

УДК 621.891

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФУЛЕРЕНОВИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В МАГІСТРАЛЬНОМУ ЦИКЛІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

А. Г. Кравцов, М. В. Карнаух

Державний біотехнологічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторів: kravcov_84@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 8, рис. 2, табл. 2.

Анотація. Виконано оцінку паливної економічності автомобіля при експлуатації з використанням змащувальних матеріалів (моторні та трансмісійні оливи) з фулереновими композиціями за магістральним їздовим циклом. Фулеренові композиції додавалися до моторної та трансмісійної оливи в концентрації 10% мас. Керівним документом, який визначає порядок випробувань автотранспортних засобів на паливну економічність, є ГОСТ 20306.

Випробування по магістральному циклу проводились на вантажному автомобілі ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього середовища +20°C (літній період експлуатації) та при температурі навколишнього середовища -5°C (зимовий період експлуатації).

Встановлено, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період експлуатації застосування фулеренової композиції одночасно в моторній і трансмісійній оливах зменшує витрату палива автомобіля на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m=0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m=3000$ кг). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 3,1...4,4%.

При експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у зимовий період експлуатації застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m=0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m=3000$ кг). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Ключові слова: експлуатація; вантажні автомобілі; моторні оливи; трансмісійні оливи; фулерени, фулеренові композиції; об’ємна витрата палива; магістральний їздовий цикл

Постановка проблеми

В останні роки з’явилася низка наукових статей, де представлено результати досліджень впливу фулеренових домішок до мастильних матеріалів на процеси тертя і зношування металів і зроблено висновок про перспективність використання таких домішок до рідких мастильних матеріалів. Цікавою і важливою особливістю фулеренових домішок стало те, що фулерени добре розчиняються в широкому класі органічних і неорганічних розчинників. При цьому відзначено погана розчинність фулеренів в технічних оливах (мінеральних, напівсинтетичних і синтетичних).

Ще одним цікавим явищем, які спостерігаються в розчинах фулерена C₆₀, є процеси утворення і зростання кластерів, які вказують на близькість багатьох розчинів C₆₀ до класу колоїдних систем. Визначальним моментом цього явища служить той факт, що розмір фулерена лежить на межі визначення поняття колоїдної частинки (згідно колоїдної хімії колоїдні частинки мають розміри від одного нанометра до декількох мікрометрів). Великий вплив на цей процес також надає полярність розчинника.

Використання добавок фулеренів до технічних рідких мастильних матеріалів ставить ряд питань про їх ефективність, тобто впливу на протизносні і антифрикційні властивості. Інтерес до даного явища має як фундаментальний, так і прикладний характер, що дозволить розробляти концепції їх застосування.

Аналіз останніх досліджень

Авторами роботи [1] представлено огляд літератури з мастильних матеріалів з додаванням наночастинок. Проаналізовано вплив наночастинок на триботехнічні характеристики оливи. У роботі відзначено, що використання нанододатків до мастильних матеріалів призводить до підвищення в’язкості базового середовища, високої несучої здатності трибосполучень, зниження коефіцієнта тертя, підвищення зносостійкості. Робота [2] містить

висновки, що останнім часом зусилля зосереджені на розробці і використанні вуглецевих наноматеріалів як домішок до технічних олив для експлуатації автомобілів. В огляді представлено основні досягнення за рахунок вуглецевих нанозмащувальних матеріалів, які будуть визначати майбутні розробки.

Робота [3] присвячена трибологічним характеристикам вуглецевих наночастинок, диспергованих у поліальфаолефіновій оливі. Результати показують поліпшену теплопередачу від контакту при наявності наночастинок, навіть при низьких рівнях концентрацій. Це приводить до більш високої в'язкості мастильного матеріалу, несучої здатності і зниження тертя.

У роботі [4] вивчався вплив вуглецевих наноматеріалів у різних концентраціях на деякі властивості моторних олив. Були вивчені в'язкість, температура застигання, температура спалаху і теплопровідність як чотири параметри якості, які впливають на функціональність моторної оливи. Згідно з отриманими результатами, теплопровідність і температура спалаху наноолив з 0,1% мас, сприяє поліпшенню параметрів якості на 6,7...13,2% відповідно в порівнянні з базовою оливою. Аналогічні результати отримані авторами роботи [5], де показана ефективність застосування наноматеріалів у базових синтетичних оливах.

