

**Кравцов А.Г.**

**Войтов А.В.**

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства ім.  
П.Василенка,  
м. Харків, Україна  
E-mail: [kravcov@gmail.com](mailto:kravcov@gmail.com)

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ФУЛЕРЕНОВИХ КОМПОЗИЦІЙ В  
ГІДРОСТАТИЧНИХ ПРИВОДАХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

УДК 621.891

*Кравцов А.Г., Войтов А.В. «Оцінка ефективності застосування фулеренових композицій в гідростатичних приводах сільськогосподарських машин»*

Наведено аналіз застосування фулеренів і фулеренових добавок до робочих рідин гідростатичних приводів ГСТ-90 сільськогосподарської техніки. Показано, що застосування фулеренових композицій в гідравлічних оливах гідростатичних приводів сільськогосподарських машин є перспективним напрямком і дозволить знизити витрати на тертя в трибосистемах ГСТ, що призведе до економії палива, при одночасному зниженні швидкості зношування матеріалів трибосистем та збільшенню ресурсу.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування фулеренових композицій в гідравлічних оливах гідростатичних приводів і ступеня їх впливу на питому витрату палива приводного електродвигуна. Маса фулеренової композиції 100 гр на один кілограм гідравлічної оливи. Склад фулеренової композиції - 0,75 гр фулеренів і 99,25 гр рослинної ріпакової олії. Загальна маса фулеренової композиції 100 гр вводилася в 1000 гр базової гідравлічної оливи МГЕ-46В, (10% мас.).

Витрати на тертя в трибосистемах ГСТ-90 оцінювали по величині потужності приводного електродвигуна на випробувальному стенді КІ-4815М.

Експериментальним шляхом отримані значення зниження потужності електродвигуна на привод ГСТ-90 під час випробувань на стенді. Встановлено, що при використанні фулеренової композиції в робочій рідині МГЕ-46В, потужність електродвигуна на привод ГСТ зменшується на 17,2...17,6%.

Застосування фулеренової композиції в робочій рідині дозволить знизити витрати палива дизелем сільськогосподарської машини. На прикладі зернозбирального комбайна, де використовується ГСТ-90, розраховано зменшення витрати дизельного палива від застосування фулеренової композиції. При напрацюванні зернозбиральним комбайном 300 мотогодин за сезон, економія палива складе 735 кг на одну машину.

**Ключові слова:** фулерени, фулеренові композиції; рослинні олії, гідравлічні оливи, гідростатичний привод, зернозбиральний комбайн, питома витрата палива

*Кравцов А.Г., Войтов А.В. «Оценка эффективности применения фуллереновых композиций в гидростатических приводах сельскохозяйственных машин»*

Приведен анализ применения фуллеренов и фуллереновых добавок к рабочим жидкостям гидростатических приводов ГСТ-90 сельскохозяйственной техники. Показано, что применение фуллереновых композиций в гидравлических маслах гидростатических приводов сельскохозяйственных машин является перспективным направлением и позволит снизить потери на трение в трибосистемах ГСТ, что приведет к экономии топлива при одновременном снижении скорости износа материалов трибосистем и увеличению ресурса.

Целью данной работы является экспериментальное исследование эффективности применения фуллереновых композиций в гидравлических маслах гидростатических приводов и степени их влияния на удельный расход топлива приводного электродвигателя. Масса фуллереновых композиций 100 гр на один килограмм гидравлического масла. Состав фуллереновых композиций - 0,75 гр фуллеренов и 99,25 гр растительного рапсового масла. Общая масса фуллереновой композиции 100 гр вводилась в 1000 гр базового гидравлического масла МГЕ-46В, (10% масс.).

Потери на трение в трибосистемах ГСТ-90 оценивали по величине мощности приводного электродвигателя на испытательном стенде КИ-4815М.

Экспериментальным путем получены значения снижения мощности электродвигателя на привод ГСТ-90 во время испытаний на стенде. Установлено, что при использовании фуллереновой композиции в рабочей жидкости МГЕ-46В, мощность электродвигателя на привод ГСТ уменьшается на 17,2 ... 17,6%.

Применение фуллереновых композиций в рабочей жидкости позволит снизить расход топлива дизелем сельскохозяйственной машины. На примере зерноуборочного комбайна, где используется ГСТ-90, определено уменьшение расхода топлива от применения фуллереновой композиции. При наработке зерноуборочным комбайном 300 моточасов за сезон, экономия топлива составит 735 кг на одну машину.

