

УДК 624.664

Ю.В. Кулешков, проф., канд. техн. наук, М.І. Черновол, проф., док. техн. наук,
Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. фіз.-мат. наук,
Р.А. Осин, инж.

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насосу типу НШ від параметрів зубчатого зачеплення

Одним з перспективних напрямків подальшого вдосконалення конструкції шестеренних насосів гідроприводу сільськогосподарських машин є підвищення його питомих показників подачі. Дослідження розробленої математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насоса дозволило визначити ступінь впливу параметрів зубчатого зачеплення на питомий робочий об'єм шестеренного насоса.
шестеренний насос, параметри зубчатого зачеплення, питомий робочий об'єм

В попередній статті [1] нами були визначені шість напрямків подальшого вдосконалення шестеренного насоса (НШ) реалізація яких дозволить підвищити рейтинг НШ серед насосів об'ємного типу і потіснить інші типи насосів з ринку об'ємних насосів. При цьому першим напрямком подальшого вдосконалення НШ є напрям підвищення його питомої потужності, що реалізується підвищенням його питомого робочого об'єму.

В цій же роботі [1] нами була отримана математична модель питомого робочого об'єму НШ, який представляє собою відношення робочого об'єму насоса до об'єму, зайнятому вінцями шестерень від параметрів зубчатого зачеплення (ЗЗ) шестерень НШ з відповідними обмежувачими умовами:

$$V_{0\text{ ном}} = \frac{\pi}{2} \frac{\left(De^2 - A^2 - \frac{t_0^2}{3} \right)}{D_e (0,25 \pi D_e + A)}, \quad (1)$$

де $V_{0\text{ ном}}$ – питомий робочий об'єм насоса (ПРОН);

D_e – діаметр вершин зубів шестерень, мм;

A – міжцентрова відстань (МЦВ), мм;

t_0 – крок зачеплення по основній кола, мм.

Питомий робочий об'єм насоса (ПРОН) визначає технічний рівень ЗЗ качаючого вузла (КВ) насоса по подачі і може служити критерієм оптимізації ЗЗ КВ НШ по подачі.

В цій роботі ставиться задача оцінити ступінь впливу параметрів ЗЗ КВ НШ на параметр оптимізації питомого робочого об'єму насоса.

Відзначимо, що в процесі дослідження при виборі змінних, що впливають на ПРОН виходили з реальної можливості їх зміни з метою отримання можливості керувати ПРОН.

1. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від зовнішнього діаметру шестерень.

Аналізуючи залежність (1) бачимо, що збільшення зовнішнього діаметра шестерень веде до збільшення ПРОН - $V_{0\text{ ном}}$, оскільки з ростом аргументу - De швидкість росту чисельника перевищує швидкість росту знаменника.

Знайшовши першу похідну, знайдемо швидкість зростання ПРОН - $V_{0\text{mm}}$ від зміни діаметра вершин зубів шестерень - De :

$$\frac{\partial V_{0\text{mm}}}{\partial De} = \frac{\pi}{(0,25 \pi De + A)} - \frac{\pi}{2} \frac{\left(De^2 - A^2 - \frac{t_0^2}{3} \right) (0,5 \pi De + A)}{De^2 (0,25 \pi De + A)^2}. \quad (2)$$

Знайдені залежності представлені на рис. 1. Тут і надалі, як приклад, розрахунки зроблені для параметрів 33 КВ, що відповідають серійному насосу НШ-32 УК.

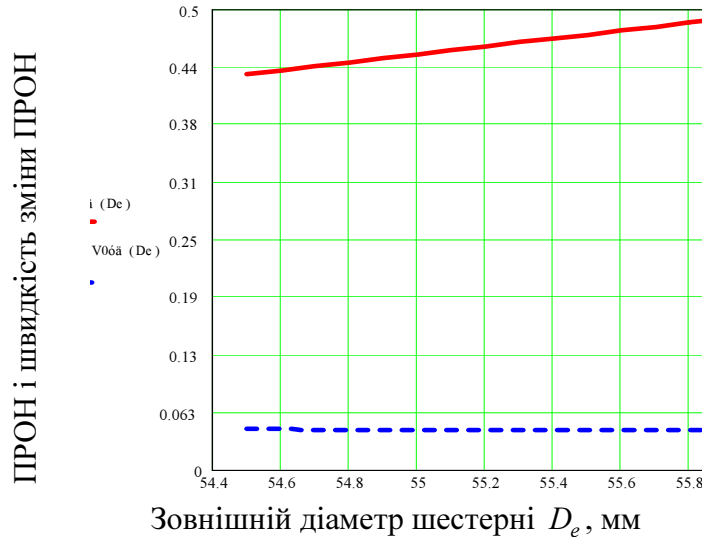


Рисунок 1 - Залежність ПРОН - $V_{0\text{mm}}$ і швидкості зміни ПРОН - $\frac{\partial V_{0\text{mm}}}{\partial De}$ від зміни зовнішнього діаметра шестерень

