

ПЕРСПЕКТИВНІ ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

УДК 621.434:531.43

DOI: 10.30977/АТ.2219-8342.2019.45.0.5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ
У МІКРОЛІТРАЖНОМУ ЧОТИРИТАКТНОМУ ДВИГУНІАбрамчук Ф. І.¹, Кузьменко А. П.¹¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено результати експериментального дослідження механічних втрат мікролітражного чотиритактного двигуна HONDA GX25 методом прокручування електро-двигуном постійного струму ЕД-25. Наведено методику експериментального дослідження та описання моторного стенда. Запропоновано емпіричну залежність для визначення середнього тиску механічних втрат.

Ключові слова: мікролітражний двигун, механічні втрати, чотиритактний двигун, експериментальне дослідження.

Вступ

У засобах малої механізації сьогодні використовуються як двотактні, так і чотиритактні двигуни внутрішнього згоряння. Перевагами двотактних двигунів є мала питома маса, але стосовно економічності і викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, то чотиритактні двигуни мають тут значні переваги. З цієї причини багато команд, що беруть участь у змаганнях на паливну економічність Shell «Eco-marathon», використовують чотиритактні двигуни фірми HONDA GX 25 і GX 35, розроблені для засобів малої механізації. При використанні двигунів фірми HONDA в перегонах Shell «Eco-marathon» важливо знати механічні втрати таких двигунів для пошуку шляхів їх зменшення.

Аналіз публікацій

Двигуни малої механізації з робочим об'ємом менше 250 см³ виготовляються одноциліндровими і, як відомо, в таких двигунах механічні втрати, що складаються з втрат на тертя, гідравлічних втрат і втрат на привід допоміжних механізмів, приходяться на один циліндр.

У роботі [1] наведено детальний аналіз механічних втрат різних двигунів внутрішнього згоряння. Відзначено, що механічні втрати бензинових і дизельних двигунів на номінальному режимі становлять 15–25 % від індикаторної потужності. Це означає, що зменшення механічних втрат дає змогу не тільки економити паливо, але й

зменшити зношування основних деталей кривошипно-шатунного механізму.

У цій же роботі [1] наведені стандартні і нестандартні моторні методи випробувань для визначення механічних втрат, також похибки при використанні моторних методів випробувань. Однак, що стосується мікролітражних двигунів, таких даних немає.

У роботі [2] автор всі методи визначення механічних втрат ділить на прямі і непрямі. До прямих методів визначення механічних втрат автор [2] відносить: метод обертання колінчастого вала стороннім джерелом енергії, виключення окремих циліндрів і вибігом двигуна з певного режиму його роботи. До непрямого методу відноситься метод, що визначається різницею між індикаторною і ефективною потужністю. Порад стосовно застосування методів при випробуваннях для визначення механічних втрат у кожному конкретному випадку в роботі немає.

Автор дослідження [3] наводить статистичні дані про механічні втрати різних двигунів внутрішнього згоряння – від автомобільних бензинових двигунів до тепловозних дизелів. Видно, що при зростанні розмірів двигуна середній тиск механічних втрат значно зростає. Так, для двигуна ВА3-2103 при частоті обертання 1000 хв⁻¹ середній тиск механічних втрат дорівнює 0,11 МПа, то для тепловозного дизеля Д70 він дорівнює 0,23 МПа. Статистичні дані для малолітражних і мікролітражних двигунів відсутні.

Використовуючи навантажувальні характеристики, можна безпосередньо оцінити рівень механічних втрат для зони середніх навантажень. Автори [4] продемонстрували цей метод для автомобільних двигунів УМЗ-412Е та ЯМЗ-238.

Похибка визначення середнього тиску механічних втрат, використовуючи цей метод, може перевищити 10 %. Якщо результати досліджень перекласти на мікролітражний двигун, похибка буде значно більшою.

Багатофакторне дослідження впливу режимних і конструктивних факторів на механічні втрати виконано в роботах [5, 6]. Запропоновано аналітичну модель відносної зміни механічних втрат, що дає можливість визначити індикаторні і ефективні показники за параметрами, визначеними у результаті випробувань.

Багатофакторну модель отримано на основі розрахунково-експериментальних досліджень для дизелів 6ЧН 13/11,5 і тому автори [5, 6] пропонують для такого ж класу двигунів. Застосування такої моделі для бензинового мікролітражного двигуна дає великі похибки.