**Ключевые слова:** фуллерены, фуллереновые композиции; растительные масла, гидравлические масла, гидростатический привод, зерноуборочный комбайн, удельный расход топлива

*Kravcov A.G., Voitov A.V. «Evaluation of the effectiveness of fullerene compositions in hydrostatic drives of agricultural machines»*

The analysis of application of fullerenes and fullerene additives to working liquids of hydrostatic drives is given HST-90 agricultural machinery. It is shown that the use of fullerene compositions in hydraulic oils of hydrostatic drives of agricultural machines is a promising direction and will reduce friction losses in tribosystem HST, which will lead to fuel savings, while reducing the rate of wear of materials of tribosystems and increase resource.

The purpose of this work is an experimental study of the effectiveness of fullerene compositions in hydraulic oils of hydrostatic drives and the degree of their impact on the specific fuel consumption of the drive motor. The mass of the fullerene composition 100 gram per kilogram of hydraulic oil. The composition of the fullerene composition - 0,75 gram fullerenes and 99,25 gram vegetable rapeseed oil. The total weight of the fullerene composition 100 gram was introduced into 1000 gram of base hydraulic oil MGE-46V, (10% masses).

Friction losses in tribosystems HST-90 evaluated by the magnitude of the power of the drive motor on the test bench KI-4815M. The number of the same type of HST sets, which give the necessary reliability and reproducibility of the results and is sufficient for bench tests and give the necessary reliability and reproducibility of the results for confidence  $q=0,90$ , relative error  $\varepsilon=0,05$  and coefficient of variation  $v=0,15$ , is equal to 12.

Tests of the HST set on the stand were performed in two stages. At the first stage of testing, the working fluid MGE-46V was used according to the technical conditions. In the second stage of the tests used working fluid MGE-46V with the addition of fullerene composition.

Experimentally obtained values of reducing the power of the electric motor on the drive HST-90 during the tests on the stand. It is established that when using a fullerene composition in the working fluid MGE-46V, the power of the electric motor to drive HST is reduced by 17,2...17,6%.

The sample size of the supply coefficients  $\Psi$  and efficiency factor  $\eta$  for pumps and motors has been tested for compliance with the normal distribution law. The obtained calculated values allow us to conclude that the sampling results correspond to the normal distribution law. Homogeneity and reproducibility of test results were evaluated by the value of the Cochren test, which allowed to establish – the results obtained are homogeneous and reproducible.

The use of fullerene composition in the working fluid will reduce fuel consumption by diesel agricultural machinery. On the example of a combine harvester, which uses HST-90, the reduction of diesel fuel consumption from the use of fullerene composition is calculated. When the combine harvester operates 300 operating hours per season, fuel savings will be 735 kg per one car.

**Key words:** fullerenes, fullerene compositions; vegetable oils, hydraulic oils, hydrostatic drive, combine harvester, specific fuel consumption

## **Актуальність проблеми**

Нові аллотропні форми вуглецю – фулерени – були відкриті в 1985 р, проте науковий інтерес до вивчення фулеренів проявився після винаходу в 1990 р способу їх отримання. Інтерес до досліджень фулеренів пояснюється наявністю нових фізико-хімічних явищ, що відбуваються за участю фулеренів з різними розчинниками.

Найбільш стабільною формою є фулерен  $C_{60}$ . На сьогоднішній день великий інтерес викликає застосування фулеренів  $C_{60}$ , як добавка до рідких мастильних матеріалів. На сьогоднішній день визначені і проаналізовані розчинності  $C_{60}$  у великій кількості рослинних олій. Цікавою і важливою особливістю фулеренових добавок стало те, що фулерени добре розчиняються в широкому класі органічних і неорганічних розчинників. При цьому відзначена погана розчинність фулеренів в технічних оливах (мінеральних, напівсинтетичних і синтетичних).

Добавки фулеренів до технічних оливах мають на меті знизити швидкість зношування і коефіцієнт тертя в трибосистемах машин та агрегатів. При цьому встановлено, що наявність фулеренів в мастильних матеріалах підвищує їх теплопровідність, що сприяє зниженню температури в процесі експлуатації трибосистем.

Ще одним цікавим явищем, яке спостерігаються в розчинах фулерена  $C_{60}$ , є процес утворення і зростання кластерів, який вказує на близькість багатьох розчинів  $C_{60}$  до класу колоїдних систем.

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 ефективного застосування.

