



DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-16

УДК 621.43

О. Б. Стефановський, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-5851-5918

О. В. Болтянський, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9543-5538

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: mez@tsatu.edu.ua, тел: +38(0619) 42-04-42

УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГРЕСІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ФУНКЦІЯМИ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ШЕСТЕРЕНЬ МАСЛЯНИХ НАСОСІВ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Анотація. На основі аналізу опублікованих відомостей про шестерінчасті масляні насоси транспортних двигунів внутрішнього згоряння запропоновані уточнені варіанти регресійної залежності відношення ширини і зовнішнього діаметра шестерень такого насоса (з зовнішнім зачепленням) від різниці цих розмірів, коли ширина більше зовнішнього діаметра. Всього досліджено близько 30 конструкцій масляних насосів. Найбільш представницька з цих залежностей, що описує масляні насоси вітчизняних автотракторних двигунів (як бензинових, так і дизельних), має вигляд лінійної функції та характеризується середньою по абсолютній величині відносною похибкою близько 0,015. Інші варіанти залежностей, що представлені у формі квадратичних функцій логарифма різниці зазначених розмірів, відповідають меншим сукупностям масляних насосів дизелів різного призначення (з діаметром циліндрів від 21 до 40 см) і характеризуються цією похибкою близько 0,01 і 0,022.

Ключові слова: двигун, масляний насос, шестерня, ширина, зовнішній діаметр, параметр, регресійна залежність.

Постановка проблеми. Розвиток технологій виробництва сільськогосподарської продукції і техніки в Україні відбувається з урахуванням впливу досягнень науково-технічного прогресу в провідних країнах світу, де індустріальні методи в сільському господарстві поєднуються з високоефективними агротехнологіями. Їх впровадження зумовлює оновлення парку машин і прискорює технічний прогрес в сільськогосподарському машинобудуванні [1-4]. Рост автомобільного парку, а також інтенсифікація його використання призводять до загострення проблем вичерпання непоновлюваних природних, перш за все енергетичних ресурсів, до негативної дії на



навколишнє середовище в глобальному масштабі та на локальному рівні. Багато з названих причин є наслідком незадовільного стану двигунобудівної галузі [5,6]. На автомобілях та інших видах дорожньо-транспортних засобів встановлюються, в основному, двигуни внутрішнього згоряння. Основою автотранспортної енергетики в найближчому майбутньому будуть поршневі двигуни внутрішнього згоряння, які внаслідок столітнього розвитку досягли високої досконалості [7-9].

Аналіз останніх досліджень. Питаннями залежностей відносини основних розмірів шестерень масляних насосів автотракторних двигунів від різниці цих розмірів займалися такі вчені: Зейнетдинов Р. А., Д'яков І. Ф., Стефановський О. Б Яригін С. В., Запов Ю. И., Лашко В. А., Колчин А. І., Демідов В. П., Калімуллін Р. Ф., Горбачев С. В., Баловнев С. В., Тимченко І. І., Жадан П. В., Жилін С. С. та інші [10 – 18]. В роботі [19] представлені регресійні залежності (РЗ) відношення двох основних розмірів шестерень масляних насосів (МН) автотракторних двигунів із зовнішнім зачепленням – ширини b і зовнішнього діаметра d_{ex} – від різниці цих розмірів. Ці РЗ апроксимовані рядом математичних функцій, в яких різниця зазначених розмірів зведена в ступінь, який мало відрізняється від одиниці (0,95...1,17). Винятком є лише квадратична РЗ, що характеризує шестерні МН дизелів при $b \geq d_{ex}$:

$$\hat{b}/d_{ex} = 1,0 + 0,020(b - d_{ex}) - 0,00035(b - d_{ex})^2 \quad (1)$$

і відрізняється найбільш низьким коефіцієнтом кореляції, що дорівнює 0,89. Останнє викликано відносною нечисленністю дослідних точок (розглянутих конструкцій МН) і більш помітним їх розсіюванням, ніж в інших випадках.

В роботі [19] показано, що при розрахунку одного з основних розмірів шестірні МН дизеля при відомому другому, точність результату істотно залежить від правильності вибору величини коефіцієнта a_1 при квадраті різниці цих розмірів; в (1) цей коефіцієнт прийнятий 0,00035 в середньому для дослідженої в [19] сукупності точок. Тому доцільним є пошук іншої форми РЗ відношення b/d_{ex} від різниці цих розмірів у області $b \geq d_{ex}$.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є отримання більш чіткої РЗ відношення ширини і зовнішнього діаметра шестерні МН вітчизняних 4-тактних транспортних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) від різниці цих розмірів у області $b \geq d_{ex}$.