Авторами роботи [6] обґрунтовано напрям, де використовується попереднє диспергування фулеренів у розчинниках, наприклад, рослинних високоолеїнових оліях, а потім введення таких композицій в технічні оливи. На думку авторів роботи, таке використання фулеренів дає кращий позитивний ефект, ніж додавання фулеренів у вигляді нанопорошків в базові мастильні матеріали.

В роботі [7] наведено експериментальні дослідження ефективності застосування фулеренових композицій у моторних оливах і ступеня їх впливу на ефективну потужність і питому витрату палива дизельного двигуна. Маса фулеренової композиції 100 г на один кілограм моторної оливи. Склад фулеренової композиції – 0,75 г фулеренів і 99,25 г рослинної ріпакової олії. Загальна маса фулеренової композиції 100 г вводилася в 1000 г базовий моторний оливи М-10Г2к, (10% мас) [8]. Авторами експериментальним шляхом отримані залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні в моторних оливах фулеренової композиції. Встановлено, що використання моторної оливи з фулереновою композицією дозволяє отримати наступні показники під час випробування дизеля Д-243 на стенді: ефективна потужність дизеля збільшилась зі значень 60 кВт до значень 64,56 кВт, тобто на 7,5%; питома витрата палива зменшилась зі значень 220 г/кВт×год до значень 186 г/кВт×год, тобто на 15,45%. На основі отриманих експериментальних результатів зроблено висновки, що використання фулеренової композиції в моторних оливах дозволяє знизити питому витрату палива двигуном, що приведе до економії палива під час експлуатації транспортних засобів без зменшення їх ефективної потужності.

З аналізу представленого матеріалу можна зробити висновок, що застосування фулеренових

композицій у технічних мастильних матеріалах є перспективним напрямком, наприклад, для експлуатації транспортних засобів. Це дозволить знизити втрати на тертя в агрегатах автомобілів, що приведе до економії палива при одночасному зниженні швидкості зношування матеріалів трибосистем, що буде сприяти збільшенню ресурсу.

Мета досліджень

Метою роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування фулеренових композицій у моторних та трансмісійних оливах агрегатів засобів транспорту і ступеня їх впливу на витрати палива.

Результати досліджень

Керівним документом, який визначає порядок випробувань автотранспортних засобів на паливну економічність, є ГОСТ 20306. Цей стандарт встановлює такі показники паливної економічності автотранспортних засобів:

- ☐ контрольна витрата палива;
- ☐ витрата палива в магістральному циклі на дорозі;
- ☐ витрата палива в міському циклі на дорозі.

Визначення зазначених вище показників регламентується відповідною програмою випробувань – їздовими циклами.

Згідно ГОСТ 20306 для вантажних автомобілів повною масою, яка перевищує 3,5 т, в якості програми випробувань застосовується магістральний їздовий цикл на дорозі. Номери операцій при виконанні такого циклу, послідовність операцій і відмітка шляху в метрах представлено на рис. 1, довжина вимірювальної ділянки дорівнює 4000 м.

Випробувальні заїзди проводилися на кільцевій дорозі в одному напрямку і для підвищення точності вимірювань повторювалися не менше трьох разів, що відповідає вимогам стандарту ГОСТ 20306.

Відстань кільцевої дороги завдовжки в 4000 м вибиралася без ухилів і поворотів і попередньо розмічалась пропорційно з номером початку операції, що виключало помилки водія-випробувача при виконанні їздового циклу.

Розгін, уповільнення при гальмуванні двигуном або службове гальмування при включеній передачі із застосуванням робочих гальм здійснювалися відповідно до вимог зазначеного вище стандарту.

У момент перетину позначки “нуль” включалися прилади реєстрації, які вимірювали час руху з точністю 0,1 с і об'ємну витрату палива з точністю 1,0 см³.

Для виміру витрати палива в умовах їздових циклів використаний наступний пристрій, який складається з трьох блоків. Датчика витрати палива, який встановлюються поруч з паливним баком, електронного блока комутації, блока індикації та керування. Датчик витрати палива встановлюється в магістраль подачі палива перед фільтром-відстійником вантажного автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок”.