### **Аналіз останніх досліджень**

В роботі [1] наведено огляд літературних джерел, щодо застосування наноматеріалів до технічних олив. В роботі наведено дані про вплив наночастинок на триботехнічні характеристики. Відзначено, що використання нанодобавок до мастильних матеріалів призводить до підвищення в'язкості базового середовища, високої несучої здатності трибосистем, зниження коефіцієнта тертя, підвищення зносостійкості. Автори роботи [2] роблять висновки, що трибологічні характеристики мастильного матеріалу можна поліпшити застосуванням наноприсадок. Робота присвячена інформаційному огляду застосування нанодобавок до рідких мастильних матеріалів і перспективам його використання при виробництві технічних олив. Аналогічні висновки про перспективність застосування наноматеріалів в рідких мастильних матеріалах робиться авторами роботи [3].

Роботи [4-6] присвячені фулеренам  $C_{60}$ , як добавкам до мастильних матеріалів. Автори відзначають, що використання фулеренів знижує коефіцієнт тертя і підвищує зносостійкість трибосполучень. В роботі [6] зазначається, що концентрація фулеренової добавки повинна бути в межах 0,5 ... 2,0% мас. В роботі [7] наведено результат застосування фулерена  $C_{60}$ . Автори відзначають позитивний ефект, проте роблять висновок, що механізм сенергізма фулеренів з базовою оливою неясний і вимагає подальших досліджень. Поряд з позитивними ефектами автори робіт [8-10] роблять висновок, що фулерени не диспергують (розчиняються) у всіх технічних мастильних матеріалах.

Автором роботи [11] виконані теоретичні дослідження формування плівки оливи на поверхні тертя при наявності розчинів фулеренів в змащувальному матеріалі. Математична модель розроблена на основі взаємодії електрично активних гетерогенних дрібнодисперсних систем на межі розділу поверхня тертя – мастильне середовище та описується диференціальним рівнянням Пуассона. Показано зв'язок електростатичного поля поверхні тертя і електростатичного поля в об'ємі рідини. Теоретичним шляхом встановлено, що застосування «розчинників» фулеренів, в якості яких можуть виступати високоолеїнові рослинні олії, можна «запустити» процес міцелоутворення, де ядром міцели є молекула фулерену, оточена молекулами олеїнової кислоти. Як показали теоретичні дослідження кількість міцел в 50 разів перевищує кількість кластерів в базовому мастильному середовищі при однаковій концентрації фулеренів, а дипольний момент міцел на порядок вище, ніж дипольний момент кластерів. При цьому, більш ефективні міцели, де в якості ядра виступає одинична молекула фулерену, а не кластер з молекул фулеренів, що впливає на розмір міцел, що утворилися.

В роботі [12] представлені результати моделювання формування мастильної плівки на поверхні тертя при наявності розчинів фулеренів (фулерени + рослинна олія) в змащувальному матеріалі і їх вплив на швидкість зношування трибосистем. За результатами моделювання встановлено, що величина напруженості електростатичного поля поверхні тертя є більш значущим фактором при формуванні товщини плівки оливи на поверхні тертя, ніж величина електростатичного поля мастильного матеріалу. Встановлено раціональні концентрації фулеренів і рослинної олії, як добавки в базові мастильні матеріали, що дозволить знизити об'ємну швидкість зношування трибосистем.

З аналізу представленого матеріалу можна зробити висновок, що застосування фулеренових композицій в гідравлічних оливах гідростатичних приводів сільськогосподарських машин є перспективним напрямком і дозволить знизити втрати на тертя в трибосистемах ГСТ, що призведе до економії палива, при одночасному зниженні швидкості зношування матеріалів трибосистем та збільшенню ресурсу.

## Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування фулеренових композицій в гідравлічних оливах гідростатичних приводів сільськогосподарських машин і ступеня їх впливу на питому витрату палива приводного двигуна.

## Методичний підхід в проведенні досліджень

В основу отримання параметрів зменшення витрат на тертя, які оцінюються гідромеханічним коефіцієнтом корисної дії (ККД) -  $\eta_{зм}$ , покладено принцип їх реєстрації під час роботи під навантаженням, що наведено в роботі [13]. Звідси випливає, що гідронасос НП-90 і гідромотор МП-90, які входять до конструкції ГСТ-90, повинні діагностуватися одночасно, де навантаження, у вигляді номінального крутного моменту  $M_{кр}$ , створюється на валу гідромотора. Під час діагностування під навантаженням реєструються і аналізуються наступні показники: коефіцієнт подачі насоса  $\Psi$ ; ККД мотора  $\eta$ , а також загальний ККД гідростатичного приводу який розраховується як добуток:

$$\eta_{заг} = \Psi \cdot \eta. \quad (1)$$

При плануванні стендових випробувань комплектів ГСТ необхідно визначити мінімальний обсяг вибірки – кількість однотипних ГСТ-90, яка необхідна для отримання достовірної інформації. З метою визначення шуканої величини, скористаємося основними положеннями математичної статистики і керівним документом із стандартизації РД 50-690-89 [14].