Основна частина. На рисунку 1 представлена досліджена сукупність дослідних точок для шестеренних МН транспортних ДВЗ з $b > d_{ex}$, істотно доповнена в порівнянні з роботою [19]. Всього розглянуто 10 конструкцій МН бензинових двигунів і 21 конструкція

МН дизелів. На графіку також нанесені лінії 4 і 5 двох РЗ, запропонованих в роботі [10] для автомобільних бензинових двигунів і різних дизелів (для останніх – згідно з (1)).

Як видно, формула (1) недостатньо добре відображає специфіку дослідженої сукупності точок і не може використовуватися при $b > 1,3d_{ex}$, а також для різниць розмірів шестерні 5...10 мм при $b = (1,03... 1,1)d_{ex}$. У той же час, РЗ згідно лінії 4, запропонована в [19] для вітчизняних автомобільних бензинових двигунів, незначно відрізняється від РЗ 1 для лівої підгрупи дослідчених точок на рис. 1, але непридатна для опису іншої частини дослідженої сукупності.

Пропонована РЗ, згідно з лінією 1 на рис. 1, більш універсальна, ніж РЗ 4 [19], і придатна для 19 МН всіх розглянутих автотракторних двигунів:

$$\hat{b}/d_{ex} = 1,0 + 0,0265(b - d_{ex}), \quad (2)$$

де числовий коефіцієнт при різниці розмірів знайдений методом найменших квадратів (МНК) з корекцією результату.

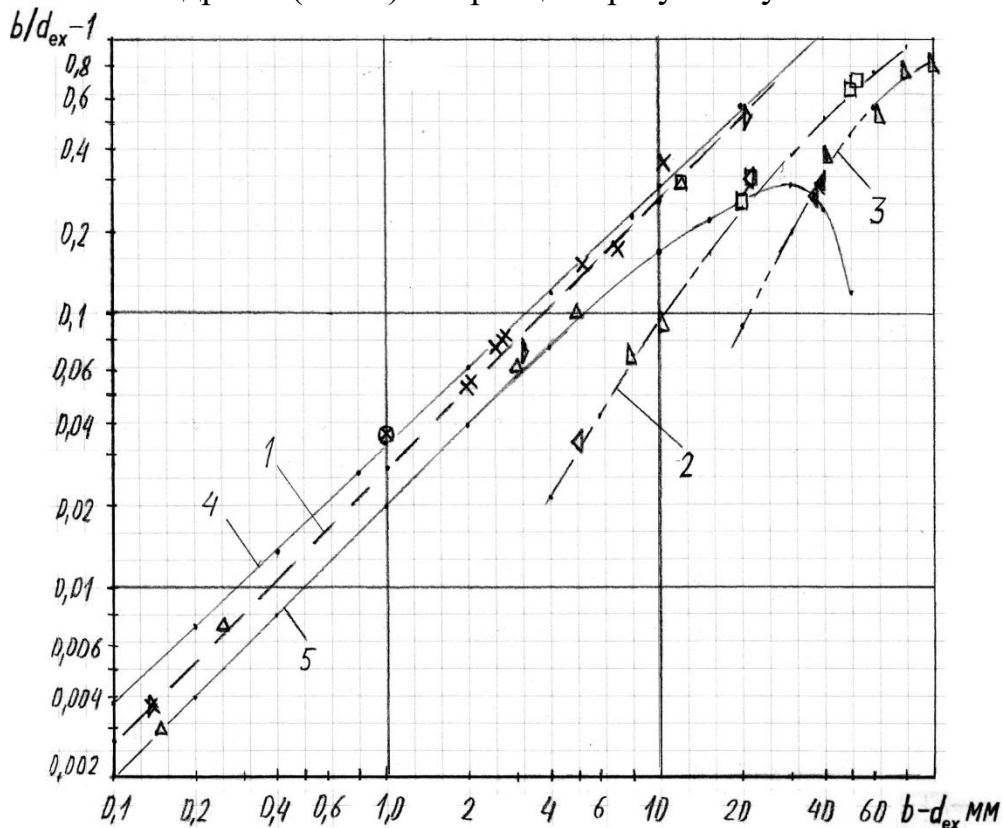


Рисунок 1. Регресійна залежність відношення ширини і зовнішнього діаметра шестерні МН вітчизняних транспортних ДВЗ, зменшеного на одиницю, від різниці цих розмірів (1 - автотракторні двигуни, 2 і 3 - дизелі різного призначення; 4 і 5 - РЗ, представлені в роботі [19]).

