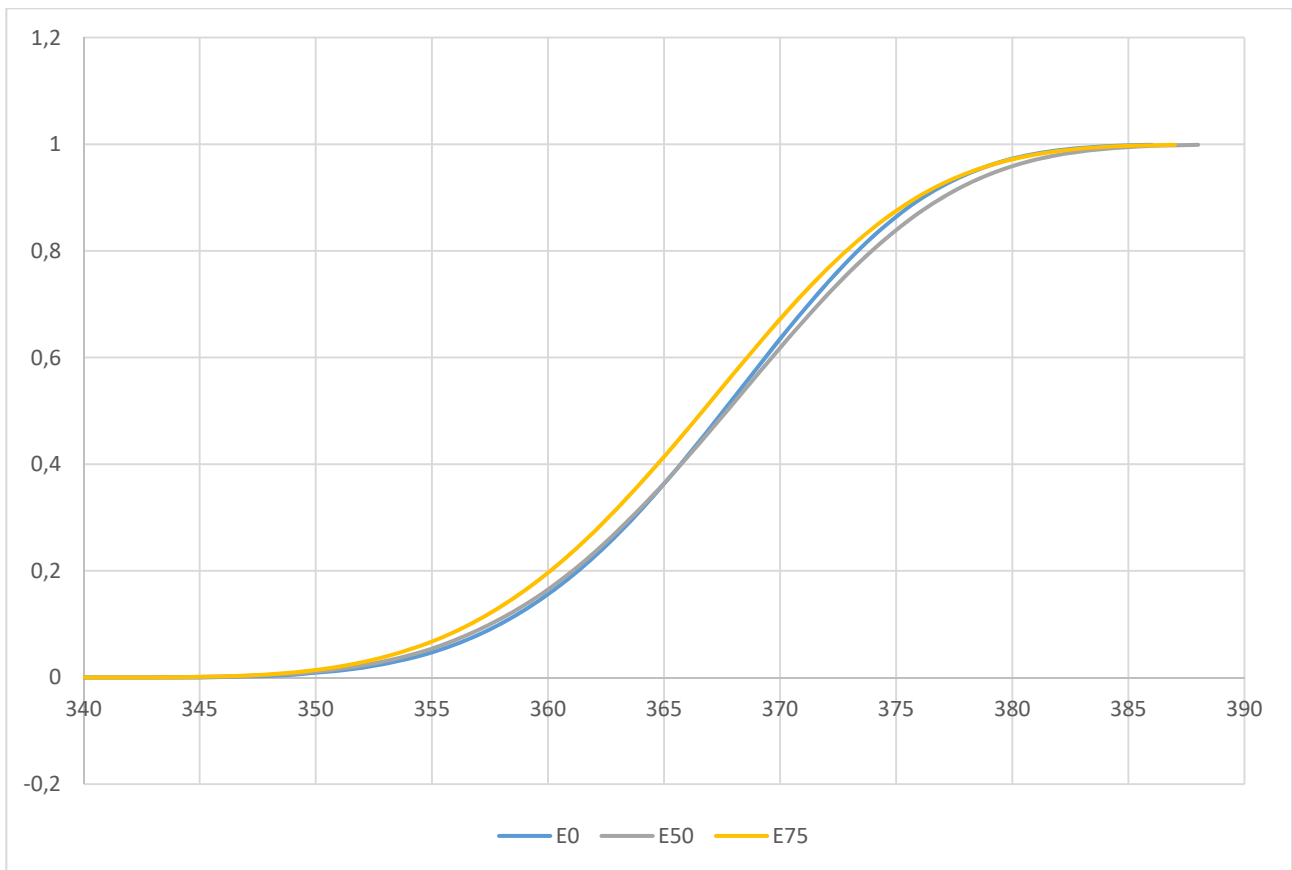


Рисунок 12 – Коефіцієнт тепловиділення при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 12 – Heat release coefficient at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

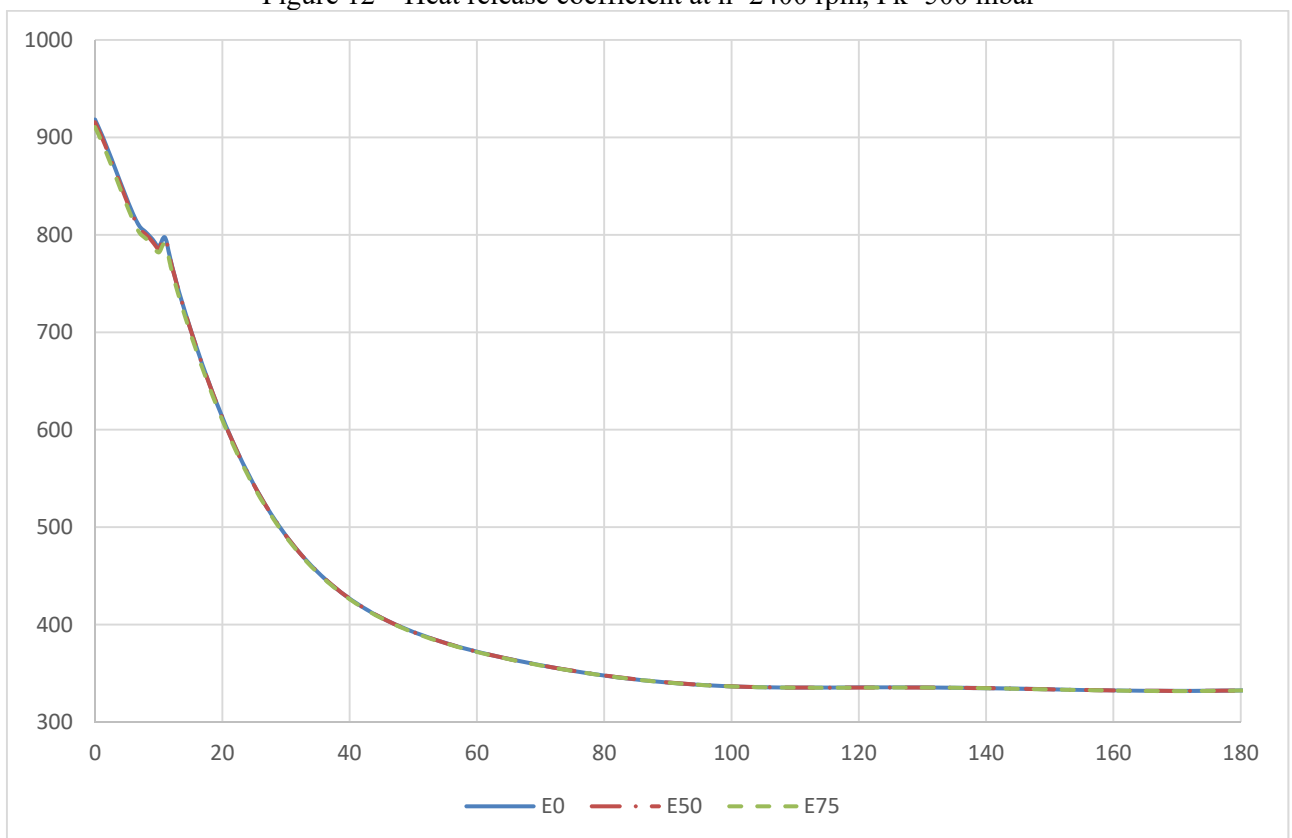


Рисунок 13 – Діаграма температури в циліндрі (ділянка впуску) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 13 – Temperature diagram in the cylinder (inlet section) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