З рис. 1 бачимо, що з ростом зовнішнього діаметра шестерень - De відбувається збільшення ПРОН - $V_{0\text{mm}}$ практично по лінійній залежності. Швидкість зміни ПРОН - $V_{0\text{mm}}$ (2), носить слабо виражений спадаючий характер. Середня швидкість зростання ПРОН - $V_{0\text{mm}}$ складає $\frac{\partial V_{0\text{mm}}}{\partial De} = 0,043 \text{ мм}^{-1}$.

Відповідно до отриманих результатів можна рекомендувати для отримання максимального значення ПРОН використовувати шестерні з максимально можливим значенням зовнішнього діаметра - De .

2. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від міжцентрової відстані.

Аналіз залежності (1), а також графіки представлені на рис. 2 дають підстави стверджувати, що залежність ПРОН від - A носить нелінійний спадаючий характер.

Знайшовши першу похідну, знайдемо швидкість спадання ПРОН - від зміни МЦВ - A :

$$\frac{\partial V_{0\text{mm}}}{\partial A} = \frac{-\pi A_0}{De (0,25 \pi De + A)} - \frac{\pi \left(De^2 - A^2 - \frac{t_0^2}{3} \right)}{2 De (0,25 \pi De + A)^2}. \quad (3)$$

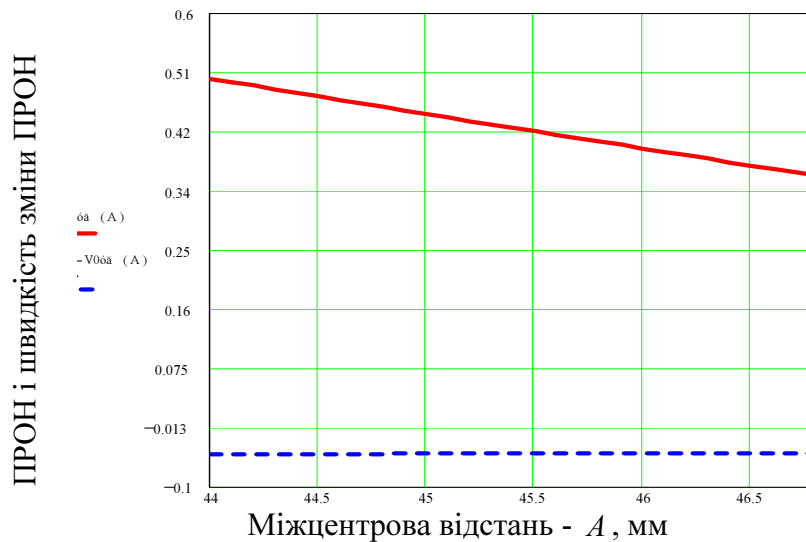


Рисунок 2 – Залежність ПРОН - $V_{0_{min}}$ і швидкість зміни ПРОН - $\frac{\partial V_{0_{min}}}{\partial A}$ від міжцентрної відстані - A

З рис. 2 бачимо, що з ростом МЦВ - A відбувається спадання ПРОН - $V_{0_{min}}$ практично по лінійній залежності. Але аналіз залежності (3) свідчить про те, що швидкість спадання ПРОН - $V_{0_{min}}$ в залежності від МЦВ - A носить нелінійний спадаючий характер. З

рис. 2 бачимо, що швидкість спадання ПРОН - $V_{0_{min}}$ складає $\frac{\partial V_{0_{min}}}{\partial A} = 0,051 \text{ мм}^{-1}$.

Як бачимо, для отримання максимального значення ПРОН необхідно прагнути до використання ЗЗ з мінімальним значенням МЦВ.

Для проведення більш глибокого дослідження залежності ПРОН необхідно представити його в залежності від вихідних параметрів, що визначають форму і основні параметри ЗЗ.

Відомо, що ЗЗ може бути задано п'ятьма параметрами [2, 3]. В класичному варіанті – цими параметрами є параметри інструменту і параметри ЗЗ шестерень.

При розрахунку ЗЗ, при заданому коефіцієнті профільного зміщення (КПЗ) вихідними даними для розрахунку прямозубого ЗЗ є наступні параметри:

z – число зубів;

m – модуль зачеплення;

α_0 – кут вихідного профілю;

ξ – коефіцієнт профільного зміщення;

χ – коефіцієнт висоти головки зуба.