Цієї РЗ властиві коефіцієнт кореляції близько 0,985; середнє квадратичне відхилення (СКВ) 0,029; середня по абсолютній величині відносна похибка (САВП) близько 0,015; межі відносної похибки розрахункових значень b/d_{ex} близько $\pm 0,05$. Хоча ці показники точності РЗ (2) дещо гірше, ніж РЗ 4 [19], залежність (2) має більш широку область застосування і краще обгрунтована дослідними даними.

Решту точок на рис. 1, що відносяться до МН різних дизелів, виявилось можливим описати двома додатковими нелінійними РЗ, параметри яких знайдені тим же способом. РЗ 2, що характеризує МН багатоцільових дизелів з розмірністю 21/21 (виробляються в м. Єкатеринбург), тепловозних з розмірністю 24/27 і 25/27 (випускалися в незначній кількості в м. Харків) і суднових з розмірністю 36/45 (випускалися в м. Нижній Новгород), має вигляд

$$b\hat{d}_{ex} = 1,0 + \exp(-6,57 + 2,21\ln(b - d_{ex}) - 0,165\ln^2(b - d_{ex})) \quad (3)$$

і близька за формою до квадратичної функції. Цієї РЗ властиві коефіцієнт кореляції близько 0,999; СКВ 0,015; САВП близько 0,01; межі відносної похибки розрахункових значень b/d_{ex} близько $\pm 0,015$.

РЗ 3, що характеризує МН суднових дизелів з розмірністю 40/46 (німецької фірми MAN), тепловозних дизелів з розмірностями 31/36 (чехословацької фірми «ЧКД») і 26/26 (виробляються в м. Коломна), має вигляд

$$b\hat{d}_{ex} = 1,0 + \exp(-13,5 + 5,2\ln(b - d_{ex}) - 0,50\ln^2(b - d_{ex})) \quad (4)$$

і близька за формою до кубічної функції. Цієї РЗ властиві коефіцієнт кореляції близько 0,987; СКВ 0,04; САВП близько 0,022; межі відносної похибки розрахункових значень b/d_{ex} близько $\pm 0,04$.

РЗ (2) можна записати у формі, аналогічній РЗ (3) і (4):

$$b\hat{d}_{ex} = 1,0 + \exp(-3,6306 + \ln(b - d_{ex}) - 0 \cdot \ln^2(b - d_{ex})). \quad (5)$$

При зіставленні отриманих РЗ видно, що чим більше (в середньому) різниця розмірів шестерні $b - d_{ex}$, тим більше по величині стають коефіцієнти при ступенях логарифма цієї різниці. Для ліній 1, 2 і 3 (рис. 1) середня величина цієї різниці близька до 4, 12 і 60 мм. Видно, що при значеннях $b - d_{ex} = 5 \dots 10$ мм можна знехтувати кривизною лінії 2, і тоді, згідно з (3), показник ступеня у різниці розмірів буде близько 1,9. Якщо різниця розмірів шестерні більше 10 мм, але менше 22 мм, то проста форма РЗ 1 (2) може використовуватися тільки для відношення $b/d_{ex} = 1,28 \dots 1,52$, властивого МН автотракторних 6- і 8-циліндрових дизелів ЯМЗ з розмірністю 13/14 і застарілих 6-циліндрових автомобільних бензинових двигунів «Урал».

Таким чином, заміна квадратичної РЗ (1) [19] трьома РЗ (2 – 4) привела до істотного поліпшення точності опису досліджених

досвідчених даних, що відносяться до розширеної сукупності МН вітчизняних і деяких іноземних транспортних ДВС з $b > d_{ex}$.

Недоліком різниці розмірів шестерні МН, як незалежної змінної, можна вважати неоднозначність відновлення значень цих розмірів для відомої їх різниці. Щоб послабити цей недолік, були досліджені залежності різниці двох розмірів шестерні МН від кожного з цих розмірів (рис. 2).