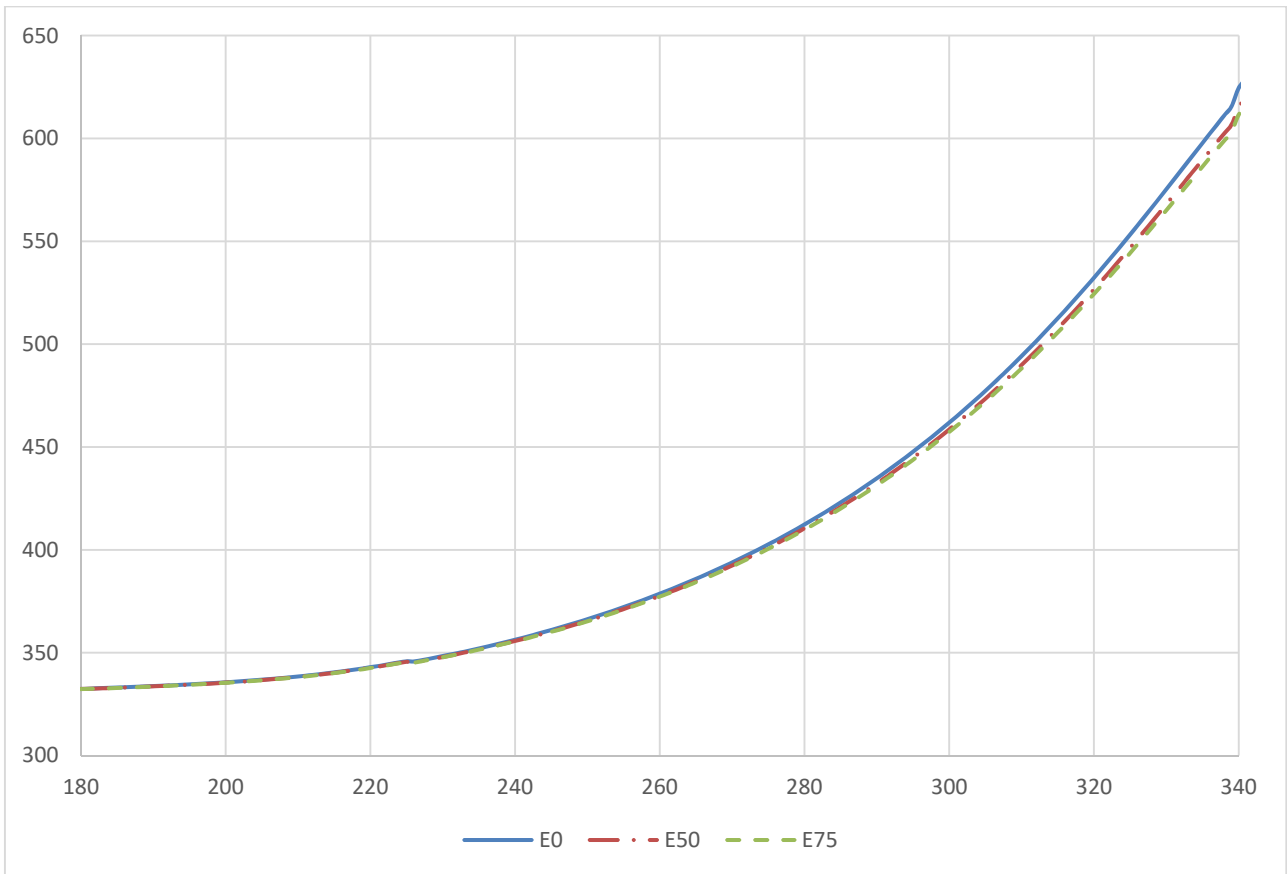


Рисунок 14 – Діаграма температури в циліндрі (ділянка стиску) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 14 – Temperature diagram in the cylinder (compression section) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

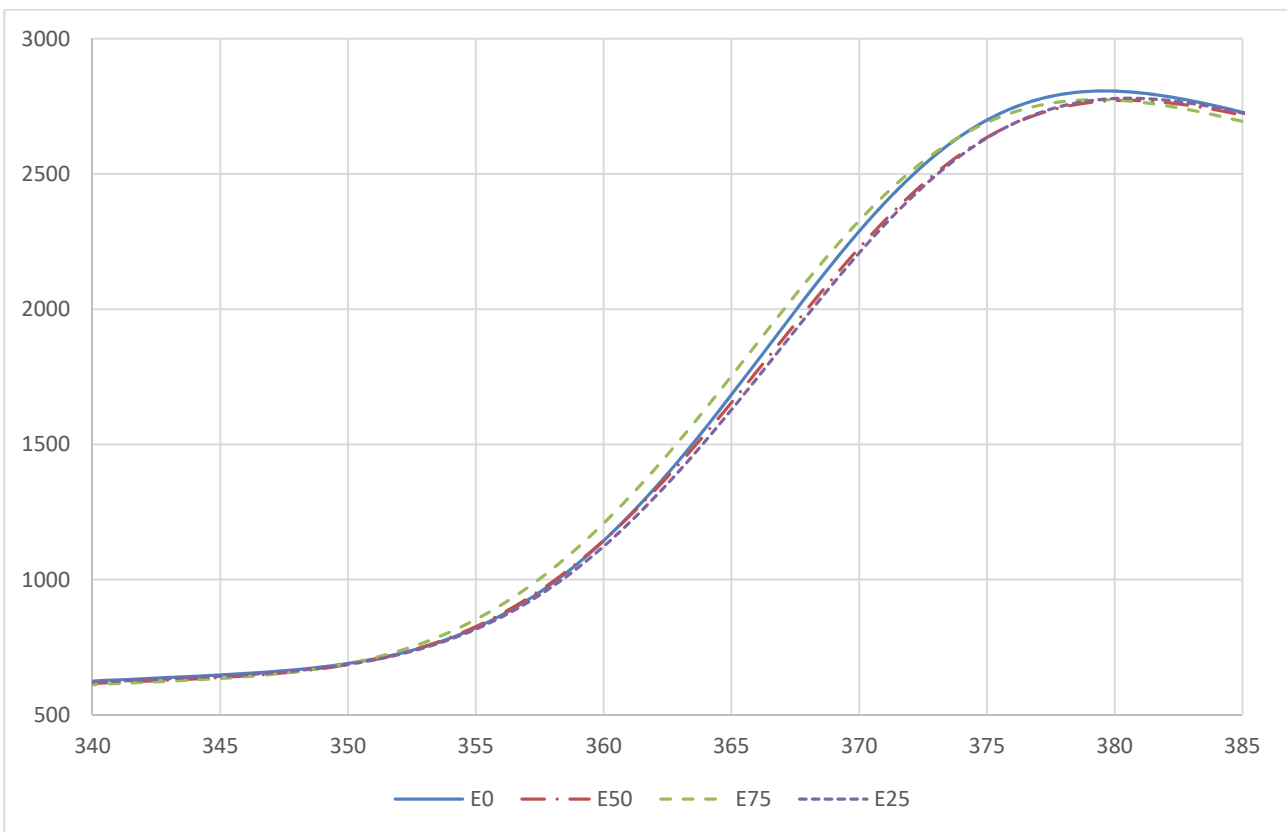


Рисунок 15– Діаграма температури в циліндрі (ділянка згоряння) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 15 – Temperature diagram in the cylinder (combustion area) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