Роботи [7–9] присвячені експериментальному дослідженню малолітражних чотиритактних бензинових двигунів, які застосовуються для засобів малої механізації, а також мотоциклів. Тут наведено ефективні показники, викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами, а також механічні втрати. Однак всі ці дані відносяться до малолітражних двигунів і розповсюдити їх на мікролітражні двигуни неможливо.

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна вважати, що на сьогодні в літературі відсутні матеріали стосовно механічних втрат мікролітражних двигунів.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є визначення механічних втрат мікролітражного чотиритактного двигуна методом прокручування від електродвигуна. Для досягнення сформульованої мети поставлені такі задачі:

- розробити методику експериментального дослідження механічних втрат мікролітражного двигуна;
- провести експериментальне дослідження механічних втрат мікролітражного двигуна HONDA GX25 методом прокручування від електродвигуна;
- проаналізувати та узагальнити одержані результати.

Стенд ті методика проведення дослідження

Бензиновий двигун із примусовим запалюванням HONDA GX25 широко використовується для приводу pomp як силова установка культиватора або косарки. Технічна характеристика двигуна приведена в табл. 1 [11].

Двигун HONDA GX25 має моноблочну конструкцію разом з картером, одну свічку запалювання, верхнє розташування клапанів, які приводяться в дію через важелі за допомогою розподільного вала з верхнім розташуванням. Розподільний вал приводиться в дію зубчастим пасом від колінчастого вала. Сам двигун встановлено на опори, що закріплені на станині.

Таблиця 1 – Технічна характеристика двигуна HONDA GX25

Параметри	Позначення	Значення
Діаметр циліндра, мм	D	26
Хід поршня, мм	S	35
Кількість циліндрів	i	1
Ступінь стиснення	ϵ	8
Номінальна потужність, кВт	N_e	0,81 при 7000 хв ⁻¹
Витрата палива, г/(кВт*год)	g_e	340
Максимальний крутний момент, Нм	$M_{крmax}$	1,25 при 5000 хв ⁻¹
Система охолодження		повітряна
Система сумішоутворення		карбюратор
Габарити Д/Ш/В, мм		192/221/230
Вага, кг		2,78

Для визначення механічних втрат методом прокручування від стороннього джерела потрібно визначити потужність цього джерела. У випадку, коли в якості джерела є електродвигун, можливо декілька варіантів визначення потужності, що витрачається на прокручування колінчастого вала ДВЗ:

- 1) визначення електричної потужності;
- 2) визначення механічної потужності.

В даній роботі було проведено експериментальне дослідження цих двох варіантів.

При експериментальному визначенні механічних втрат методом прокручування від стороннього джерела енергії необхідно визначити його потужність.

В даному дослідженні в якості джерела енергії був застосований електродвигун постійного струму ЕД-25, технічна характеристика якого наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Технічна характеристика електродвигуна ЕД-25

Параметри	Позначення	Значення
Максимальна потужність, Вт	P	600
Різниця потенціалів джерела струму, В	U	27
Максимальна частота обертання, хв ⁻¹	n	10000
Максимальна величина струму, А	I	40
Напрямок обертання		лівий

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна постійного струму дорівнює

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

де $P_1 = U \cdot I$ – електрична потужність двигуна, Вт; U – напруга джерела струму, В; I – величина струму, А; P_2 – механічна потужність на валу електродвигуна, яка дорівнює потужності механічних втрат N_m .

Для визначення потужності механічних втрат N_m двигуна можливі два варіанти:

1. Вимірювати струм I та напругу U , після чого розраховувати електричну потужність $P_1 = U \cdot I$. Механічні втрати при цьому дорівнюватимуть:

$$N_m = P_1 \cdot \eta.$$

2. Визначати механічну потужність на валу електродвигуна:

$$P_2 = M_{кр} \cdot \omega,$$

де $M_{кр} = P \cdot L_p$ – крутний момент, що прикладений до електродвигуна; ω – кутова швидкість вала.

В першому випадку ДВЗ через муфту з'єднувався з електродвигуном типу ЕД-25, статор якого також закріплено на станині через жорсткі опори, рис. 1.

При цьому живлення електродвигуна відбувалося від свинцево-кислотного акумулятора. Для регулювання обертів ротора електродвигуна використовувався тиристорний регулятор напруги в межах 0 – 30 В.