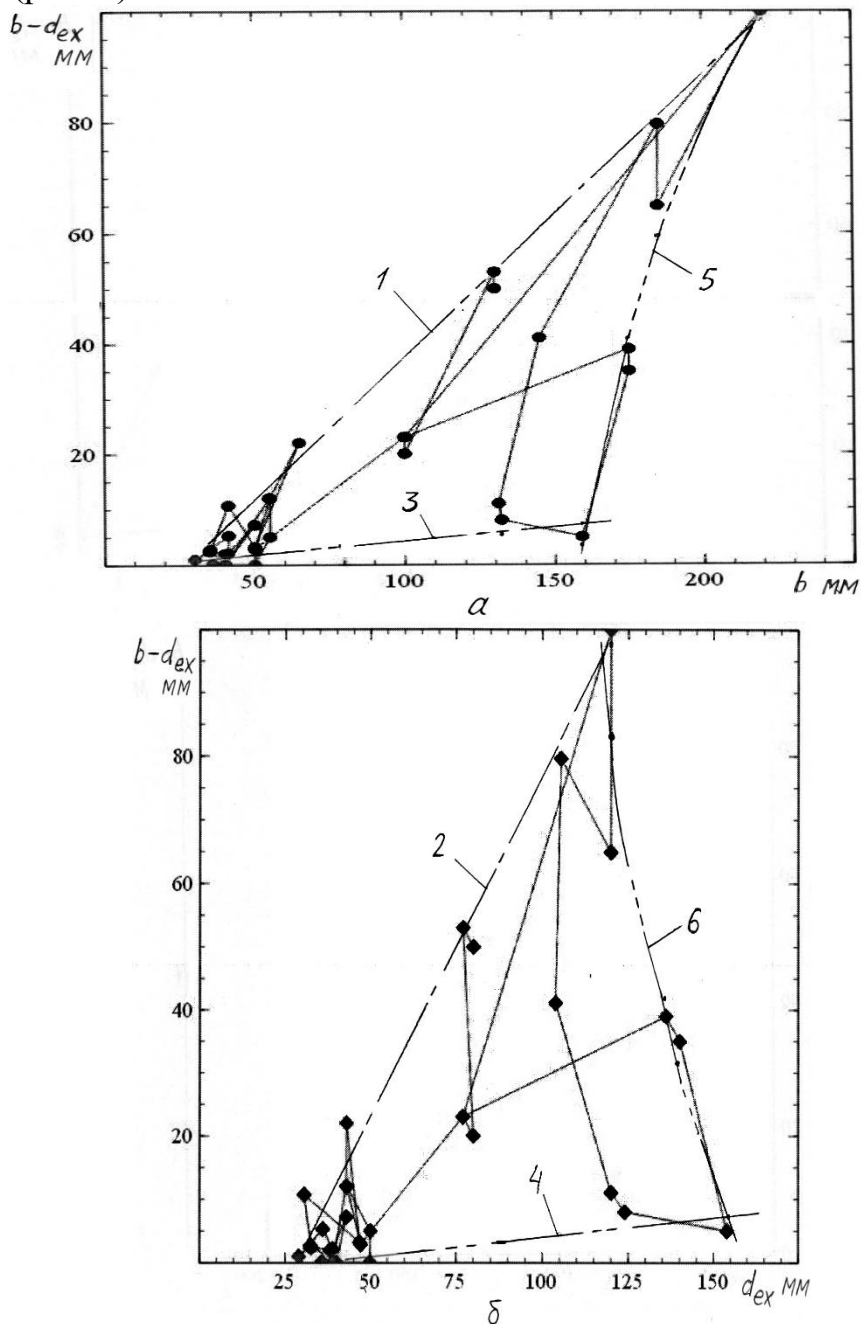


Рисунок 2. Регресійні залежності різниці ширини і зовнішнього діаметра шестерні МН вітчизняних транспортних ДВС від цих розмірів (a – від b , δ – від d_{ex} ; граничні лінії 1 і 2 – ліві, 3 і 4 – нижні, 5 і 6 – праві).

Як видно на графіках, дослідні точки розміщуються майже повністю в межах трикутних областей, межами яких служать прямі і



криві другого порядку. Крім лівій нижній частині, форма цих областей визначається положенням точок, що належать до розглянутих МН різних дизелів, у яких широко змінюються розміри шестерень. Лінії, якими з'єднані окремі точки на графіках рис. 2, згенеровані програмою *Veusz* і не є РЗ.