Планування випробувань на надійність передбачає визначення необхідного обсягу випробувань для обчислення оцінок показників надійності з заданою точністю (відносної похибкою  $\varepsilon$  в оцінці показника надійності) і достовірністю (довірчою ймовірністю  $q$ ).

Першою необхідною умовою такої оцінки є перевірка вибірки значень коефіцієнта подачі насоса  $\Psi$  і ККД мотора  $\eta$  на відповідність нормальному закону розподілу [14].

Кількість  $N$  однотипних ГСТ, які дають необхідну достовірність і відтворюваність результатів, при заданій довірчій ймовірності  $q$  і відносній похибці  $\varepsilon$  визначається з виразу по [14]:

$$\frac{t_q(N-1)}{\sqrt{N}} = \frac{\varepsilon}{v}, \quad (2)$$

де  $t_q$  - коефіцієнт Стьюдента;

$\varepsilon$  - відносна похибка в оцінці показника надійності;

$v$  – коефіцієнт варіації, визначається як:

$$v_\Psi = \frac{S_\Psi}{\Psi_{cp}}, \quad (3)$$

$$v_\eta = \frac{S_\eta}{\eta_{cp}}, \quad (4)$$

де  $S$  – середньоквадратичне відхилення, визначається за формулою:

- для коефіцієнта подачі насоса:

$$S_{\psi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\psi_i - \psi_{cp})^2}, \quad (5)$$

- для ККД мотора:

$$S_{\eta} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_{cp})^2}, \quad (6)$$

$\psi_{cp}$  і  $\eta_{cp}$  - середні значення коефіцієнта подачі насосів і ККД моторів.

Розроблена структура і методичний підхід, в проведенні експериментальних стендових випробувань дозволить обґрунтувати мінімальну кількість однотипних ГСТ для отримання достовірної інформації про потужність приводного електродвигуна стенда. Це дозволить розрахувати зменшення витрат на тертя в трибосистемах гідронасоса і гідромотора при їх роботі на номінальному режимі експлуатації.

Кількість  $N$  однотипних комплектів ГСТ, які дають необхідну достовірність та відтворюваність результатів і є достатнім для проведення подальших стендових та експлуатаційних випробувань, визначимо згідно таблиць рекомендацій [13].

Для довірчої ймовірності  $q=0,90$ , відносної похибки  $\varepsilon=0,05$  і коефіцієнті варіації  $v=0,15$  по таблиці 5 з [14] визначаємо кількість  $N$  однотипних комплектів ГСТ, які дають необхідну достовірність та відтворюваність результатів,  $N=12$ .

Витрати на тертя в трибосистемах ГСТ-90 оцінювали по величині потужності приводного електродвигуна на випробувальному стенді КІ-4815М. Типова гідравлічна схема випробувального стенду представлена на рис. 1.

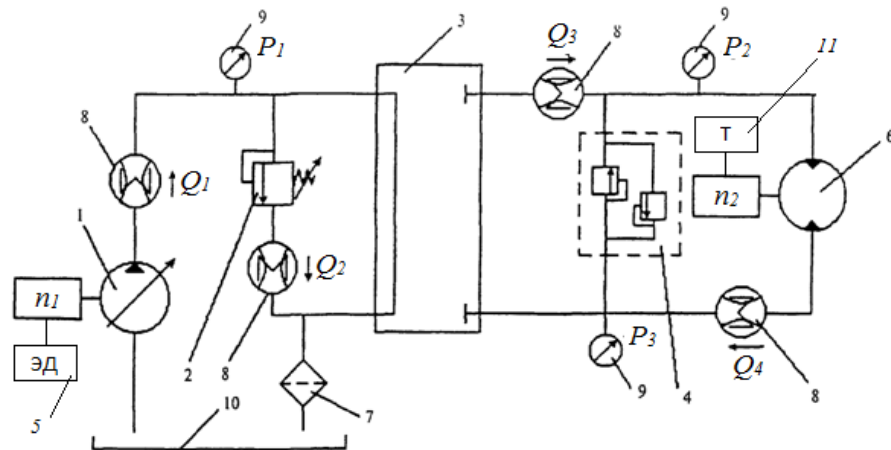


Рис. 1. Типова гідравлічна схема випробувального стенду

1-насос; 2-клапан; 3- блок розподільників; 4- блок клапанів гідромотора;  
5- електричний двигун; 6-гідромотор; 7- фільтр; 8- витратоміри;