При розрахунку ЗЗ при заданому МЦВ - A вихідними даними для розрахунку прямозубого ЗЗ є ті ж параметри ЗЗ, але замість заданого КПЗ - ξ - задається МЦВ - A .

Можна вибрати і будь-який інший набір вихідних параметрів, а вищенаведені параметри виразити через них. Але більш зручно вибирати такі параметри, якими можна було б легко керувати з метою отримання ЗЗ із заданими властивостями, як правило - це параметри формуючого інструменту.

Крім цього існує ще ряд умов, що обмежують область існування параметрів ЗЗ з метою отримання працездатного ЗЗ. До цих параметрах слід віднести:

ε – коефіцієнт перекриття зубчатого зачеплення (КПЗ), при цьому:

$$\varepsilon \geq 1, \quad (4)$$

S_e – товщину зуба на вершині, при цьому:

$$S_e \geq 0,2 m, \quad (5)$$

відсутність інтерференції зубів шестерень, ця умова записується у вигляді:

$$\rho_L < \rho_P, \quad (6)$$

При цьому складові залежності (6) можуть бути визначені:

– радіус кривизни в граничній точці профілю зуба:

$$\rho_L = 0,5 d \sin \alpha_0 - \frac{1 - \xi}{\sin \alpha_0} m, \quad (7)$$

– радіус кривизни активного профілю зуба в нижній точці:

$$\rho_P = A \sin \alpha - 0,5 d_0 \operatorname{tg} \gamma_e. \quad (8)$$

Нас буде цікавити залежність ПРОН - V_{0num} від початкових параметрів ЗЗ.

Перетворимо залежність (1) з урахуванням відомих залежностей теорії евольвентного ЗЗ [2, 3, 4] до виду:

$$V_{0num} = \frac{\pi}{2} \frac{[z \cos \alpha + 2\chi \cos \alpha - 2\xi \cos \alpha + 2z (\cos \alpha_0 - \cos \alpha)]^2 - (z \cos \alpha_0)^2 - \frac{(\pi \cos \alpha_0 \cos \alpha)^2}{3}}{[z \cos \alpha + 2\chi \cos \alpha - 2\xi \cos \alpha + 2z (\cos \alpha_0 - \cos \alpha)] \cdot [0,25 \pi [z \cos \alpha + 2\chi \cos \alpha - 2\xi \cos \alpha + 2z (\cos \alpha_0 - \cos \alpha)] + z \cos \alpha_0]}. \quad (9)$$

Аналізуючи отримані залежності (9) приходимо до наступних висновків.

По-перше, ПРОН - V_{0num} не залежить від модуля зачеплення, що з точки зору фахівця по НШ на перший погляд виглядає парадоксальним. Оскільки відомі залежності подачі НШ, в які модуль ЗЗ входить у квадраті [3, 4, 5, 6]. Це пояснюється тим, що у вказаних залежностях мова йде про визначення подачі або РОН, які дійсно залежать від квадрата модуля, але і габарити НШ змінюються за такою ж залежністю, а їх відношення, виявляється, не залежить від модуля ЗЗ.

По-друге, аналітично оцінити ступінь впливу того чи іншого параметра ЗЗ на ПРОН - V_{0num} не представляється можливим. Це пояснюється тим, що вихідні параметри ЗЗ, не є незалежними. Вони залежать один від одного по складним залежностям, причому ці залежності не завжди можна виразити в явному вигляді, оскільки вони часто носять трансцендентний характер.

Далі нам необхідно дослідити характер зміни ПРОН, представленого у вигляді (9) від наступних параметрів ЗЗ, що визначають форму евольвентного профілю зубів шестерень:

z – числа зубів шестерень;

α – кута зачеплення, град;

α_0 – кута вихідного профілю;

ξ – коефіцієнта профільного зміщення;

χ – коефіцієнта висоти головки зуба.

3. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від числа зубів шестерень

Одним з найважливіших вихідних параметрів при розрахунку ЗЗ є число зубів шестерень, яке має істотний вплив на ПРОН - V_{0num} НШ. Аналіз отриманих раніше аналітичних залежностей ПРОН виду (9) не дає можливості визначити характер поведінки ПРОН - V_{0num} від числа зубів шестерень насоса - z . А тому визначимо дану залежність

чисельним методом шляхом розрахунку ПРОН у відповідності з залежністю (9). Для проведення відповідних розрахунків задамося наступними вихідними даними:

- числом зубів, $z = 5 \dots 30$;
- модулем зачеплення, $m = 5$;
- кутом вихідного профілю, $\alpha_0 = 20^\circ$;
- кутом зачеплення, $\alpha = 20^\circ$;
- КПЗ приймаємо рівним $\xi = 0$.