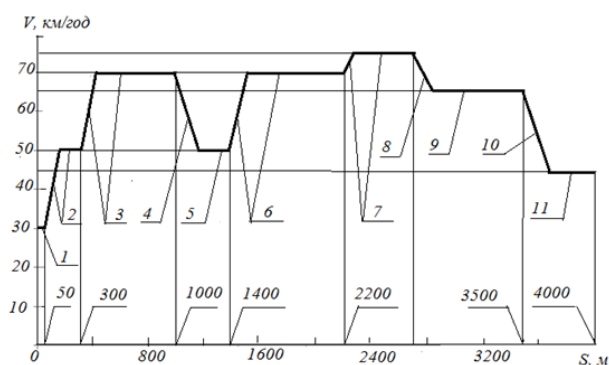


Рис. 1. Схема магістрального циклу на дорозі для вантажних автомобілів повною масою, яка перевищує 3,5 т: 1 – рух зі швидкістю 30 км/год; 2 – розгін до швидкості 50 км/год і рух з цією швидкістю; 3 – розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 4 – уповільнення двигуном до швидкості 50 км/год; 5 – рух зі швидкістю 50 км/год; 6 – розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 7 – розгін до швидкості 75 км/год і рух з цією швидкістю; 8 – уповільнення двигуном до швидкості 65 км/год; 9 – рух зі швидкістю 65 км/год; 10 – уповільнення двигуном до швидкості 45 км/год; 11 – рух зі швидкістю 45 км/год.

Fig. 1. Scheme of the main cycle on the road for trucks with a gross weight exceeding 3.5 tons: 1 – movement at a speed of 30 km/h; 2 – acceleration to a speed of 50 km/h and movement at this speed; 3 – acceleration to a speed of 70 km/h and movement at this speed; 4 – deceleration by the engine to a speed of 50 km/h; 5 – movement at a speed of 50 km/h; 6 – acceleration to a speed of 70 km/h and movement at this speed; 7 – acceleration to a speed of 75 km/h and movement at this speed; 8 – deceleration by the engine to a speed of 65 km/h; 9 – movement at a speed of 65 km/h; 10 – deceleration by the engine to a speed of 45 km/h; 11 – movement at a speed of 45 km/h.



Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювального комплексу для визначення витрати палива: 1 – датчик витрати палива; 2 – електронний блок комутації; 3 – блок індикації та керування; 4 – впускний отвір; 5 – випускний отвір.

Fig. 2. Appearance of the measuring complex to determine fuel consumption: 1 – fuel consumption sensor; 2 – electronic switching unit; 3 – display and control unit; 4 – inlet; 5 – outlet.

Датчик витрати палива функціонує як об'ємний витратомір і реєструє об'єм палива см^3 , який пройшов через нього.

Комплект обладнання, який застосовувався для виконання їздових циклів, наведено на рис 2. Як блок індикації і управління використовувався персональний комп'ютер зі спеціально написаною програмою обробки інформації.

За виміряним значенням часу проходження їздових циклів t , с, та об'ємної витрати палива Q , см^3 , згідно ГОСТ 20306 розраховувалися наступні показники:

- середня швидкість руху автотранспортного засобу за випробувальний цикл довжиною 4000 м:

$$V_{cp} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{cp}}, \text{ км/год}, \quad (1)$$

- середня витрата палива:

$$Q_{cp} = \frac{25 \cdot Q}{S}, \text{ л/100км} \quad (2)$$

де S – довжина вимірювальної ділянки, дорівнює 4000 м; t_{cp} – середній час, витрачений на проїзд вимірювальної ділянки, с; Q – об'ємна витрата палива, яка вимірюється витратоміром – за випробувальний цикл на ділянці довжиною 4000 м, см^3 .

Результати досліджень

Випробування по магістральному циклу проводилися на вантажному автомобілі ЗІЛ-5301 “Бичок”, який мав загальний пробіг від початку експлуатації 20 тис. км. На автомобілі встановлений дизельний двигун Д 245.12 з турбонаддувом потужністю 73 кВт і питомою витратою палива $q=245 \text{ гр/кВт}\cdot\text{год}$.

Випробування проводилися на кільцевій дорозі з прямолінійною ділянкою. Перед початком випробувань прогрівали всі агрегати автомобіля пробігом кільцевою дорогою не менше 50 км при швидкості 2/3 від максимальної.

Контрольні заїзди починалися на автомобілі, де використовувалися змащувальні матеріали згідно до керівництва з експлуатації. В системі мащення двигуна моторна олива М-10Г2к (API CC, SAE 40), агрегатах трансмісії – трансмісійна олива ТАД-17и (API GL-5, SAE 85W90). Контрольні заїзди повторювалися тричі. При цьому реєстрували час виконання заїзду за допомогою таймера і об'ємну витрату палива за допомогою витратоміра в см^3 .