9- манометри; 10- бак ( $Q_1$  – витрата в напірній магістралі насоса;  $Q_2$  – витрата на зливі клапана;  $Q_3$ - витрата на вході в гідромотор;  $Q_4$ - витрата на зливі гідромотора;  $P_1$ - тиск в напірній магістралі насоса;  $P_2$ - тиск на вході в гідромотор;  $P_3$ - тиск на зливі гідромотора;  $n_1$ - частота обертання валу насоса;  $n_2$ - частота обертання валу гідромотора); 11- гальмівний пристрій

Як впливає з рис.1 стенд дозволяє вимірювати:

- оберти насоса  $n_1$ , об/хв;
- витрати рідини в напірній магістралі насоса  $Q_1$ , л/ хв;
- витрати рідини на зливі запобіжного клапана  $Q_2$ , л/ хв;
- тиск в напірній магістралі насоса  $P_1$ , МПа;
- витрати рідини на вході в гідромотор  $Q_3$ , л/ хв;
- тиск в напірній магістралі перед мотором  $P_2$ , МПа;

- витрати рідини на виході з гідромотора  $Q_4$ , л/ хв;
- тиск на зливі з гідромотора  $P_3$ , МПа;
- оберти гідромотора  $n_2$ , об/ хв;
- величину крутного моменту гідромотора  $M_{кр}$ , Н·м;
- потужність приводного двигуна  $W$ , кВт.

Стенд обладнаний системою електромагнітного завантаження вала гідромотора з реєстрацією величини крутного моменту з похибкою до 5%.

### Результати досліджень

За даними витратомірів  $Q_1$  і  $Q_4$ , а також тахометрів  $n_1$  і  $n_2$ , рис.1, визначали коефіцієнт подачі насоса за формулою [15]:

$$\psi = \frac{1000 \cdot Q_1}{V_n \cdot n_1}, \quad (7)$$

де  $V_n$  – робочий об'єм насоса, для НП-90 становить  $89 \text{ см}^3$ .

Коефіцієнт корисної дії мотора визначається за формулою [15]:

$$\eta = \frac{V_m \cdot n_2}{1000 \cdot Q_3}, \quad (8)$$

де  $V_m$  – робочий об'єм мотора, для МП-90 становить  $89 \text{ см}^3$ .

Загальний ККД ГСТ визначається за виразом (1).

Потужність приводного електродвигуна стенда визначали за допомогою ваттметра, а також розраховували за формулою:

$$W = \frac{Q_n \cdot \Delta P}{60 \cdot \eta_{згм}} = \frac{128,25 \cdot 25}{60 \cdot 0,846} = 63,16 \text{ кВт}, \quad (9)$$

де  $\Delta P$  – різниця тиску в магістралях високого и низкого тиску, 25 МПа;

$\eta_{згм}$  – ККД, який враховує загальний та гідромеханичний ККД гідропривода:

$$\eta_{згм} = \psi \cdot \eta \cdot \eta_{гм} = 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 0,846, \quad (10)$$

де коефіцієнт подачі насоса  $\psi=0,98$ ;

ККД мотора  $\eta=0,96$ ;

$\eta_{гм}$  – гідромеханический КПД гідроприводу ГСТ-90 за технічною документацією дорівнює 0,9.

При застосуванні фулеренових композицій в робочій рідині відбувається зменшення витрат на тертя в трибосистемах НП-90 та МП-90. Це збільшує гідромеханичний ККД гідроприводу -  $\eta_{гм}$ . Збільшення  $\eta_{гм}$ , згідно з виразу (10), вплине на збільшення загального та гідромеханичного ККД -  $\eta_{згм}$ . Згідно виразу (9) більш високе значення  $\eta_{згм}$  буде зменшувати потужність приводного електродвигуна при випробуваннях ГСТ на стенді при незмінних коефіцієнта подачі насоса та ККД мотора.