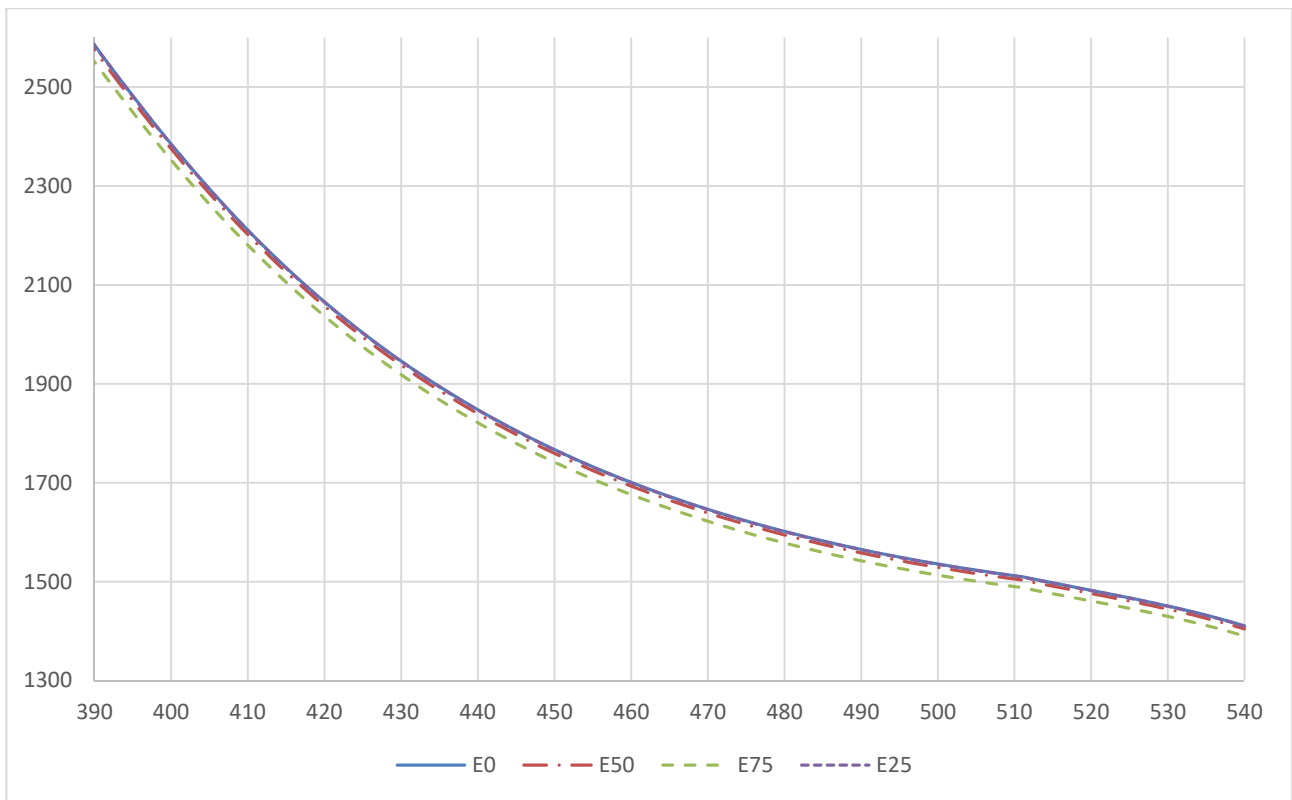


Рисунок 16 – Діаграма температури в циліндрі (ділянка розширення) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 16 – Temperature diagram in the cylinder (expansion section) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

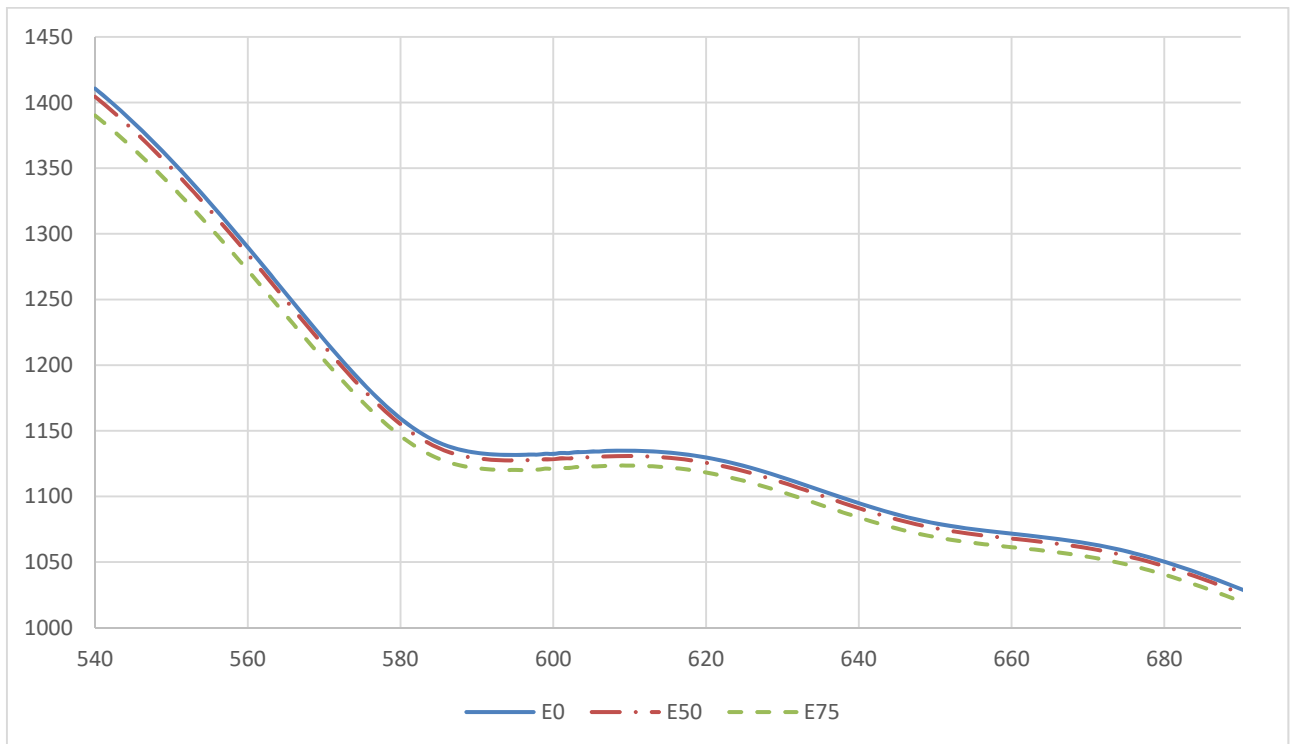


Рисунок 17 – Діаграма температури в циліндрі (ділянка випуску) при $n=2400 \text{ хв}^{-1}$, $P_k=500 \text{ мбар}$
 Figure 17 – Temperature diagram in the cylinder (exhaust section) at $n=2400 \text{ rpm}$, $P_k=500 \text{ mbar}$

Аналіз графічних залежностей від навантаження двигуна (рис. 18, 19), які описують максимальний тиск та максимальну температуру циклу встановлено, що використання палива, що містить етанол, призводить до зменшення максимального тиску та температури циклу у зоні низького та частково середнього навантаження. В зоні середніх навантажень значення максимального тиску практично не відрізняється від виду палива. При цьому, значення максимальної температури при

роботі на E75 близьке до температури на паливі E0, а для палива E50 максимальна температура циклу нижче в середньому на 25 К. В зоні навантажень вище середнього максимальний тиск циклу при роботі на паливах E50 та E75 вище ніж на бензині від 0,1 до 0,5 МПа. При цьому, значення максимальної температури в зоні високих навантажень найвищі для палива E75, а для палив E0 та E50 практично не відрізняються. Таким чином, вплив факторів, описаних вище для окремого режиму, по різному проявляється для різних навантажень двигуна: у режимах малих навантажень цей вплив послаблюється, а в режимах високих навантажень – посилюється.

Наявність етанолу в паливі практично не призводить до зміни значень індикаторного крутного моменту (рис. 20), ефективного крутного моменту (рис. 21), середнього ефективного тиску (рис. 22) та ефективної потужності двигуна (рис. 23).

Годинна витрата повітря (рис. 24) дещо знижується при використанні E50 та E75 порівняно з E0. Це пов'язано з деяким зниженням коефіцієнта наповнення (рис. 25). При цьому, рівень залишкових газів дещо зростає (рис. 26). Зниження наповнення можливо також пов'язана з суттєвим збільшення витрати палив E50 та E75 порівняно з паливом E0 (рис. 27).

Питомі індикаторна (рис. 28) та ефективна (рис. 29) витрати палива також мають пропорційно більші значення для палив E50 та E75 порівняно з паливом E0, що викликано більш низькою теплою згоряння спиртовмісних палив. При цьому, вміст етанолу в паливі призводить до збільшення індикаторного (рис. 30) та ефективного (рис. 31) ККД двигуна. Такий вплив пов'язаний з впливом вмісту етанолу у паливі на склад робочого тіла та залежності тиску і температури в циліндрі, а у випадку палива E75 додатково зі збідненням паливоповітряної суміші.