Після завершення трьох заїздів, де використовувалися моторна та трансмісійна оливи згідно з керівництвом з експлуатації, оливи підлягали заміні. В змащувальні матеріали добавляли фулеренову композицію 10% мас. Після зміни змащувальних матеріалів автомобіль виконував пробіг кільцевою дорогою не менше 30 км, після чого виконували три контрольних заїзди з реєстрацією часу заїзду та об'ємної витрати палива.

Результати випробувань по магістральному циклу при температурі навколишнього повітря $+20^\circ\text{C}$ (літній період експлуатації) представлено в таблиці 1.

У таблиці 1 наведені середні значення часу випробувань t_{cp} за трьома заїздами, об'ємної витрати палива Q , за результатами вимірювання витратоміру, а також розрахункові значення середньої швидкості руху, формула (1), середньої витрати палива, формула (2).

Середньоквадратичне відхилення величини витрати палива визначали за формулою:

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2}, \quad (3)$$

де S_Q – середньоквадратичне відхилення величини витрати палива, л/100 км; n – кількість повторів, дорівнює 3; Q_i – витрата палива при кожному заїзді, л/100 км; Q_{cp} – середня витрата палива за трьома заїздами, л/100 км.

Коефіцієнт варіації величини витрати палива визначали за виразом:

$$\nu_Q = \frac{S_Q}{Q_{cp}}. \quad (4)$$

Відсоток зменшення витрати палива при застосуванні фулеренової композиції у змащувальних матеріалах у порівнянні з штатним режимом експлуатації:

$$\varepsilon = \frac{Q_{um} - Q_{фк}}{Q_{um}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де Q_{um} – витрата палива автомобілем в штатному режимі експлуатації, л/100 км; $Q_{фк}$ – витрата палива автомобілем при застосуванні фулеренової композиції в змащувальних матеріалах, л/100 км.

З аналізу результатів, наведених у таблиці 1, можна зробити такі висновки. Застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, зменшує витрату палива автомобіля в літній період експлуатації на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m = 3000$ кг).

Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювання знаходиться в межах 3,1...4,4%.

Отриманий результат зменшення витрати палива, рівний 18,34...15,43% збігається з результатами стендових випробувань дизеля Д-243, які наведено в роботі [7].

Однозначно, збільшення маси перевезеного вантажу призводить до зменшення ефекту зниження витрати палива і збільшення похибки вимірювань, при цьому коефіцієнт варіації не перевищує значення 0,044.

Таблиця 1. Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря +20°C.

Table 1. Test results of the car ZIL-5301 "Bichok" on the main cycle at an ambient temperature of +20°C.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об'ємна витрата палива Q , см ³	Середня швидкість руху V_{cp} , км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100 км	Середньо квадратичне відхилення S_Q , л/100 км	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток зменшення ε , %
Штатний режим експлуатації							
0	235,2	2608	61,22	16,30	0,65	0,038	-
1500	239,8	2805	60,05	17,53	0,73	0,041	-
3000	245,9	2944	58,56	18,40	0,86	0,044	-
Фулеренові композиції в змащувальних матеріалах 10% мас.							
0	230,3	2130	62,52	13,31	0,58	0,031	18,34
1500	235,4	2306	61,17	14,41	0,66	0,033	17,79
3000	240,8	2490	59,80	15,56	0,74	0,038	15,43

Таблиця 2. Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря -5°C.

Table 2. Test results of the car ZIL-5301 "Bichok" on the main cycle at ambient temperature -5°C.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об'ємна витрата палива Q , см ³	Середня швидкість руху V_{cp} , км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100 км	Середньо квадратичне відхилення S_Q , л/100 км	Коефіцієнт варіації ν_Q	Відсоток зменшення ε , %
Штатний режим експлуатації							
0	248,4	2805	57,97	17,53	0,73	0,04	-
1500	252,6	3010	57,0	18,81	0,85	0,043	-
3000	258,6	3154	55,68	19,71	0,97	0,046	-
Фулеренові композиції в змащувальних матеріалах 10% мас.							
0	240,3	2352	59,92	14,7	0,68	0,035	16,14
1500	248,1	2530	58,04	15,81	0,74	0,039	15,94
3000	252,8	2704	56,96	16,90	0,83	0,041	14,25

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі повітря -5°C , зимовий період експлуатації, представлено в таблиці 2.

Перед початком випробувань було виконано всі вимоги стандарту ГОСТ 20306, викладені вище. Систему опалення кабіни водія було підключено до роботи.