Потужність, що розвиває електродвигун, визначалася за допомогою електронного ватметра UAN 11578, вхід якого був з'єднаний з регулятором обертів, а вихід – з електродвигуном.

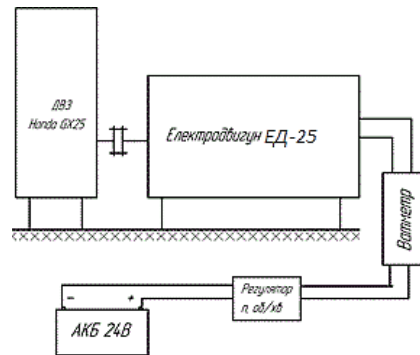


Рис. 1. Схема експериментального станда при жорсткому закріпленні електродвигуна

У другому випадку потужність механічних втрат визначалася механічним методом. Для цього статор електродвигуна ЕД-25 було встановлено в підшипник кочення – це дає змогу йому вільно обертатися (качатися) навколо своєї осі (рис. 2).

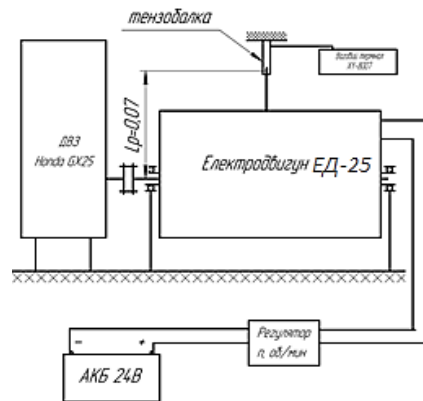


Рис. 2. Схема експериментального станда з встановленням статора електродвигуна ЕД-25 в підшипниках кочення

До статора жорстко прикріплювалися балки довжиною $L_p = 0,07$ м. Під час експерименту частота обертання ротора змінювалася за допомогою тиристорного регулятора, але, на відміну від першого випадку, тепер статор повертався в бік протилежний напрямку обертання колінчастого вала. На заваді цьому ставала тензобалка вагового пристрою, що була жорстко закріплена на станині, та в яку упиралася балка, закріплена на статорі. За допомогою тензобалки та вагового терміналу ХУ-8007 визначалася сила моменту опору, яка дорівнює силі, що потрібно витратити на прокручування колінчастого вала двигуна. А це, в свою чергу, дозволяло визначати механічні показники двигуна на різних частотних режимах. Температурний стан двигуна підтримувався за допомогою обдування повітрям з підвище-

ною температурою, а контролювався чотирма термопарами, які були встановлені на ребрах циліндра.

Результати дослідження

У першій частині дослідження, коли статор електродвигуна ЕД-25 був жорстко закріплений на плиті, за допомогою тиристорного регулятора напруги змінювалась частота обертання електричного двигуна ЕД-25, а його потужність вимірювалась ватметром. Далі, враховуючи коефіцієнт корисної дії двигуна ЕД-25 (рис. 3), визначались потужність механічних втрат [12].

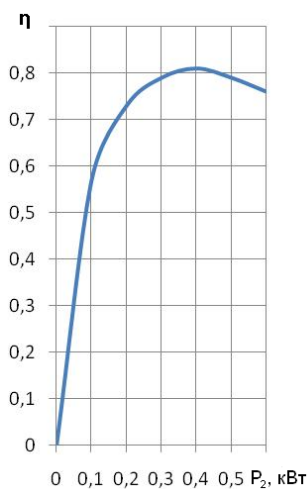


Рис. 3. Залежність коефіцієнта корисної дії електродвигуна ЕД-25 від навантаження

Обробка результатів експериментального дослідження механічних втрат показала, що залежність $N_{м.в.}$ від частоти обертання колінчастого вала добре описується лінійною залежністю.