В результаті розрахунку геометричних параметрів 33 отримаємо необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН - $V_{0_{num}}$ від кількості зубів шестерень z .

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - $V_{0_{num}}$ (9) по числу зубів, після відповідних спрощень отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності:

$$\frac{\partial V_{0_{num}}}{\partial z} = \frac{\pi^3 \cos^2 \alpha \cos^2 \gamma_e}{3 z^3 (0.0625 \pi^2 \cos^2 \alpha + \cos \alpha \cos \gamma_e)}. \quad (10)$$

Візуально результати розрахунків зміни ПРОН - $V_{0_{num}}$ і швидкості зміни ПРОН від числа зубів - z відображені графічними залежностями, представленими на рис. 3.

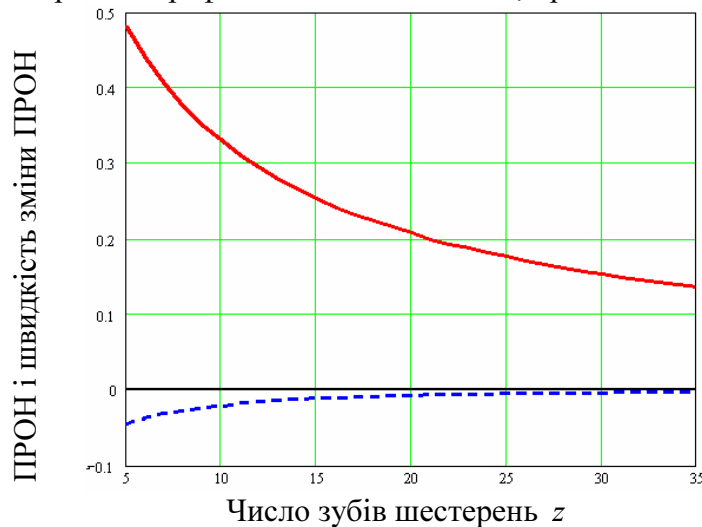


Рисунок 3 – Залежність ПРОН - $V_{0_{num}}$ і швидкості зміни ПРОН від кількості зубів шестерень - z

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 3 бачимо, що функція залежності ПРОН - $V_{0_{num}}$ від числа зубів шестерень - z носить криволінійний спадаючий характер. Максимальна швидкість спадання залежності ПРОН спостерігається на інтервалі $z = 5 \dots 15$ зубів (див. рис. 3).

Залежність швидкості зміни ПРОН носить криволінійний зростаючий характер. З рис. 3 бачимо, що крива швидкості зміни ПРОН у своїй зміні асимптотично наближається до горизонталі з ординатою „0”.

Аналізуючи криві, представлені на рис. 3, бачимо, що максимальна швидкість зміни ПРОН спостерігається на інтервалі $z = 5 \dots 15$ зубів, про це свідчить, як крива зміни ПРОН, так і крива швидкості зміни ПРОН. На зазначеному інтервалі відбувається інтенсивне зниження ПРОН - $V_{0_{num}}$ по криволінійній залежності, в той час, як за межами даного інтервалу спостерігається менш інтенсивне зниження ПРОН - $V_{0_{num}}$, практично по лінійній залежності.

Визначимо середню швидкість зміни ПРОН в розрахунку на один зуб:

- на інтервалі $z = 5...35 - \overline{VV_{0num}}(z) = -0,011$;
- на інтервалі $z = 5...15 - \overline{VV_{0num}}(z) = -0,035$;
- на інтервалі $z = 15...35 - \overline{VV_{0num}}(z) = -0,006$.

Як бачимо середня швидкість зміни ПРОН на інтервалі $z = 5...15$ майже в 3 рази вище, ніж на всьому інтервалі зміни кількості зубів - $z = 5...35$ і в 6 разів вище ніж на інтервалі $z = 15...35$.

Звідси випливає, що число зубів шестерень слід вибирати з інтервалу $z = 5...15$. При цьому, по можливості, слід прагнути до проектування шестерень з мінімальним числом зубів. Таке ЗЗ забезпечить, при інших рівних умовах максимальне значення ПРОН.

4. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від кута зачеплення. Одним з найважливіших інтегральних характеристик ЗЗ після його синтезу є кут зачеплення передачі - α , який визначається і КПС - ξ і МЦВ - A та іншими вихідними параметрами ЗЗ. Змінюючи кут зачеплення можна істотно впливати на всі функціональні характеристики ЗЗ, в тому числі і ПРОН. В цьому розділі нам належить з'ясувати, як залежить ПРОН від кута зачеплення шестерень НШ.