З аналізу результатів, наведених у таблиці 2, можна зробити такі висновки. Застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, в зимовий період експлуатації автомобіля, зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$).

Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Висновки

1. Виконано оцінку паливної економічності автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” при експлуатації з використанням змащувальних матеріалів (моторні та трансмісійні оливи) з фулереновими композиціями за магістральним їздовим циклом. Фулеренові композиції додавалися до моторної та трансмісійної оливи в концентрації 10% мас.

2. Встановлено, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період експлуатації застосування фулеренової композиції одночасно в моторній і трансмісійній оливах, зменшує витрату палива автомобіля на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 3,1...4,4%.

3. При експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у зимовий період експлуатації застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Список літератури

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives. Materials today: proceedings 2020. Vol. 25. P. 4. P. 586-591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>.

2. Ankit Kotia, Krishna Chowdary, Isha Srivastava, Subrata Kumar Ghosh, Mohamed Kamal Ahmed Ali. Carbon nanomaterials as friction modifiers in automotive engines: recent progress and perspectives. Journal of Molecular Liquids. 2020. Vol. 310. 15 July 2020. P. 113-200. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113200>.

3. Shahmohamadi H., Rahmani R., Rahnejat H., Garner C. P., Balodimos N. Thermohydrodynamics of lubricant flow with carbon nanoparticles in tribological contacts. Tribology International. 2017. Vol. 113. September 2017. P. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.12.048>

4. Ehsan-o-llah Etefaghi, Hojjat Ahmadi, Alimorad Rashidi, Amideddin Nouralishahi, Seyed Saeid Mohtasebi. Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 46. August 2013. P. 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.05.003>.

5. Ohmae N., Liu J. Nanotribology and nanoscale materials coatings for lubricants. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2016. P. 5-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00615-9>.

6. Vojtov V. A., Kravcov A. G., Tsybaly B. M. Evaluation of tribotechnical characteristics of tribosystems in the presence of fullerenes in the lubricant. Friction and Wear. 2020. Vol. 41. No. 6. P. 704-710. <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>.

7. Кравцов А. Г. Оцінка ефективності застосування фулеренових композицій в моторних оливах при експлуатації ДВЗ. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2020. № 21. С. 41-49. <https://doi.org/10.37700/ts.2020.21.41-49>.

8. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3 (5 (105)). P. 19-29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.206073.

References

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. (2020). A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives. Materials today: proceedings. 25(4). 586-591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>.

2. Ankit Kotia, Krishna Chowdary, Isha Srivastava, Subrata Kumar Ghosh, Mohamed Kamal Ahmed Ali. (2020). Carbon nanomaterials as friction modifiers in automotive engines: recent progress and perspectives. Journal of Molecular Liquids. 310. 15 July 2020. 113-200. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113200>.

3. Shahmohamadi H., Rahmani R., Rahnejat H., Garner C. P., Balodimos N. (2017). Thermohydrodynamics of lubricant flow with carbon nanoparticles in tribological contacts. Tribology International. 113. September 2017. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.12.048>.

4. Ehsan-o-llah Etefaghi, Hojjat Ahmadi, Alimorad Rashidi, Amideddin Nouralishahi, Seyed Saeid Mohtasebi. (2013). Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 46. August 2013. 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.05.003>.

5. Ohmae N., Liu J. (2016). Nanotribology and nanoscale materials coatings for lubricants. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. 5-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00615-9>.

6. Vojtov V. A., Kravcov A. G., Tsymbal B. M. (2020). Evaluation of tribotechnical characteristics of tribosystems in the presence of fullerenes in the lubricant. *Friction and Wear*. 41(6). 704-710. <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>.

7. Kravtsov A. G. (2020). Evaluation of the effectiveness of fullerene compositions in motor oils in the operation of internal combustion engines. *Technical Service of Agro-industrial, Forest and Transport Complexes*. 21. 41-49. <https://doi.org/10.37700/ts.2020.21.41-49>.

8. Hryniv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(5-105). 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФУЛЛЕРЕНОВЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ЦИКЛЕ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А. Г. Кравцов, Н. В. Карнаух

Аннотация. Выполнена оценка топливной экономичности автомобиля при эксплуатации с использованием смазочных материалов (моторные и трансмиссионные масла) с фуллереновыми композициями по магистральным ездовым циклам. Фуллереновые композиции добавлялись в моторные и трансмиссионные масла в концентрации 10% масс. Руководящим документом, определяющим порядок испытаний автотранспортных средств на топливную экономичность, является ГОСТ 20306.