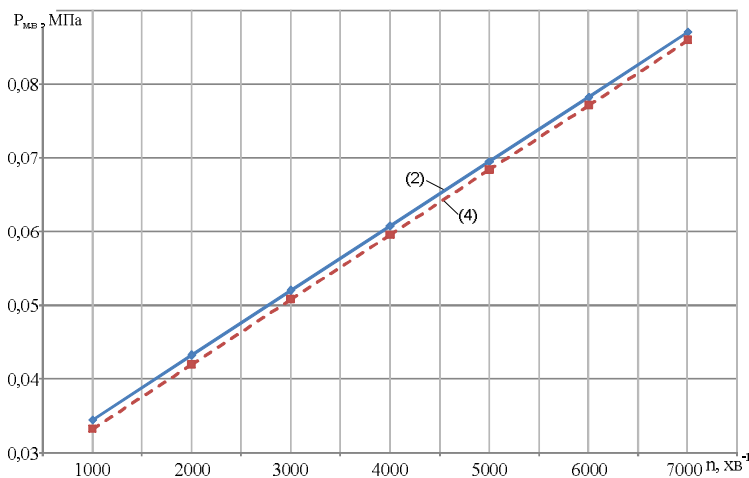


Рис. 4. Залежності середніх тисків механічних втрат від частоти обертання колінчастого вала при вимірюванні потужності електродвигуна (2) та вимірюванні механічної потужності (4)

Після статистичної обробки результатів вимірювань одержана така залежність:

$$N_{м.в.} = -25,6 + 0,0218 \cdot n, \quad (1)$$

де $N_{м.в.}$ – потужність механічних втрат, Вт;
 n – частота обертання колінчастого вала при номінальній потужності, хв⁻¹.

Середній тиск механічних втрат можна подати такою залежністю:

$$P_{м.в.} = 0,0257 + 0,0613 \frac{n}{n_n}, \quad (2)$$

де $P_{м.в.}$ – середній тиск механічних втрат, МПа; n_n – частота обертання к.в при номінальній потужності (7000 хв⁻¹).

У другій частині дослідження, коли статор електродвигуна ЕД-25 встановлювався на підшипники кочення, при різних частотах обертання колінчастого вала за допомогою вагового терміналу визначалась сила, що діє на тензобалку, далі розраховувався момент і потужність механічних втрат.

Обробка результатів експерименту дозволила одержати таке рівняння потужності механічних втрат:

$$N_{м.в.} = -25,625 + 0,02156 \cdot n, \quad (3)$$

Після розрахунку середнього тиску з рівняння (3) маємо таку залежність:

$$P_{м.в.} = 0,02442 + 0,0615 \frac{n}{n_n}. \quad (4)$$

На рис. 4 наведено графіки залежностей (2) і (4).

Видно, що одержані результати механічних втрат, визначені двома способами, відрізняються між собою не більше ніж на 1,5 %.

На номінальному режимі, при частоті обертання $n = 7000 \text{ хв}^{-1}$, $N_{\text{м.в}} = 0,1253 \text{ кВт}$, $P_{\text{м.в}} = 0,08592 \text{ МПа}$, $\eta_{\text{м}} = 0,866$. Одержані результати дослідження та паспортні дані двигуна HONDA GX25 дозволили визначити індикаторні та ефективні показники (табл. 3).

Таблиця 3 – Індикаторні та ефективні показники двигуна HONDA GX25 на номінальному режимі

Показник	Позначення	Значення
Індикаторна потужність, кВт	N_i	0,9353
Середній індикаторний тиск, МПа	P_i	0,6413
Індикаторний ККД	η_i	0,279
Середня індикаторна витрата палива, г/(кВт·год)	g_i	293
Ефективна потужність, кВт	N_e	0,81
Середній ефективний тиск, МПа	P_e	0,5554
Ефективний ККД	η_e	0,24
Середня ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	g_e	340

Обговорення результатів дослідження

Метод прокручування колінчастого вала двигуна від стороннього джерела енергії характеризується простотою організації і проведення вимірювання під час експерименту. Наведені результати експериментальних досліджень показали співпадіння механічних втрат, одержаних двома способами закріплення електродвигуна ЕД-25 з точністю до 1,5%.

Але все-таки більш достовірним методом визначення механічних втрат за його характеристиками є метод співставлення індикаторної та ефективної потужностей. Цей метод більш складний, бо потребує зняття індикаторних діаграм та їх обробки. Крім цього, визначаються ефективні показники двигуна при роботі на експлуатаційних режимах.

Висновки

1. Розроблено та реалізовано методику визначення механічних втрат мікролітражного двигуна HONDA GX25 методом прокручування колінчастого вала електродвигуном постійного струму ЕД-25.