Під час випробувань встановлювали частоту обертання вала насоса  $n_1 = 1500$  об/хв, при повністю відхиленій похилій шайбі сервоприводу насоса контролювали частоту обертання мотора -  $n_2$ , яка повинна становити  $n_2 = 1450 \pm 50$  об/хв. Після стабілізації частоти обертання виконували плавне додаткове

навантаження на вал гідромотора до величини номінального крутного моменту: для МП-90  $M_{кр}=311,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Після стабілізації параметрів виконуються вимірювання:  $n_1; n_2; Q_1; Q_2; Q_3; Q_4; P_1; P_2; P_3$ . За отриманими вимірами за формулою (7) розраховується коефіцієнт подачі  $\Psi$ , по формулі (8) - ККД мотора  $\eta$ , та по формулі (1) загальний ККД ГСТ,  $\eta_{заг}$ .

В процесі випробувань температура робочої рідини МГЕ-46В повинна знаходитися в межах  $50\pm 5^\circ\text{C}$ . Чистота робочої рідини в гідросистемі стенду повинна бути не нижче 12 класу чистоти по ГОСТ - 17216.

Випробування комплекту ГСТ на стенді проводили за двома етапами.

На першому етапі випробувань застосовували робочу рідину МГЕ-46В згідно технічних умов.

На другому етапі випробувань застосовували робочу рідину МГЕ-46В з додаванням фулеренової композиції.

Маса фулеренової композиції 100 г на один кілограм робочої рідини. Склад фулеренової композиції - 0,75 гр фулеренів та 99,25 гр рослинної ріпакової олії. Загальна маса фулеренової композиції 100 гр вводилася в 1000 гр базової робочої рідини МГЕ-46В, (10% мас.).

Результати випробувань кожного комплекту ГСТ-90 за першим етапом та другим етапом з фулереновою композицією в робочій рідині, з трьох-разовим навантаженням і подальшим розвантаженням, представлені в таблиці 1.

У таблиці представлені середні арифметичні значення за результатами трьох вимірів.

**Таблиця 1 - Результати випробувань ГСТ-90 при використанні робочої рідини МГЕ-46В**

ГСТ-90 Робоча рідина МГЕ-46В				ГСТ-90 Робоча рідина МГЕ-46В з фулереновою композицією		
№ п/н	$n_1$ , об/хв	$\eta_{заг}$	W, кВт	$n_1$ , об/хв	$\eta_{заг}$	W, кВт
1	1500	0,938	63,26	1500	0,939	52,27
2	1500	0,940	63,16	1500	0,940	52,17
3	1500	0,940	63,16	1500	0,938	52,19
4	1500	0,939	63,20	1500	0,938	52,27
5	1500	0,940	63,16	1500	0,939	52,10
6	1500	0,938	63,28	1500	0,940	52,18
7	1500	0,938	63,28	1500	0,940	52,10
8	1500	0,940	63,16	1500	0,939	52,0
9	1500	0,940	63,16	1500	0,939	52,19
10	1500	0,939	63,20	1500	0,939	52,10
11	1500	0,939	63,20	1500	0,940	52,11
12	1500	0,940	63,16	1500	0,940	52,17

Обсяг вибірки значень коефіцієнтів подачі  $\Psi$  і ККД  $\eta$  для насосів і моторів був перевірений на відповідність нормальному закону розподілу. Отримані розрахункові значення дозволяють зробити висновок, що представлені в таблиці 1 вибірки відповідають нормальному закону розподілу. Однорідність і відтворюваність результатів випробувань насосів і моторів, оцінювали за величиною критерію Кохрена, що дозволило встановити – отримані результати однорідні і відтворювані.

Отримані статистичні результати дозволяють зробити наступні висновки. Застосування фулеренової композиції: склад фулеренової композиції - 0,75 гр фулеренів та 99,25 гр рослинної ріпакової олії на 1000 гр базової робочої рідини

МГЕ-46В, (10% мас.), дозволяє знизити потужність приводного електродвигуна на 17,2...17,6%.

### Аналіз результатів досліджень

Використання фулеренової композиції в робочій рідині МГЕ-46В гідростатичних приводів сільськогосподарської техніки, наприклад, зернозбиральних комбайнів, під час експлуатації дозволить знизити потужність дизеля на привод ГСТ-90 на величину 17,2...17,6%.