Як і в попередньому розділі, цю залежність будемо шукати чисельним методом шляхом розрахунку ПРОН у відповідності з залежністю (9). Для проведення відповідних розрахунків задамося наступними вихідними даними:

- числом зубів, $z = 8$;
- модулем зачеплення, $m = 5$;
- кутом вихідного профілю, $\alpha_0 = 20^\circ$;
- КПЗ приймаємо у відповідності до значень, які мають місце на практиці при виробництві шестеренних насосів, $\xi = 0$.
- кут зачеплення будемо приймати з інтервалу $\alpha = 5^\circ...50^\circ$.

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - V_{0num} (9) по куту зачеплення - α отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності:

$$\frac{\partial V_{0num}}{\partial \alpha} = m \operatorname{tg} \alpha (z - 2\chi + 2\xi) \left[\frac{6\pi + 2\pi^2 \cos^2 \alpha_0 \sin 2\alpha - 3 V_{0,yd} \pi}{3(D_e + 4 A_0)} - \frac{V_{0,yd}}{D_e} \right]. \quad (11)$$

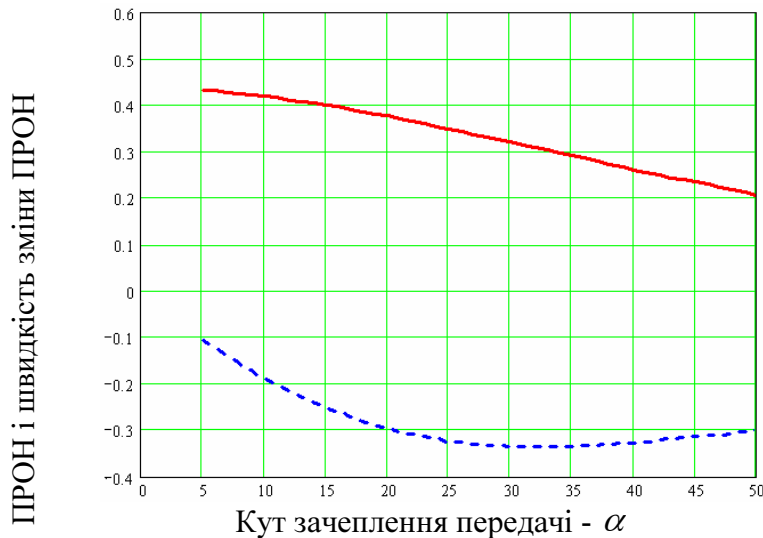
В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ ми отримаємо необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН - V_{0num} і швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення шестерень насоса - α . Результати розрахунку зміни ПРОН - V_{0num} і швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення - α відображені графічними залежностями на рис. 4.

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 4 бачимо, що функції залежності ПРОН - V_{0num} від кута зачеплення - α носить криволінійний спадаючий характер.

Визначимо середню швидкість зміни ПРОН в розрахунку на один градус зміни кута зачеплення - α :

- на інтервалі $\alpha = 5^\circ...50^\circ - \overline{VV_{0num}}(\alpha) = -0,00501$ град⁻¹.
- на інтервалі $\alpha = 5^\circ...20^\circ - \overline{VV_{0num}}(\alpha) = -0,003758$ град⁻¹
- на інтервалі $\alpha = 20^\circ...50^\circ - \overline{VV_{0num}}(\alpha) = -0,005639$ град⁻¹.

Як бачимо середня швидкість зміни ПРОН на інтервалі $\alpha = 5^\circ...20^\circ$ нижче, ніж на інтервалі $\alpha = 20^\circ...50^\circ$.

Рисунок 4 – Залежність ПРОН – V_{0num} і швидкості зміни втрат від кута зачеплення зубів шестерень – α

Залежність швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення - α носить криволінійний характер. З рис. 4 бачимо, що крива залежності швидкості зміни ПРОН на інтервалі зміни кута зачеплення має локальний мінімум. При цьому на інтервалі від $\alpha = 5^{\circ} \dots 50^{\circ}$ швидкість зміни ПРОН спадає від $\frac{\partial V_{0num}(\alpha)}{\partial \alpha} = -0,10482 \text{ рад}^{-1}$ до $\frac{\partial V_{0num}(\alpha)}{\partial \alpha} = -0,33595 \text{ рад}^{-1}$, а на інтервалі від $\alpha = 32^{\circ} \dots 50^{\circ}$ швидкість зміни ПРОН зростає від $\frac{\partial V_{0num}(\alpha)}{\partial \alpha} = -0,33595 \text{ рад}^{-1}$ до $\frac{\partial V_{0num}(\alpha)}{\partial \alpha} = -0,30205 \text{ рад}^{-1}$.