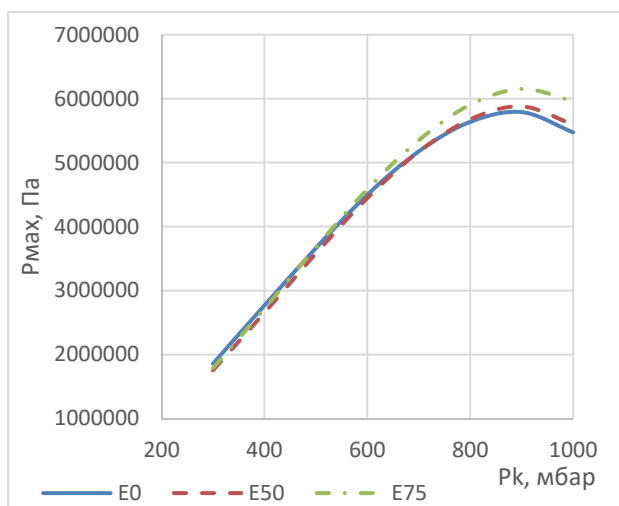


Рисунок 18 – Максимальний тиск в циліндрі при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 18 – The maximum pressure in the cylinder at a rotation frequency of 2400 rpm

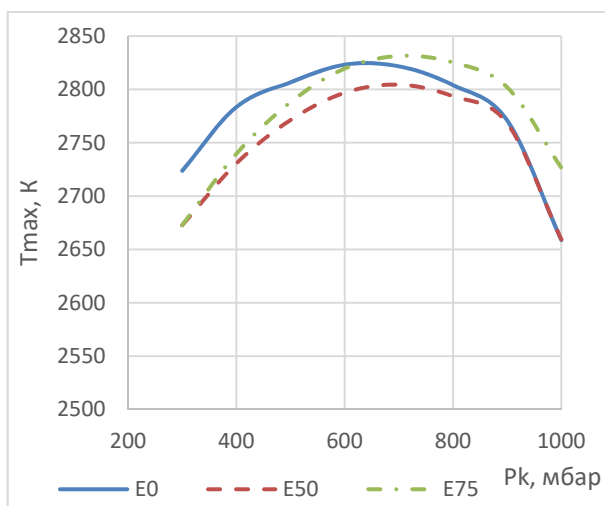


Рисунок 19 – Максимальна температура в циліндрі при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 19 – The maximum temperature in the cylinder at a rotation frequency of 2400 rpm

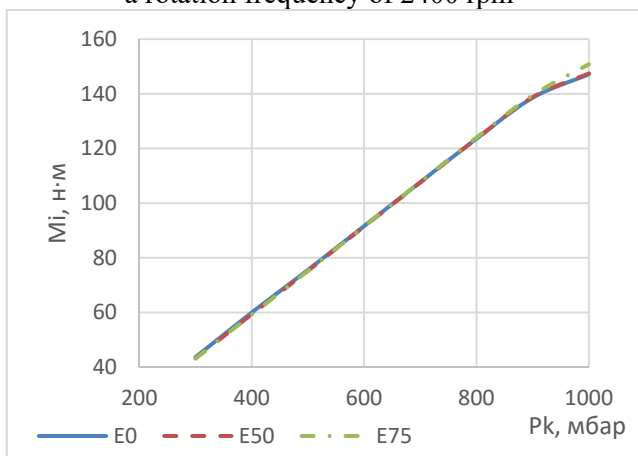


Рисунок 20 – Індикаторний крутний момент при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 20 – Indicated torque at a rotation frequency of 2400 rpm

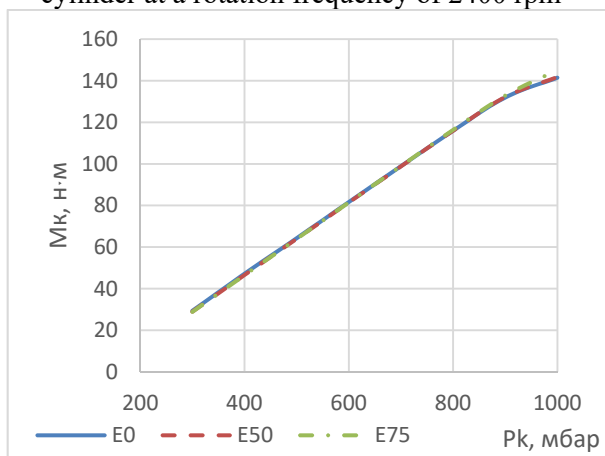


Рисунок 21 – Крутний момент при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 21 – Torque at a rotation frequency of 2400 rpm

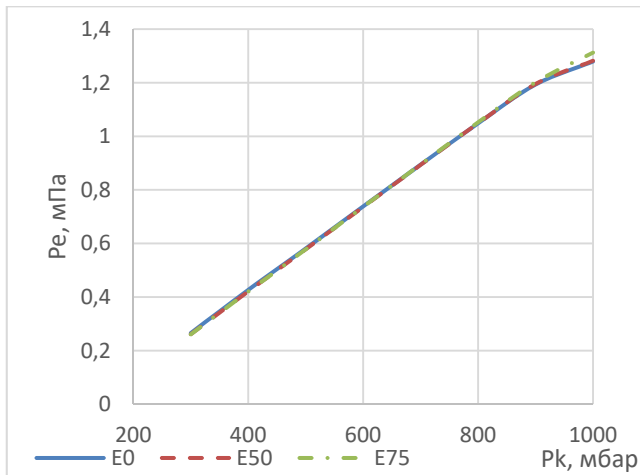


Рисунок 22 – Середній ефективний тиск при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 22 – Effective mean pressure at a rotation frequency of 2400 rpm

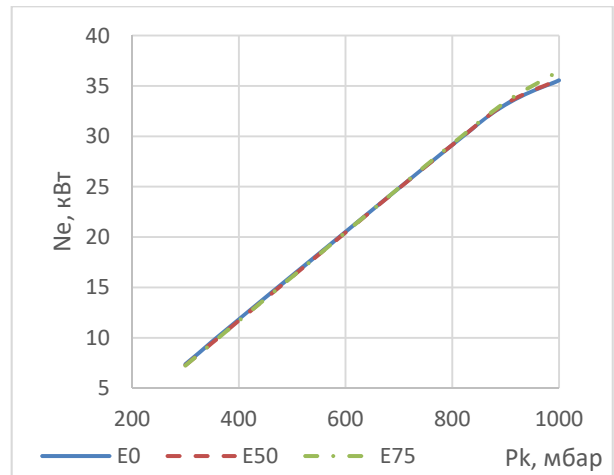


Рисунок 23 – Ефективна потужність при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 23 – Effective power at a rotation frequency of 2400 rpm

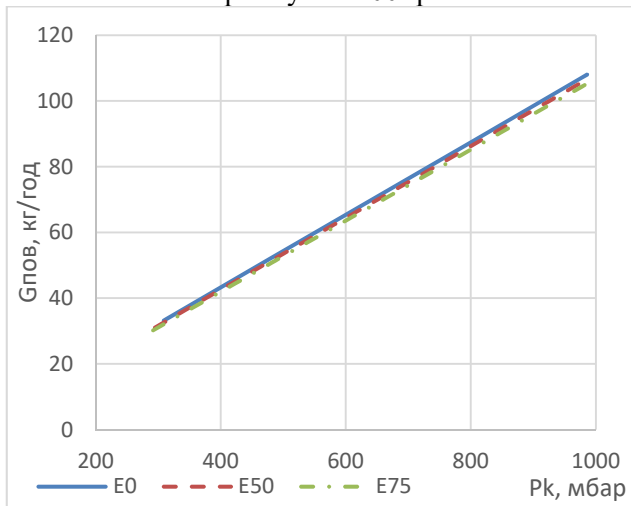


Рисунок 24 – Годинна витрата повітря при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 24 – Hourly air consumption at a rotation frequency of 2400 rpm

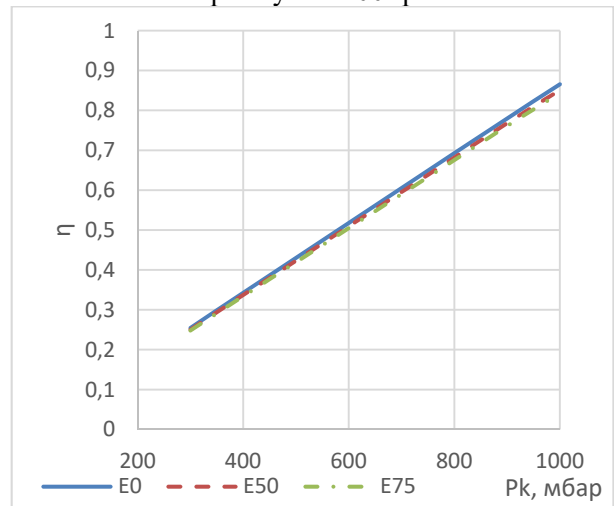


Рисунок 25 – Коефіцієнт наповнення при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 25 – Volumetric efficiency at a rotation frequency of 2400 rpm