2. Експериментальне дослідження механічних втрат методом прокручування колінчастого вала двома способами закріплення електродвигуна ЕД-25 показало співпадіння результатів з точністю 1,5 %.

Статистична обробка результатів експериментального дослідження дозволила одержати емпіричні залежності потужності і середнього тиску механічних втрат для двигуна HONDA GX25.

Література

1. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета, испытаний: учеб. пособие. М., МГТУ им. Н. Баумана, 2011. – 288 с.
2. Стефановский Б.С., Доколин Ю.М., Сорокин В.П., Васильев В.А., Корси Е.К., Скобцов Е.А. Испытания двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
3. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
4. Сериков Е.Н. Белик С.Ю., Дьяченко В.Г. Метод оценки индикаторных показателей двигателей внутреннего сгорания. *Научно-технический журнал. Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ „ХПИ“* 2009, № 1, С. 19–24.
5. Парсаданов И.В. Белик С.Ю. Многофакторный анализ потерь на трение в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом. *Научно-технический журнал. Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ „ХПИ“* 2005, № 1. С. 106–110.
6. Парсаданов И.В. Белик С.Ю. Многофакторный анализ механических потерь в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом. *Научно-технический журнал. Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ „ХПИ“*, 2008, № 1. С. 34–37.
7. Peterka B., Pexa M., Čedík J., Mader D., Kotek M. Comparison of exhaust emissions and fuel consumption of small combustion engine of portable generator operated on petrol and biobutanol. *Agromony Research* 2017 Vol. 15 (SI) pp.1162–1169
8. Khalaf I.H., Rahman M.M. An experimental study for performance and emissions of a small four-stroke SI engine for modern motorcycle. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2014. Vol.10. pp 1852-1865. DOI:http://dx.doi.org/10.15282/ijame.10.2014.3.0 154

9. GradinZ .Mechanical losses and the principle of friction in IC engines. Vojnotehnicki Glasnik. Beograd. 2003. №1 pp. 29-44
10. Дьяченко Н. Х. и др. Быстроходные поршневые двигатели внутреннего сгорания. Под ред. д-ра техн. наук проф. Н. Х. Дьяченко. М.: Машгиз, 1962. – 359с.
11. Электродвигатель ЭД-25,ЭД-25Б URL: <https://alarno.com.ua/p697422036-elektrodvigatel-25ed-25b.html> (дата звернення: 20.06.2019).
12. Потери мощности и КПД URL: http://www.ets.ifmo.ru/usolzev/SEITEN/u2/gS/4_8.htm (дата звернення: 15.06.2019).

References

1. Putintsev S. V. Mechanical losses in piston engines: special chapters of design, calculation, testing. Textbook: M., MGTU. N. Bauman, 2011. - 288 p.
2. Stefanovsky B. S., Dokolin Yu. M., Sorokin V. P., Vasiliev V. A., korsi E. K., Skobtsov E. A. Tests of internal combustion engines. Moscow: Mashinostroenie, 1972. - 368 p.
3. Dyachenko V. G. Theory of internal combustion engines. H. hnadu, 2009-500C
4. Serikov E. N. Belik S. Yu., Dyachenko V. G. Method of evaluation of indicator indicators of internal combustion engines. Market and technical journal. Internal combustion engine. Kharkiv, NTU,, KHPI " 2009, No. 1, pp. 19-24.
5. Parsadanov I. V. Belik S. Yu. Multifactor analysis of friction losses in high-speed diesel with gas turbine supercharging. Market and technical journal. Internal combustion engine. Kharkiv, NTU,, KHPI " 2005, No. 1. pp. 106-110.
6. Parsadanov I. V. Belik S. Yu. Multifactor analysis of mechanical losses in high-speed diesel with gas turbine supercharging. Market and technical journal. Internal combustion engine. Kharkiv, NTU,, KHPI " 2008, No. 1. pp. 34-37.
7. Peterka B., Pexa M., Čedík J., Mader D., Kotek M. Comparison of exhaust emissions and fuel consumption of small combustion engine of portable generator operated on petrol and biobutanol Agronomy Research 2017 Vol.15 (SI) pp.1162-1169
8. Khalaf I. H., Rahman M. M. An experimental study for performance and emissions of a small four-stroke SI engine for modern motorcycle. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2014. Vol.10. pp 1852-1865. DOI: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.10.2014.3.0154>
9. GradinZ .Mechanical losses and the principle of friction in IC engines. Vojnotehnicki Glasnik. Beograd. 2003. No. 1 PP. 29-44
10. Dyachenko N. H. et al. high-Speed piston internal combustion engines. Under the editorship of Dr. sci. Professor N. H. Dyachenko. , M,, Mashgiz", 1962. - 359с.
11. Electric motor ED-25, ED-25B.: <https://alarno.com.ua/p697422036-elektrodvigatel-25ed-25b.html> (date zvernennya: 20.06.2019).