Испытания по магистральному циклу проводились на грузовом автомобиле ЗИЛ-5301 "Бычок" по магистральному циклу при температуре окружающего воздуха +20°C (летний период эксплуатации) и при температуре окружающего воздуха -5°C (зимний период эксплуатации).

Установлено, что при эксплуатации автомобиля на магистральных дорогах с асфальтовым покрытием в летний период эксплуатации, применение фуллереновых композиций одновременно в моторных и трансмиссионных маслах уменьшает расход топлива автомобиля на 15,43...18,34%. При этом величина 18,34% соответствует пробегу автомобиля без груза ($m = 0$), а величины 15,43% – пробегу с грузом ($m = 3000$ кг). Коэффициент вариации измеряемой величины расхода топлива составил 0,031...0,044. Это

позволяет сделать вывод, что погрешность измерений находится в пределах 3,1...4,4%.

При эксплуатации автомобиля на магистральных дорогах с асфальтовым покрытием в зимний период эксплуатации, применение фуллереновых композиций (концентрация 10% масс), одновременно в моторном масле и трансмиссионных маслах уменьшает расход топлива на 14,25...16,14%. При этом величина 16,14% соответствует пробегу автомобиля без груза ($m = 0$), а величины 14,25% – пробегу с грузом ($m = 3000$ кг). Коэффициент вариации измеряемой величины расхода топлива составил 0,046...0,035. Это позволяет сделать вывод, что погрешность измерений находится в пределах 4,6...3,5%.

Ключевые слова: эксплуатация; грузовые автомобили; моторные масла; трансмиссионные масла; фуллерены, фуллереновые композиции; объемный расход топлива; магистральный ездовой цикл.

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF LUBRICANTS WITH FULLERENE COMPOSITIONS DURING OPERATION IN MAIN CYCLE OF TRUCKS

A. G. Kravtsov, M. V. Karnaukh

Abstract. The paper deals with the assessment of fuel efficiency of the car at operation with use of lubricants (motor and transmission oils) with fullerene compositions on the main driving cycle. Fullerene compositions were added to the engine and transmission oil at a concentration of 10% of the mass. The guiding document that defines the procedure for testing vehicles for fuel efficiency is National State Standard GOST 20306.

Tests on the main cycle were carried out on a truck ZIL-5301 "Bichok" having a total mileage from the beginning of operation of 20 thousand km. The car is equipped with a diesel engine D 245.12 with a turbocharged capacity of 73 kW and a specific fuel consumption $q = 245$ g/kWh. The tests were performed on a ring road with a straight section. Before the start of the tests all units of the car were warmed up by a run on a ring road not less than 50 km long at a 2/3 maximum speed. The tests were performed on the main cycle at an ambient temperature of +20°C (summer period of operation) and at an ambient temperature of -5°C (winter period of operation).

Control races began in the car, which used lubricants according to the operating instructions. In the engine lubrication system engine oil M-10G2k (API CC, SAE 40), transmission units - transmission oil TAD-17i (API GL-5, SAE 85W90). Control races were repeated three times. At the same time, the arrival time was recorded with the help of a timer and the volumetric fuel consumption with the help of a flow meter in cm^3 .

It is established that when operating a car on main roads with asphalt pavement in the summer of use of fullerene composition in both engine and transmission oils, reduces the fuel consumption of the car on 15.43...18.34%. The value of 18.34% corresponds to the mileage of the car without cargo ($m = 0$), and the value of 15.43% mileage with cargo ($m = 3000$ kg). The coefficient of variation of the measured value of fuel consumption was 0.031...0.044.

This allows us to conclude that the measurement error lies within 3.1...4.4%.

The operating the car on the main roads with an asphalt covering in the winter of operation of application of fullerene composition (concentration 10% of the mass) simultaneously in engine oil and transmission oil reduces fuel consumption by 14.25...16.14%. The value of 16.14% corresponds to the mileage of the car without cargo ($m = 0$), and the value of 14.25% mileage with cargo ($m = 3000$ kg). The coefficient of variation of the measured value of fuel consumption was 0.046...0.035. This allows us to conclude that the measurement error lies within 4.6...3.5%.

Key words: operation; trucks; motor oils; transmission oils; fullerenes, fullerene compositions; volumetric fuel consumption; main driving cycle.

А. Г. Кравцов ORCID 0000-0003-3103-6594.

М. В. Карнаух ORCID 0000-0002-9220-7986.