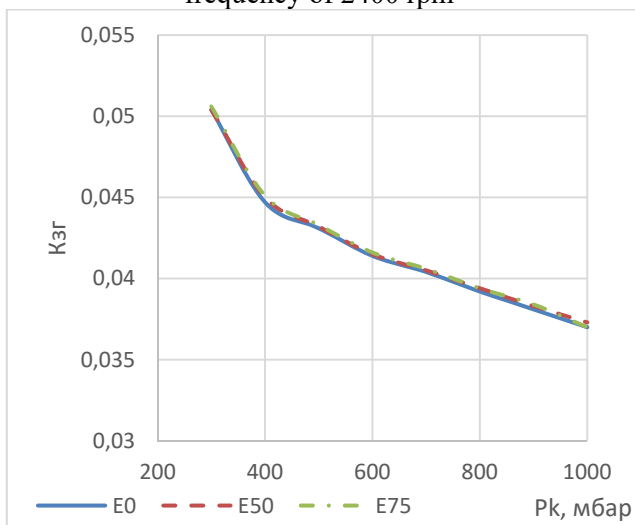


Рисунок 26 – Коефіцієнт залишкових газів при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 26 – Coefficient of residual gases at a rotation frequency of 2400 rpm

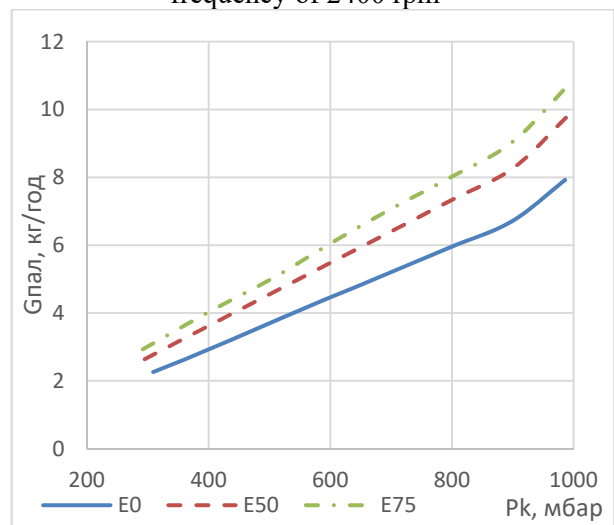


Рисунок 27 – Годинна витрата палива при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 27 – Hourly fuel consumption at a rotation frequency of 2400 rpm

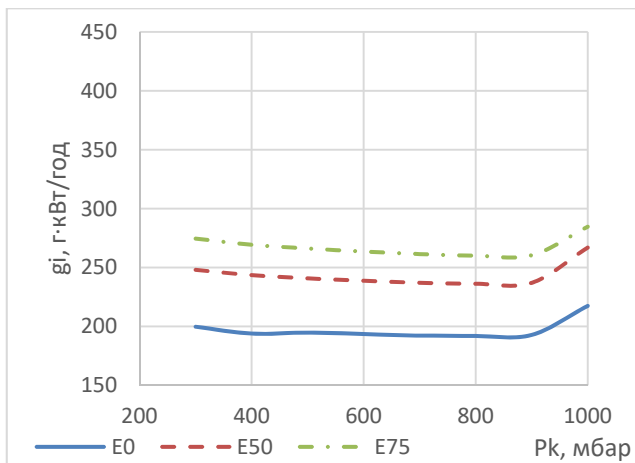


Рисунок 28 – Питома індикаторна витрата палива при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 28 – Indicated specific fuel consumption at a rotation frequency of 2400 rpm

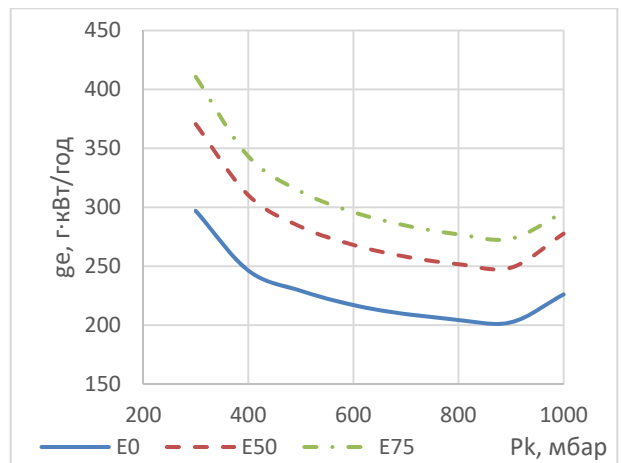


Рисунок 29 – Питома ефективна витрата палива при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 29 – Effective specific fuel consumption at a rotation frequency of 2400 rpm

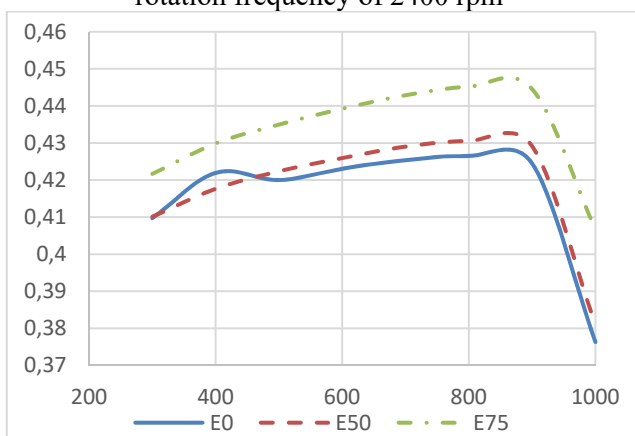


Рисунок 30 – Індикаторний ККД при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 30 – Indicated efficiency at a rotation frequency of 2400 rpm

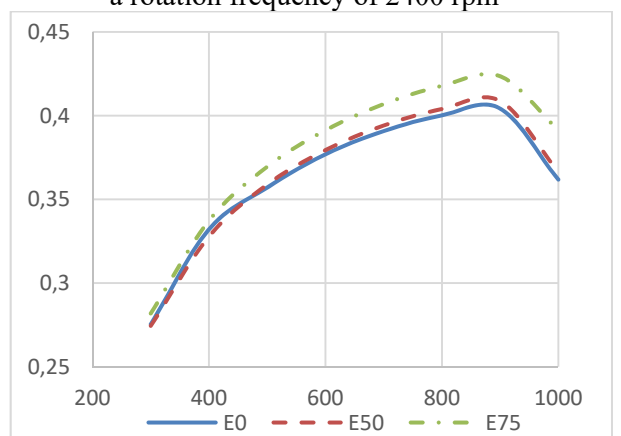


Рисунок 31 – Ефективний ККД при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 31 – Effective efficiency at a rotation frequency of 2400 rpm

Таким чином, отримані залежності індикаторних та ефективних показників двигуна від навантаження для різних видів палив показують, що використання палив з високим вмістом етанолу забезпечує отримання таких же енергетичних показників, що і при живленні бензином, однак, це досягається відмінним від бензину співвідношенням параметрів палива, ККД робочого циклу, коефіцієнтів наповнення та надміру повітря. Отримані залежності дають підстави стверджувати про поліпшення ефективності двигуна при роботі на спиртовмісному паливі при зростанні абсолютної витрати палива.

Як видно з результатів моделювання, концентрації CO у ВГ (рис. 32) до нейтралізатора зменшуються зі збільшенням вмісту етанолу. Концентрації СН (рис. 33) дещо зростають для палива E50, але значно зменшуються для палива E75 порівняно з паливом E0. Концентрації CO₂ (рис. 34) зменшуються при малому навантаженні зі збільшенням вмісту етанолу, та дещо збільшуються при високому та повному навантаженні.

Характер зміни концентрацій CO у ВГ після нейтралізатора (рис. 35) не змінюється: зі збільшенням етанолу в паливі концентрації зменшуються. Концентрація СН у ВГ після нейтралізатора (рис. 36) зростає зі збільшенням вмісту етанолу. Це можна пояснити тим, що при високому вмісті етанолу знижується можливість управління кількістю кисню, накопиченому у нейтралізаторі. Внаслідок цього, пористий шар нейтралізатора перенасичується киснем, який не витрачається звідти, очевидно, блокуючи реакції окислення СН в активному шарі. Концентрації CO₂ після нейтралізатора (рис. 37) мають такий самий характер та близькі значення як і до нейтралізатора.

Порівнюючи концентрації CO та СН до і після нейтралізатора, встановлюємо ефективність нейтралізації цих речовин. Таким чином, ефективність нейтралізації для CO (рис. 38) зростає зі збільшенням вмісту етанолу в паливі, а СН (рис. 39) – зменшується зі збільшенням вмісту етанолу.