Праві криві 5 і 6 відносяться до тепловозних і суднових дизелів, які мають підвищені значення діаметра циліндрів (26...40 см) і не застосовуються в аграрному виробництві. Нижні лінії 3 і 4 відповідають лівим нижнім точкам, які в основному відносяться до МН автотракторних дизелів (розмірностей 8,7/9,4, 10/13, 13/14, 14,5/20,5), і правим нижнім точкам, які характеризують МН тепловозних і суднових дизелів з діаметром циліндрів 25 і 36 см.

Нарешті, лівими лініями 1 і 2 з'єднані ліві точки МН ряду автотракторних двигунів з правими верхніми точками, які належать до МН дизелів з розмірностями 21/21 і 26/26. Тому для автотракторних двигунів треба враховувати співвідношення розмірів шестерень МН і різниць цих розмірів, що відповідають лівим частинам ліній 1 – 4.

Ліві лінії 1 і 2 на рис. 2 математично описуються формулами, коефіцієнти яких знайдені за допомогою МНК:

$$(b - d_{ex})_{\max} = -14,23 + 0,512b; (b - d_{ex})_{\max 1} = -32,93 + 1,0835d_{ex}. \quad (6a, 6b)$$

Нижні лінії 3 і 4 описуються формулами:

$$(b - d_{ex})_{\min 1} = -1,980 + 0,058b; (b - d_{ex})_{\min} = -2,072 + 0,061d_{ex}. \quad (7a, 7b)$$

При цьому формулу (6б) можна використовувати для $d_{ex} \approx 30... 120$ мм, а формулу (7а) – для $b \approx 30... 160$ мм. Якщо $d_{ex} > 120$ мм, то замість (6б) потрібно використовувати квадратичну функцію (8б), відповідну кривої 6, а якщо $b > 160$ мм, то замість (7а) – функцію (8а), відповідну кривої 5:

$$(b - d_{ex})_{\min 2} = -828,6 + 7,855b - 0,0165b^2; \quad (8a)$$

$$(b - d_{ex})_{\max 2} = 646,6 - 6,608d_{ex} + 0,0159d_{ex}^2. \quad (8b)$$

Так як точність відтворення малих значень різниць розмірів шестерні МН цими формулами (особливо (6б)) невелика, середня відносна похибка розрахунку меж зміни $b - d_{ex}$ з їх допомогою, як правило, перевищує одиницю. Тому ними можна користуватися для якісного прогнозу величини цих меж, коли заданий один з розмірів шестерні.

Висновки. Завдяки аналізу відомостей про шестерінчастих масляних насосах із зовнішнім зачепленням, встановлених в вітчизняних транспортних ДВС (а також деяких дизелях іноземного виробництва), отримані три варіанти (2, 3, 4) РЗ відношення ширини шестерні насоса до зовнішньому діаметру від різниці цих розмірів (для



випадку $b > d_{ex}$). Кожен з цих варіантів точніше, ніж спочатку запропонована [1] для МН дизелів квадратична залежність (1). Для досліджених МН автотракторних двигунів (як бензинових, так і дизельних) отримана лінійна регресійна залежність b/d_{ex} від $b - d_{ex}$ (2), яка замінює раніше отриману [19] для МН вітчизняних автомобільних бензинових двигунів. Межі зміни різниці розмірів шестерні МН $b - d_{ex}$ можна приблизно встановити за допомогою функцій (6а, 6б, 7а, 7б, 8а, 8б), в залежності від будь-якого з цих розмірів.

Список використаних джерел

1. Sosnowski S. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 16. No. 2. Pp.49–54.
2. Boltianska N. I., Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.
3. Podashevskaya H. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Минск, 2020. С. 519-522.
4. Skliar A., Boltyanskyi B. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. Pp. 249-258.
5. Boltyanska N. Justification of choice of heating system for pigsty. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.
6. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux. 2020. Pp. 478-480.
7. Podashevskaya H., Serebryakova N. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.
8. Boltianskyi O.V., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. WayScience. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. С. 27-29.
9. Zhuravel D., Boltianska N. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference*. Athens. 2021. Pp. 231-233.
10. Стефановский А. Б., Болтянский О. В. Свойства регрессионных зависимостей отношения основных размеров шестерён масляных насосов автотракторных двигателей от разности этих размеров. *Праці Таврійського державного аграрного університету. Технічні науки*.



Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 203-224. DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-203-224.