З отриманих результатів випливає, що для підвищення ПРОН слід проектувати ЗЗ з мінімально можливим кутом зачеплення - α .

5. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від коефіцієнта профільного зміщення.

Для визначення цієї залежності задамося наступними вихідними даними:

- число зубів, z ;
- модуль зачеплення, m ;
- кут вихідного профілю, як правило $\alpha_0 = 20^{\circ}$.

Коефіцієнт профільного зміщення відповідно до багатьох рекомендацій [4, 7, 8, 9, 10] для ЗЗ НШ повинен бути додатнім - $\xi \geq 0$. Однак надмірне збільшення КПЗ веде до загострення вершин зубів шестерень, що накладає обмеження у вигляді умови (5).

Існує і нижнє значення КПЗ [5], яке накладає обмеження на КПЗ знизу: В разі якщо $\xi < \xi_{min}$ то при нарізанні зубів шестерень відбувається підрізання зубів, що знижує їх міцність на згин.

В цьому розрахунку інтервал варіювання КПЗ лежить у межах $\xi = -0,5 \dots 0,9$.

Для розрахунків залежності ПРОН - V_{0num} від КПЗ - ξ використовували залежність (9).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН від КПЗ отримаємо залежність швидкості зміни ПРОН від КПЗ - ξ :

$$\frac{\partial V_{0num}}{\partial \xi} = \frac{2 \pi V_{0num} \cos \alpha - 8 \pi m}{0,25 D_e + 4 A} - \frac{2 V_{0num} m}{D_e}. \quad (12)$$

Результати розрахунків залежностей ПРОН - $V_{0\text{num}}$ і швидкості зміни ПРОН від КПЗ - ξ представлені у вигляді графіків на рис. 5.

З рис 5 бачимо, що результати розрахунків виявилися дещо несподіваними. За результатами розрахунків, представлених на рис. 5, бачимо, що ПРОН мало залежить від КПЗ - ξ . Про це свідчать обидва графіка, представлених на рис. 5. З рис. 5, бачимо, що розмах зміни ПРОН на інтервалі $\xi = -0,5 \dots 0,9$ практично дорівнює нулю. Про це ж свідчить і графік швидкості зміни ПРОН в залежності від КПС: $\frac{\partial V_{0\text{num}}}{\partial \xi} = 0,004$.

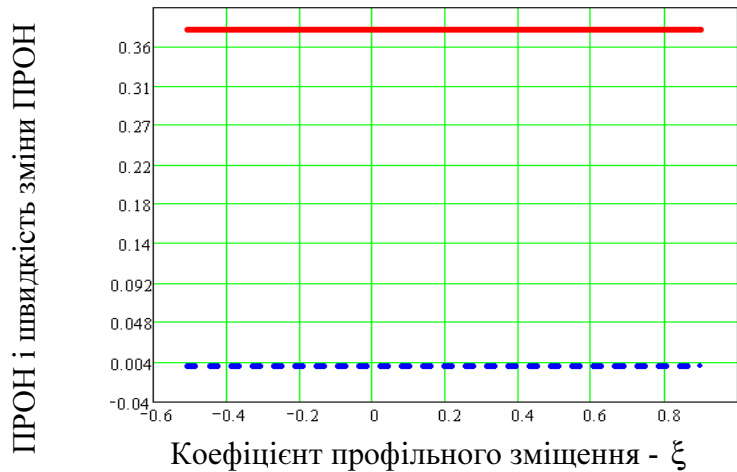


Рисунок 5 – Залежність ПРОН - $V_{0\text{num}}$ і швидкості зміни ПРОН від коефіцієнта профільного зміщення - ξ

6. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від кута вихідного профілю. Для визначення залежності втрат від кута вихідного профілю задамося наступними вихідними даними:

- число зубів, $z = 8$;
- модуль зачеплення, $m = 5$;
- кут вихідного профілю, α_0 змінюється в інтервалі $\alpha_0 = 5^\circ \dots 30^\circ$;
- КПЗ, приймаємо рівним $\xi = 0$.