Різниця в потужності дизеля, яка необхідна для приводу ГСТ-90 для забезпечення руху комбайну, дорівнює  $\Delta N_n = 11,18$  кВт. З урахуванням питомої витрати палива дизеля ЯМЗ-238АК ( $g_e = 220$  г/кВт·год), розрахуємо зменшення витрати палива дизелем під час експлуатації за виразом:

$$G_{\text{ч}} = \frac{\Delta N_n \cdot g_e}{1000} = \frac{11,18 \cdot 220}{1000} = 2,45 \text{ кг/год.}$$

Враховуючи те, що зернозбиральні комбайни за сезон напрацьовують не менш 300 мотогодин, економія палива складе 735 кг дизельного палива на одну машину.

### Висновки

Експериментальним шляхом отримані значення зниження потужності електродвигуна на привод ГСТ-90 під час випробувань на стенді. Встановлено, що при використанні фулеренової композиції (склад - 0,75 гр фулеренів та 99,25 гр рослинної ріпакової олії, 10% мас.) в робочій рідині МГЕ-46В, потужність електродвигуна на привод ГСТ зменшується на 17,2...17,6%.

Застосування фулеренової композиції в робочій рідині МГЕ-46В дозволить знизити витрати палива дизелем сільськогосподарської машини. На прикладі зернозбирального комбайна, де використовується ГСТ-90, розраховано зменшення витрати дизельного палива від застосування фулеренової композиції, економія палива складе 735 кг на одну машину.

### Список використаних джерел

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives // *Materials today: proceedings* Volume 25, Part 4, 2020, Pages 586-591 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>
2. Sheida Shahnazar, Samira Bagheri, Sharifah Bee Abd Hamid Enhancing lubricant properties by nanoparticle additives // *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 41, Issue 4, 2015, Pages 3153-3170 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.040>
3. Imran Ali, Al Arsh Basheer, Anastasia Kucherova, Nariman Memetov, Tatiana Pasko, Kirill Ovchinnikov, Vladimir Pershin, Denis Kuznetsov, Evgeny Galunin, Vladimir Grachev, Alexey Tkachev Advances in carbon nanomaterials as lubricants modifiers // *Journal of Molecular Liquids* Volume 279, 2019, Pages 251-266 <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.113>
4. Yanli Yao, Xiaomin Wang, Junjie Guo, Xiaowei Yang, Bingshe Xu Tribological property of onion-like fullerenes as lubricant additive // *Materials Letters* Volume 62, Issue 16, 2007, Pages 2524-2527 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.12.056>



5. L. Rapoport, Y. Feldman, M. Homyonfer, H. Cohen, J. Sloan, J. L. Hutchison, R. Tenne Inorganic fullerene-like material as additives to lubricants: structure–function relationship // *Wear* Volumes 225–229, Part 2, 1999, Pages 975-982 [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00040-X)
6. F. A. Yunusov, A. D. Breki, E. S. Vasilyeva, O. V. Tolochko The influence of nano additives on tribological properties of lubricant oil // *Materials today: proceedings* Available online 14 February 2020 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.447>
7. Xiaowei Li, Xiaowei Xu, Yong Zhou, Kwang-Ryeol Lee, Aiyang Wang Insights into friction dependence of carbon nanoparticles as oil-based lubricant additive at amorphous carbon interface // *Carbon*, Volume 150, 2019, Pages 465-474 <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.05.050>
8. Безмельницын В. Н., Елецкий А. В., Окунь М. В. Фуллерены в растворах // *Успехи физических наук*. — 1998, № 11, 1195—1220
9. Гиндзбург Б. М., Байдакова М. В., Киреев О. Ф. [и др.]. Влияние фуллеренов C<sub>60</sub>, фуллереновых саж и других углеродных материалов на граничное трение скольжение металлов // *Журнал технической физики*. — 2000, № 12, 87—97
10. Яхьяев Н. Я., Бегов Ж. Б., Батырмурзаев Ш. Д. Новая смазочная композиция для модификации поверхностей трибосопряжений судового малоразмерного дизеля // *Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология*. — 2009, № 1, 47—52
11. Кравцов А. Г. Разработка математической модели взаимодействия электрически активных гетерогенных мелкодисперсных систем на границе раздела поверхность трения — смазочная среда // *Проблемы трибологии*. — 2017, № 1, 89—99
12. Кравцов А. Г. Моделирование формирования масляной пленки на поверхности трения при наличии фуллереновых добавок в смазочном материале и ее влияние на скорость изнашивания трибосистем // *Проблемы трибологии*. — 2018, № 1, 69—77
13. Voiko I. G., Voitov A. V., Vojtov V. A. Structural identification of the mathematical model of diagnostic capacity hydraulic drive HST-90.112 // *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC equipment and energy* -К. – 2015. – №. 226. – С. 124-132.
14. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. [утвержден 01.01.1991 года] Москва, 1990.
15. ГОСТ Р ИСО 13379- 2009. Контроль состояния и диагностика машин. Руководство по интерпритации данных и методах диагностирования. [утвержден 15.12.2009 года] Москва, 2010. -23 с. (Информация и документация).