11. Зейнетдинов Р. А., Дьяков И. Ф., Ярыгин С. В. Проектирование автотракторных двигателей: учеб. пособие. Ульяновск, 2004. 168 с.

12. Автомобильные двигатели: курсовое проектирование / Под ред. М. Г. Шатрова. М.: Академия, 2011. 256 с.

13. Запов Ю. И., Лашко В. А. Системы топливоподачи, охлаждения и смазки поршневых двигателей: учеб. пособие. Хабаровск: Изд. ТОГУ, 2009. 202 с.

14. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. М.: Колос, 1984. 336 с.

15. Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 1971. 344 с.

16. Калимуллин Р. Ф., Горбачев С. В., Баловнев С. В. Расчет автомобильных двигателей. Методические указания к курсовому проектированию. Ч. 2. Расчеты основных деталей и систем двигателя. Конструирование двигателя. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 95 с.

17. Тимченко І. І., Жадан П. В., Жилін С. С. Системи ДВЗ: навч. посібник. Харків: ХНАДУ, 2007. 204 с.

18. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей / Под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1985. 456 с.

19. Стефановский А. Б. Соотношения между основными размерами шестерён масляных насосов отечественных автотракторных двигателей. *Праці Таврійського державного аграрного університету. Технічні науки*. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 156-167. DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-156-167.

Стаття надійшла до редакції 8.04.2021 р.

A. Stefanovsky, O. Boltyansky
Dmitro Motorny Tavriya State Agritechnical University

**REFINING PARAMETERS OF THE REGRESSION BETWEEN FUNCTIONS
OF THE MAIN DIMENSIONS OF GEARS OF OIL PUMPS OF VEHICLE
INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

Summary

The development of technologies for the production of agricultural products and machinery in Ukraine is taking into account the impact of scientific and technological progress in the leading countries of the world, where industrial methods in agriculture are combined with highly efficient agricultural technologies. Their implementation leads to the renewal of the fleet and accelerates technical progress in agricultural engineering. Based on the analysis of published data on gear oil pumps of transport internal combustion engines, refined variants of the regression of the ratio of the gear width and



gear outer diameter of such a pump (with external gearing) against the difference of these dimensions, when the gear width is greater than the outer diameter, are proposed. In total, about 30 designs of oil pumps are investigated. The most representative of these regressions, describing the oil pumps of domestic automotive engines (both gasoline and diesel), has the form of a linear function and is characterized by an average relative error of about 0.015 in absolute value. Other variants of the regression, presented in the form of quadratic functions of the logarithm of the difference of the two gear dimensions, correspond to smaller sets of oil pumps for diesel engines for various purposes (with cylinder diameters from 21 to 40 cm) and are characterized by the error of about 0.01 and 0.022. Regressions of the difference of the two gear dimensions against both of them are analyzed. Plotted experimental points form triangular areas, borders of which are described by linear and quadratic functions. They allow rough prediction of limiting values of the difference when one of the gear dimensions is given. It can be seen that the difference of the two gear dimensions more often increases with increasing any of them. However, reverse trend is also seen when the gear outer diameter is greater than 100 mm.

Key words: engine, oil pump, gear, width, outer diameter, parameter, regression.

А. Б. Стефановский, О. В. Болтянский

**Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного**

**УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ
МЕЖДУ ФУНКЦИЯМИ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ШЕСТЕРЁН
МАСЛЯНЫХ НАСОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Аннотация

На основе анализа опубликованных сведений о шестерённых масляных насосах транспортных двигателей внутреннего сгорания предложены уточнённые варианты регрессионной зависимости отношения ширины и наружного диаметра такого насоса (с внешним зацеплением) от разности этих размеров, когда ширина больше наружного диаметра. Всего исследованы около 30 конструкций масляных насосов. Наиболее представительная из этих зависимостей, описывающая масляные насосы отечественных автотракторных двигателей (как бензиновых, так и дизельных), имеет вид линейной функции и характеризуется средней по абсолютной величине относительной погрешностью около 0,015. Другие варианты зависимости, представленные в форме квадратичных функций логарифма разности указанных размеров, соответствуют меньшим совокупностям масляных насосов дизелей различного назначения (с диаметром цилиндров от 21 до 40 см) и характеризуются этой погрешностью около 0,01 и 0,022.

Ключевые слова: двигатель, масляный насос, шестерня, ширина, наружный диаметр, параметр, регрессионная зависимость.