Параметри 33 для розрахунку залежності ПРОН - $V_{0\text{num}}$ від кута вихідного профілю - α_0 визначали за залежності (9).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - $V_{0\text{num}}$ (9) від кута вихідного профілю - α_0 , отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності від кута вихідного профілю - α_0 :

$$\frac{\partial V_{0\text{num}}}{\partial \alpha_0} = \frac{m \sin \alpha_0}{\cos \alpha} x \left[\frac{3 z V_{0\text{num}} (0,5\pi + 1) - 24 z \pi + 4z^2 \pi \cos \alpha_0 + 4\pi^3 \cos^2 \alpha \cos \alpha_0}{3 (D_e + 4 A)} + \frac{2 z V_{0\text{num}}}{D_e} \right], \quad (13)$$

В результаті розрахунку геометричних параметрів 33 ми отримуємо необхідні дані для визначення характеру поведінки ПРОН - $V_{0\text{num}}$ від кута вихідного профілю - α_0 . Графіки залежності ПРОН від кута вихідного профілю - α_0 , що відображають досліджувану

залежність візуально, представлені на рис. 6. А залежність швидкості зміни ПРОН від кута вихідного профілю - α_0 представлена на рис. 7

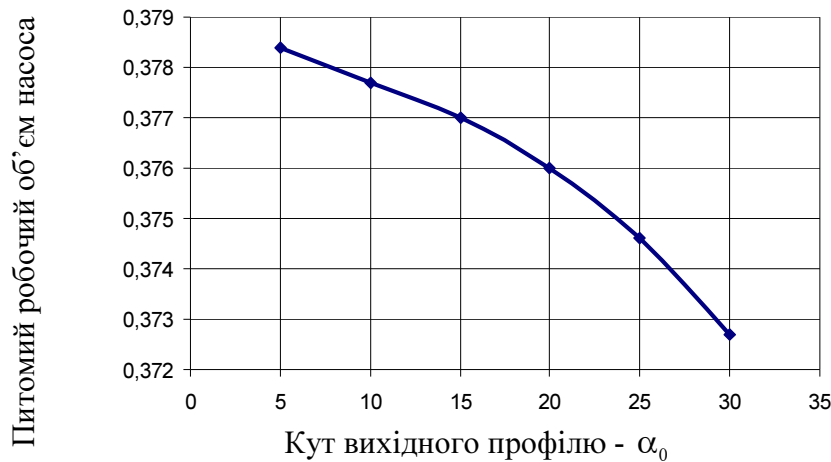


Рисунок 6 – Залежність зміни ПРОН від кута вихідного профілю – α_0

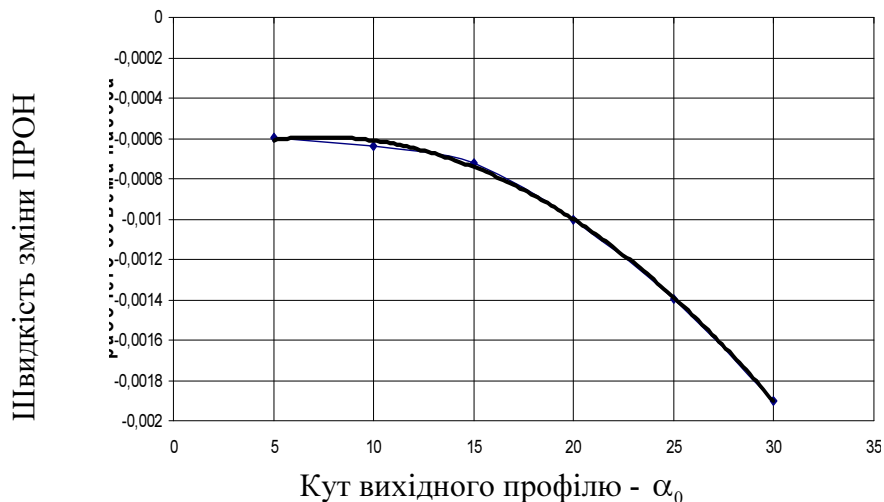


Рисунок 7 – Залежність швидкості зміни ПРОН від кута вихідного профілю – α_0

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 6 бачимо, що функції залежності ПРОН - $V_{0, \text{min}}$ від кута вихідного профілю - α_0 носить криволінійний падаючий характер. При цьому швидкість убивання ПРОН нерівномірна на заданому інтервалі зміни кута вихідного профілю - α_0 : ця швидкість мінімальна для малих значень кута вихідного профілю - α_0 і зростає по мірі його зростання.

Отримані результати дають підставу рекомендувати для підвищення ПРОН ЗЗ з меншим значенням кута вихідного профілю - α_0 .

7. Характер залежності питомої робочого об'єму насоса від коефіцієнта висоти головки зуба.

Для визначення цієї залежності задаємося наступними вихідними даними:

- число зубів, $z = 8$;
- модуль зачеплення, $m = 5$ мм;
- кут вихідного профілю, як правило $\alpha_0 = 20^\circ$;
- КПЗ, приймаємо відповідно із значенням $\xi = 0$.

– інтервал зміни коефіцієнта висоти головки зуба (КВГЗ) лежить у межах $\chi = 1,0 \dots 1,25$.