12. Power loss and efficiency URL: http://www.ets.ifmo.ru/usolzev/SEITEN/u2/gS/4_8.htm (date zvernennya: 15.06.2019).

Абрамчук Федір Іванович¹, д.т.н. проф., каф. двигунів внутрішнього згоряння, тел. +380505249512, fedor.abramchuk@gmail.com
Кузьменко Анатолій Петрович¹, к.т.н., каф. двигунів внутрішнього згоряння, тел. +380952557649, kuzmatolja@gmail.com
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Экспериментальное исследование механических потерь в микролитражном четырехтактном двигателе

Аннотация. Одноцилиндровые четырехтактные двигатели применяются в качестве силовой установки автомобилей участвующих в международных соревнованиях на экономичность Shell «Eco-marathon». Многие команды в квалификации «Двигатели внутреннего сгорания с принудительным воспламенением» используют двигатели фирмы HONDA GX 25 и GX 35. Поэтому важно знать механические потери таких двигателей для поиска путей их уменьшения. Целью исследования является определение механических потерь методом прокручивания коленчатого вала электродвигателем постоянного тока ЭД-25. Для экспериментального определения механических потерь двигателя GX 25 создан специальный стенд, на станине которого смонтирован сам испытуемый двигатель и электродвигатель. В работе предложена методика проведения экспериментального исследования и результаты, полученные двумя способами крепления электродвигателя на станине. После статистической обработки результатов исследования предложены эмпирические зависимости для мощности и среднего давления механических потерь.

Ключевые слова: микролитражный двигатель, механические потери, четырехтактный двигатель, экспериментальное исследование.

Абрамчук Федор Иванович¹, д.т.н. проф., каф. двигателей внутреннего сгорания, тел.+380505249512, fedor.abramchuk@gmail.com
Кузьменко Анатолій Петрович¹, к.т.н., каф. двигателей внутреннего сгорания, тел. +380952557649, kuzmatolja@gmail.com
¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Experimental research of mechanical losses in a small four-stroke engine

Abstract. Problem. Single-cylinder four-stroke engines are used as a power plant for vehicles participating in international economical competitions Shell «Eco-marathon». Many of the teams in the qualification «Forced-ignition internal combustion

engines» use HONDA GX 25 and GX 35 engines. Therefore, it is important to know the mechanical losses of such engines to find ways to reduce them. The aim of the study is to determine the mechanical losses by scrolling the crankshaft with an electric motor DC-ED-25. For experimental determination of mechanical losses of the GX 25 engine, a special stand was created on the bed of which the tested motor and electric motor are mounted. The paper proposes a methodology for conducting an experimental study and the results obtained by two methods of mounting an electric motor on a bed. In the first case, the electric motor was fixed rigidly on the bed. In this case, the electric power was determined and, knowing the efficiency of the electric motor, the power of mechanical losses was determined. In the second case, the motor housing was installed in rolling bearings with the condition of free rotation around the axis. During the tests, the mechanical moment acting on the body was determined using a strain gauge. Good experimental data were obtained in different ways. After statistical processing of the re-

search results, empirical dependences for power and average pressure of mechanical losses are proposed. The method of scrolling the engine crankshaft by an external source is characterized by the simplicity of organization and measurement during the experiment. However, a more reliable method for determining mechanical losses is the method of comparing the indicator and effective power.

Keywords: small-displacement engine, mechanical losses, four-stroke engine, experimental study.

Abramchuk Fedor¹, professor, Doct. of Science, Internal Combustion Engines Department, tel. +380505249512,

e-mail: fedor.abramchuk@gmail.com

Kuzmenko Anatoly¹, Ph. D., Assoc. Prof., Internal Combustion Engines Department, tel. +380952557649, e-mail: kuzmatolja@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine