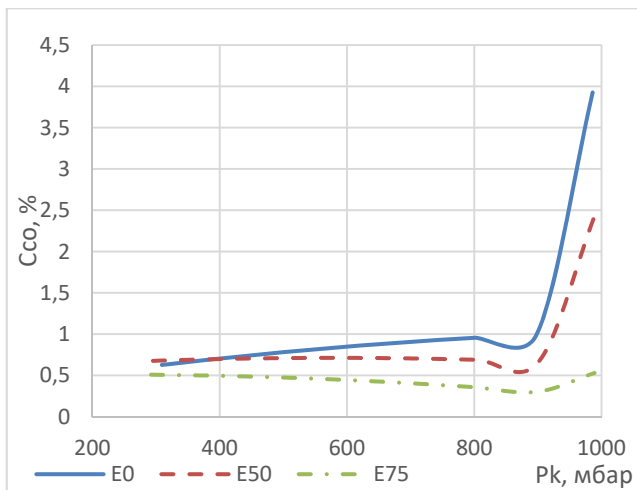


Рисунок 32 – Концентрації CO до нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 32 – CO concentrations to the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

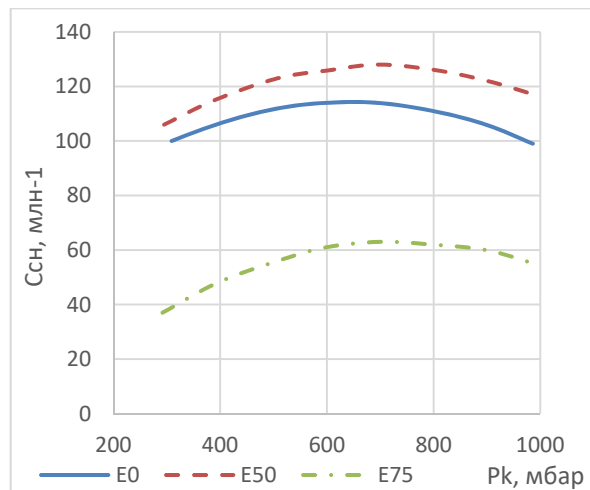


Рисунок 33 – Концентрації CH до нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 33 – CH concentration to the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

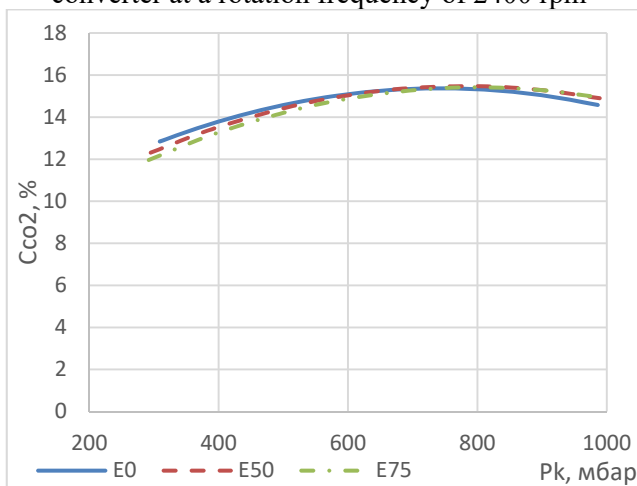


Рисунок 34 – Концентрації CO2 до нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 34 – CO2 concentration to the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

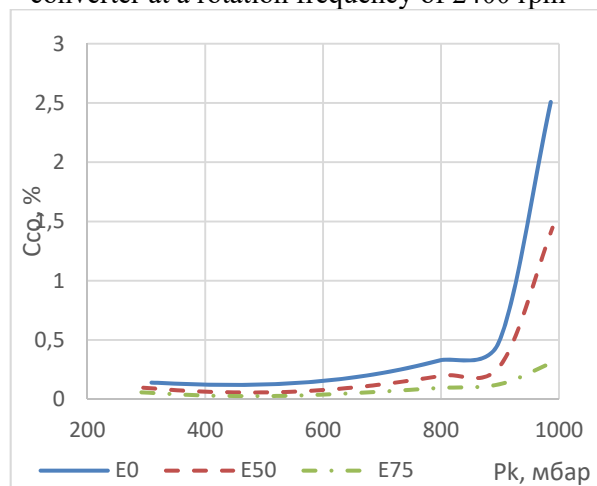


Рисунок 35 – Концентрації CO після нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 35 – CO concentrations after the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

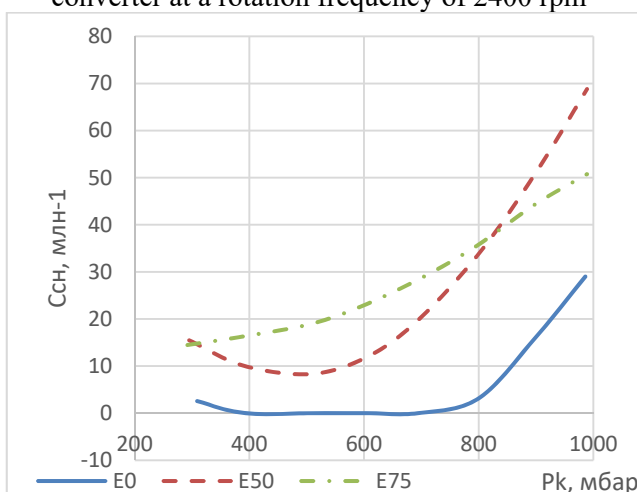


Рисунок 36 – Концентрації CH після нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 36 – CH concentrations after the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

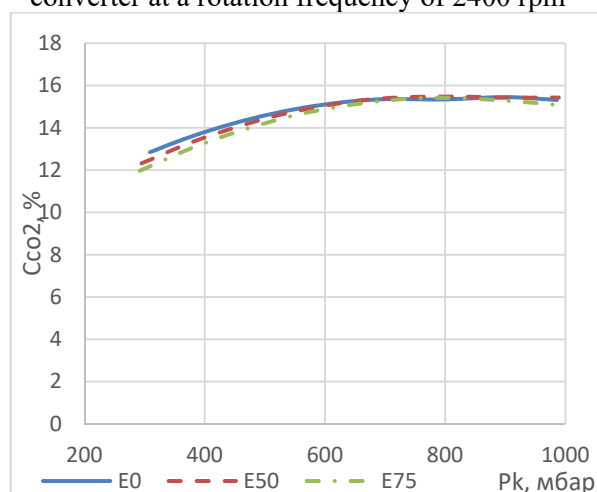


Рисунок 37 – Концентрації CO2 після нейтралізатора при частоті обертання 2400 хв^{-1}
 Figure 37 – CO2 concentrations after the catalytic converter at a rotation frequency of 2400 rpm

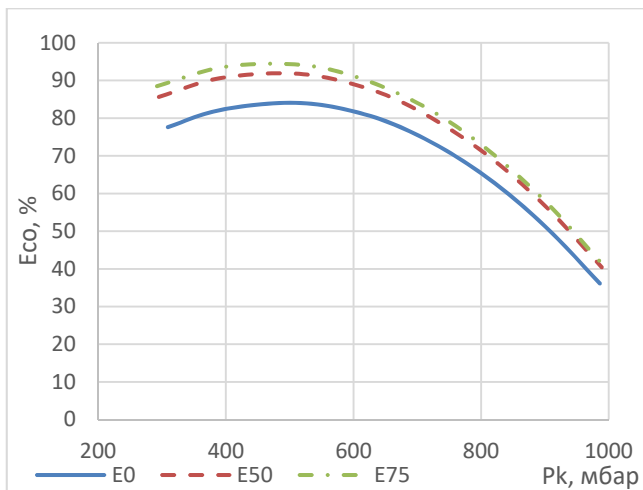


Рисунок 38 – Ефективність нейтралізації CO при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 38 – CO conversion efficiency at a rotation frequency of 2400 rpm

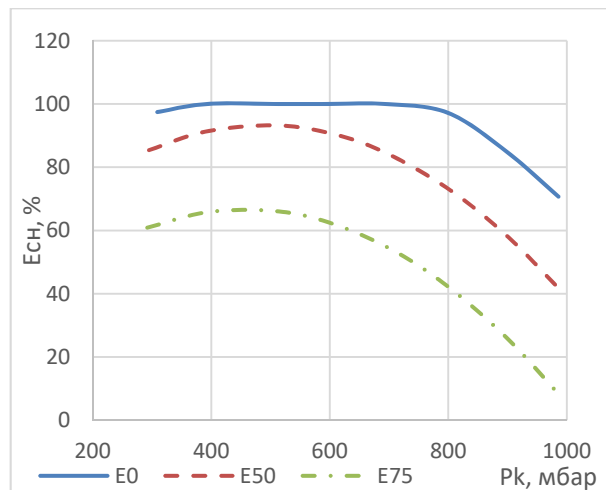


Рисунок 39 – Ефективність нейтралізації CH при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 39 – CH conversion efficiency at a rotation frequency of 2400 rpm

За результатами моделювання витрат палива і повітря двигуна в залежності від частоти обертання та навантаження за роботи на паливах з різним вмістом етанолу та концентрацій шкідливих речовин після нейтралізатора визначено масові викиди цих ШР з ВГ двигуна (рис. 40, 41, 42). За результатами розрахунку масових викидів ШР можна встановити, що при використанні палив з високим вмістом етанолу викиди CO (рис. 40) суттєво знижуються (на 40...80%). При цьому, масові викиди CH (рис. 41) дещо зростають внаслідок погіршення ефективності їхньої нейтралізації. Масові викиди CO₂ (рис. 42) знижуються на 4,5...15% при використанні палив з високим вмістом етанолу.