### References

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives // *Materials today: proceedings* Volume 25, Part 4, 2020, Pages 586-591 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>
2. Sheida Shahnazar, Samira Bagheri, Sharifah Bee Abd Hamid Enhancing lubricant properties by nanoparticle additives // *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 41, Issue 4, 2015, Pages 3153-3170 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.040>
3. Imran Ali, Al Arsh Basheer, Anastasia Kucherova, Nariman Memetov, Tatiana Pasko, Kirill Ovchinnikov, Vladimir Pershin, Denis Kuznetsov, Evgeny Galunin, Vladimir Grachev, Alexey Tkachev Advances in carbon nanomaterials as lubricants modifiers // *Journal of Molecular Liquids* Volume 279, 2019, Pages 251-266 <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.113>
4. Yanli Yao, Xiaomin Wang, Junjie Guo, Xiaowei Yang, Bingshe Xu Tribological property of onion-like fullerenes as lubricant additive // *Materials Letters* Volume 62, Issue 16, 2007, Pages 2524-2527 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.12.056>

5. L. Rapoport, Y. Feldman, M. Homyonfer, H. Cohen, J. Sloan, J. L. Hutchison, R. Tenne Inorganic fullerene-like material as additives to lubricants: structure–function relationship // *Wear* Volumes 225–229, Part 2, 1999, Pages 975-982 [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00040-X)

6. F. A. Yunusov, A. D. Breki, E. S. Vasilyeva, O. V. Tolochko The influence of nano additives on tribological properties of lubricant oil // *Materials today: proceedings* Available online 14 February 2020 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.447>

7. Xiaowei Li, Xiaowei Xu, Yong Zhou, Kwang-Ryeol Lee, Aiyang Wang Insights into friction dependence of carbon nanoparticles as oil-based lubricant additive at amorphous carbon interface // *Carbon*, Volume 150, 2019, Pages 465-474 <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.05.050>

8. Bezmel'nitsyn V. N., Yeletskiy A. V., Okun' M. V. Fullereny v rastvorakh // *Uspekhi fizicheskikh nauk.* — 1998, № 11, 1195—1220

9. Gindzburg B. M., Baydakova M. V., Kireyenko O. F. [i dr.]. Vliyaniye fullerenov S60, fullerenovykh sazh i drugikh uglerodnykh materialov na granichnoye treniye skol'zheniye metallov // *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki.* — 2000, № 12, 87—97

10. Yakh'yayev N. YA., Begov ZH. B., Batyrmurzayev SH. D. Novaya smazochnaya kompozitsiya dlya modifikatsii poverkhnostey tribosopryazheniy sudovogo malorazmernogo dizelya // *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya.* — 2009, № 1, 47—52

11. Kravtsov A. G. Razrabotka matematicheskoy modeli vzaimodeystviya elektricheskii aktivnykh geterogennykh melkodispersnykh sistem na granitse razdela poverkhnost' treniya — smazochnaya sreda // *Problemi tribologii.* — 2017, № 1, 89—99

12. Kravcov A. G. Modelirovaniye formirovaniya maslyanoy plenki na poverkhnosti treniya pri nalichii fullerenovykh dobavok v smazochnom materiale i yeye vliyaniye na skorost' iznashivaniya tribosistem // *Problemi tribologii.* — 2018, № 1, 69—77

13. Boiko I. G., Voitov A. V., Vojtov V. A. Structural identification of the mathematical model of diagnostic capacity hydraulic drive HST-90.112 // *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC equipment and energy -K.* — 2015. — №. 226. — C. 124-132.

14. RD 50-690-89. Metodicheskiye ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike. Metody otsenki pokazateley nadezhnosti po eksperimental'nym dannym. [utverzhen 01.01.1991 goda] Moskva, 1990.

15. GOST R ISO 13379- 2009. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Rukovodstvo po interpretatsii dannyykh i metodakh diagnostirovaniya. [utverzhen 15.12.2009 goda] Moskva, 2010. -23 s. (Informatsiya i dokumentatsiya).