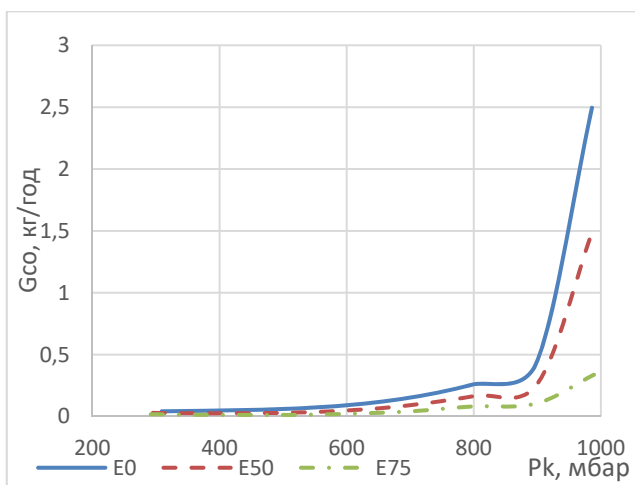


Рисунок 40 – Масові викиди CO при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 40 – CO emissions at a rotation frequency of 2400 rpm

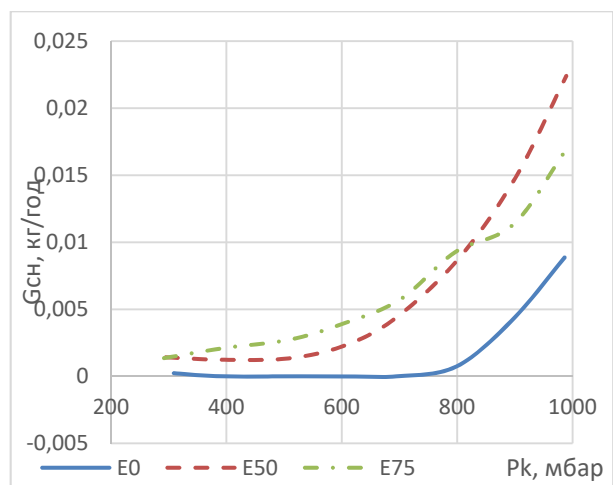


Рисунок 41 – Масові викиди CH при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 41 – CH emissions at a rotation frequency of 2400 rpm

Таким чином, результати порівняння екологічних показників двигуна в залежності від режиму роботи при використанні палив з різним вмістом етанолу показують, що ці показники залежать як від витрати палива, його хімічного складу, наповнення циліндрів, так і від ефективності нейтралізації утворених шкідливих речовин у нейтралізаторі. Ефективність нейтралізації, в свою чергу, залежить від хімічного складу продуктів згоряння, на який впливає вміст етанолу в паливі та можливості системи управління двигуном по регулюванню цього складу. З урахуванням цього, доцільно застосовувати такий вміст етанолу в паливі, який забезпечує можливість управління складом продуктів згоряння з боку системи управління двигуном та забезпечує в результаті достатню ефективність нейтралізації шкідливих речовин.

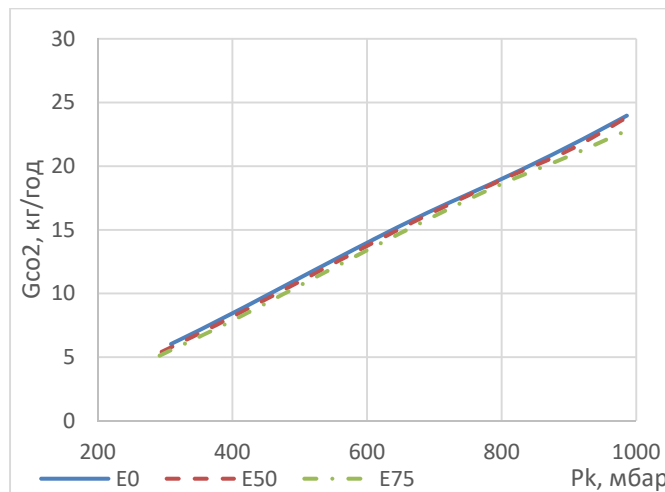


Рисунок 42 – Масові викиди CO₂ при частоті обертання 2400 хв⁻¹
 Figure 42 – CO₂ emissions at a rotation frequency of 2400 rpm

Висновки.

Використання етанолу як добавки до палива чинить вплив на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна. Зокрема, використання палива E50 призводить до певного зниження максимального тиску під час згоряння порівняно з використанням бензину, проте під час використання палива E75 максимальний тиск такий же як і при живленні бензином. Використання палива, що містить етанол, призводить до зменшення максимального тиску та температури циклу у зоні низького та частково середнього навантаження. В зоні середніх навантажень значення максимального тиску практично не відрізняється від виду палива.

Використання палив з високим вмістом етанолу забезпечує отримання таких же енергетичних показників, що і при живленні бензином, однак, це досягається відмінним від бензину співвідношенням параметрів палива, ККД робочого циклу, коефіцієнтів наповнення та надміру повітря. За результатами розрахунку масових викидів ШР можна встановити, що при використанні палив з високим вмістом етанолу викиди CO суттєво знижуються (на 40...80%). При цьому, масові викиди СН дещо зростають внаслідок погіршення ефективності їхньої нейтралізації. Масові викиди CO₂ знижуються на 4,5...15% при використанні палив з високим вмістом етанолу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойченко С. В., Павлюх Л. І., Шкільнюк І. О., Яковлева А. В., Матвеева І. В., Гудзь А. В. Аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів. Наукоємні технології № 2 (42), 2019. С. 195-206.
2. Yakovlieva A., Boichenko S. Energy Efficient Renewable Feedstock for Alternative Motor Fuels Production: Solutions for Ukraine (2020) Studies in Systems, Decision and Control, 298, pp. 247 – 259, DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_16; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-48583-2_16.
3. Цюман М.П., Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г. Дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням під час використання спиртовмісного палива. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2017. Вип. 1 (37). С. 424-433.
4. Tsiuman, M., Yakovlieva, A., Tsiuman, Y., Dobrovolskyi, O. et al., "Evaluation of Ethanol-Containing Fuel Supply Control Efficiency in Spark Ignition Engine," SAE Technical Paper 2021-01-1232, 2021, <https://doi.org/10.4271/2021-01-1232>.
5. Цюман М.П., Сосіда С.В. Експериментальне дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням, що живиться спиртовмісним паливом з високим вмістом етанолу. Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ: ДП «ДержавотрансНДІпроект, 2023. С. 232-237.
6. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.С., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: підручник. К.: Арістей, 2006. 476 с.

7. Матейчик В.П., Цюман М.П. Розрахунок індикаторних показників циклу і характеристик тепловиділення за експериментальними індикаторними діаграмами двигуна внутрішнього згорання. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 32176 Україна. Науковий твір. № 32325; заявл. 24.12.2009; зареєстр. 24.02.2010.

8. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Гришук О.К., Цюман М.П. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навчальний посібник. К.: НТУ, 2014. 168 с.

REFERENCES

1. Boichenko, S.V., Pavliukh, L.I., Shkilniuk, I.O., Yakovlieva, A.V., Matvieieva, I.V., and Hudz, A.V. (2019). Analiz ekolohichnykh vlastyvostei komponentiv tradytsiinykh i alternatyvnykh aviatsiinykh benzyniv [Analysis of Ecological Properties of Traditional and Alternative Aviation Gas Components]. Naukoiemni tekhnolohii – Science-Based Technologies, 42(2). p.p. 195-206 [in Ukrainian].

2. Yakovlieva A., Boichenko S. (2020). Energy Efficient Renewable Feedstock for Alternative Motor Fuels Production: Solutions for Ukraine Studies in Systems, Decision and Control, 298, p.p. 247 – 259, DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_16; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-48583-2_16 [in English].

3. Tsiuman M.P., Shevchuk I.O., Artemenko R.V., Borysko S.H. (2017). Doslidzhennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv dvyhuna z iskrovym zapaliuvanniam pid chas vykorystannia spyrtovmisnogo palyva [The research of spark ignition engine fuel economy and environmental performance with using the fuel containing ethanol]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Serii «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichniy zbirnyk – Bulletin of the National Transport University. Technical sciences series. Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University, 1(37). p.p. 424-433 [in Ukrainian].

4. Tsiuman, M., Yakovlieva, A., Tsiuman, Y., Dobrovolskyi, O. et al., (2021). "Evaluation of Ethanol-Containing Fuel Supply Control Efficiency in Spark Ignition Engine," SAE Technical Paper 2021-01-1232, <https://doi.org/10.4271/2021-01-1232> [in English].

5. Tsiuman M.P., Sosida S.V. (2023). Eksperymentalne doslidzhennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv dvyhuna z iskrovym zapaliuvanniam, shcho zhyvytsia spyrtovmisnym palyvom z vysokym vmistom etanolu [Experimental study of fuel efficiency and environmental performance of a spark-ignition engine fueled by alcohol-containing fuel with a high ethanol content]. Perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu ta infrastruktury: zbirka tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Prospects for the development of road transport and infrastructure: a collection of abstracts of reports of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference. Kyiv: State Enterprise «State Road Transport Research Institute». p.p. 232-237 [in Ukrainian].

6. Abramchuk F.I., Gutarevych Y.F., Dolganov K.Y., Tymchenko I.I. (2006). Avtomobilni dvyhuny: pidruchnyk [Automobile engines: textbook]. Kyiv. Aristei. 476 p. [in Ukrainian].

7. Mateychyk V.P., Tsiuman M.P. (2010). Rozrakhunok indykatornykh pokaznykiv tsykladu i kharakterystyk teplovydillennia za eksperymentalnyimi indykatornymi diahramamy dvyhuna vnutrishnoho zhoriannia [Calculation of indicator indicators of the cycle and characteristics of heat release according to experimental indicator diagrams of the internal combustion engine]. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir – Certificate of copyright registration for the work № 32176 Ukraine. Scientific work. [in Ukrainian].

8. Dmytrychenko M.F., Mateychyk V.P., Hryshchuk O.K., Tsiuman M.P. (2014). Metody systemnoho analizu vlastyvostei avtomobilnoi tekhniky: navchalnyi posibnyk [Methods of system analysis of the automotive vehicles performance: textbook]. Kyiv. National Transport University. 168 p. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Сосіда С.В. Дослідження впливу використання палива на основі етанолу на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна / С.В. Сосіда, М.П. Цюман // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал – К.: НТУ, 2023. – Вип. 57.

У статті досліджено вплив палив, що містять добавку етанолу на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна.

Об'єкт дослідження – вплив добавки етанолу на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна.

Мета дослідження – оцінка впливу вмісту етанолу в паливі на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна з іскровим запалюванням та каталітичною нейтралізацією відпрацьованих газів.

Методи дослідження – експериментальні методи та математичне моделювання.

Наведені результати опрацювання індикаторних діаграм двигуна при використанні спиртовмісних добавок до палива та вплив палива з різним вмістом етанолу на індикаторні показники, енергоефективність та екологічність автомобільного двигуна. Показано, що використовуючи спиртовмісний бензин можна досягти поліпшення ефективності двигуна при зростанні абсолютної витрати палива, а також досягається покращення екологічних показників.

Зокрема, використання палива E50 призводить до певного зниження максимального тиску під час згоряння порівняно з використанням бензину, проте під час використання палива E75 максимальний тиск такий же як і при живленні бензином. Використання палива, що містить етанол, призводить до зменшення максимального тиску та температури циклу у зоні низького та частково середнього навантаження. В зоні середніх навантажень значення максимального тиску практично не відрізняється від виду палива.

Використання палив з високим вмістом етанолу забезпечує отримання таких же енергетичних показників, що і при живленні бензином, однак, це досягається відмінним від бензину співвідношенням параметрів палива, ККД робочого циклу, коефіцієнтів наповнення та надміру повітря. За результатами розрахунку масових викидів ШПР можна встановити, що при використанні палив з високим вмістом етанолу викиди CO суттєво знижуються (на 40...80%). При цьому, масові викиди CH дещо зростають внаслідок погіршення ефективності їхньої нейтралізації. Масові викиди CO₂ знижуються на 4,5...15% при використанні палив з високим вмістом етанолу.

Отримані результати можуть бути корисними при аналізі ефективності експлуатації транспортних засобів під час їхнього живлення спиртовмісними паливами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ЕТАНОЛ, ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МАСОВІ ВИКИДИ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН.

ABSTRACT

Sosida S.V., Tsiuman M.P. Study of the impact of using ethanol-based fuel on indicated performance, energy efficiency and environmental friendliness of the automobile engine. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal.* – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 57.

The article examines the influence of fuels containing ethanol additive on indicated performance, energy efficiency and environmental friendliness of the automobile engine.

The object of the study is the effect of ethanol additive on the indicated performance, energy efficiency and environmental friendliness of the automobile engine.

The purpose of the research is to assess the influence of the ethanol content in the fuel on the indicated performance, energy efficiency and environmental friendliness of a spark ignition automobile engine with exhaust gas catalytic conversion.

Research methods are experimental methods and mathematical modeling.

The results of processing engine indicated diagrams when using alcohol-containing fuel additives and the influence of fuel with different ethanol content on indicated performance, energy efficiency and environmental friendliness of the automobile engine are given. It is shown that using alcohol-containing gasoline can improve engine efficiency with an increase in absolute fuel consumption, as well as improve environmental performance.

In particular, the use of E50 fuel leads to a certain decrease in the maximum pressure during combustion compared to the use of gasoline, however, when using E75 fuel, the maximum pressure is the same as when using gasoline. The use of fuel containing ethanol leads to a decrease in the maximum pressure and temperature of the cycle in the zone of low and partially medium load. In the zone of medium loads, the value of the maximum pressure practically does not differ from the type of fuel.

The use of fuels with high ethanol content provides the same energy performance as when fueled with gasoline, however, this is achieved by a ratio of fuel parameters, efficiency of the work cycle, volumetric

efficiency and air excess coefficients that is different from gasoline. According to the results of the calculation of the harmful emissions, it can be established that when using fuels with a high ethanol content, CO emissions are significantly reduced (by 40...80%). At the same time, the CH emissions are slightly increasing as a result of the deterioration of their conversion efficiency. CO₂ emissions are reduced by 4.5...15% when using fuels with a high ethanol content.

The obtained results can be useful in the analysis of the efficiency of operation of vehicles during their fueling with alcohol-containing fuels.

KEY WORDS: SPARK IGNITION ENGINE, ETHANOL, INDICATED PERFORMANCE, ENERGY EFFICIENCY, HARMFUL EMISSIONS.

АВТОРИ:

Сосіда Сергій Володимирович, ДП «ДержавтотрансНДПроект», інженер II категорії, e-mail: serhiy.sosida@gmail.com, тел. +380970024713, Україна, 03113, м. Київ, проспект Берестейський, 57, orcid.org/0000-0003-3747-5643.

Цюман Микола Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, в.о. завідувача кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: tsumanmp@ntu.edu.ua, тел. +380977177479, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0003-2537-8010.

AUTHORS:

Sosida Serhii V., State Enterprise «State Road Transport Research Institute», II category engineer, e-mail: serhiy.sosida@gmail.com, ph. num. +380970024713, Ukraine, 03113, Kyiv, Beresteiskyi avenue 57, orcid.org/0000-0003-3747-5643.

Tsiuman Mykola P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Acting head of the Department of Engines and Heat Engineering, e-mail:tsumanmp@ntu.edu.ua, ph. num. +380977177479, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, orcid.org/0000-0003-2537-8010.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бойченко С.В., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів, Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Automation of Electrotechnical and Mechatronic Complexes, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.