Надмірне збільшення КВГЗ веде до загострення вершин зубів шестерень, що накладає обмеження у вигляді умови (5).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН $-V_{0\text{num}}$ (9) у КВГЗ $-\chi$, отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності від КВГЗ $-\chi$:

$$\frac{\partial V_{0\text{num}}}{\partial \chi} = 2m \left[\frac{4\pi - \pi V_{0\text{num}}}{D_e + 4A} - \frac{V_{0\text{num}}}{D_e} \right]. \quad (14)$$

В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ були отримані необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН $-V_{0\text{num}}$ і швидкості зміни ПРОН від КВГЗ $-\chi$, які візуально відображені у вигляді графіків на рис. 8.

Аналізуючи графічні залежності, представлені на рис. 8 бачимо, що залежність ПРОН $-V_{0\text{num}}$ від КВГЗ має зростаючий прямолінійний характер. Графік швидкості зміни ПРОН від КВГЗ показує, що він являє собою пряму, паралельну осі абсцис, що говорить про те, що швидкість зміни ПРОН не залежить від зміни аргументу.

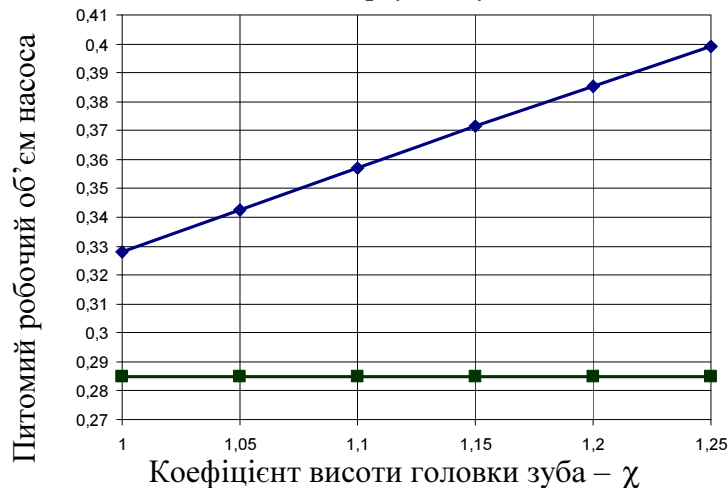


Рисунок 8 – Характер залежності питомого робочого об'єму насоса і швидкості зміни питомого робочого об'єму насоса від КВГЗ $-\chi$

З отриманих результатів випливає, що для отримання ЗЗ з максимальним ПРОН необхідно використовувати ЗЗ з максимально можливим КВГЗ $-\chi$.

8. Порівняльний аналіз ступеня впливу вихідних параметрів зубчатого зачеплення на питомий робочий об'єм насоса.

Перш ніж перейти до аналізу ступеня впливу вихідних параметрів ЗЗ на ПРОН зазначимо наступне. В пунктах 5 і 7 досліджувалися залежності ПРОН від КПЗ і КВГЗ. Результати цих досліджень представлені на рис. 5 і рис. 8. Особливістю цих результатів є те, що в якості аргументу були взяті КПЗ і КВГЗ. Для проведення порівняльного аналізу бажано, щоб аргумент, по можливості був виражений через однакові одиниці виміру. Тому в якості аргументу на зазначених вище залежностях ПРОН пропонується використовувати:

– замість КПЗ $-\xi$ – профільне зміщення ξm , яке представляє собою зміщення інструменту в мм, щодо його нульового положення при $\xi = 0$;

– замість КВГЗ $-\chi$ – добуток виду χm , що представляє собою висоту головки зуба в мм.

Характер залежностей, представлених на рис. 5, рис. 8 не зміниться.

Для проведення порівняльного аналізу результати досліджень залежності швидкості зміни ПРОН від параметрів шестерень і ЗЗ були зведені в таблицю. В таблиці представлені середні швидкості зміни ПРОН із тих інтервалів зміни аргументу, які забезпечують максимальне значення ПРОН.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз міри впливу геометричних параметрів шестерень і ЗЗ на середню швидкість зміни ПРОН

Параметр зубчатого зачеплення, що оказує вплив на ПРОН	Середня швидкість зміни ПРОН
1. Міжцентрова відстань - A_o , мм	$\overline{VV}_{0\text{num}}(A) = -5,1 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$
2. Діаметр вершин шестерень - D_e , мм	$\overline{VV}_{0\text{num}}(D_e) = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$
3. Число зубів шестерень - z	$\overline{VV}_{0\text{num}}(z) = -3,5 \cdot 10^{-2}$
4. Кут зубчатого зачеплення - α , град	$\overline{VV}_{0\text{num}}(\alpha) = -0,3758 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$
5. Висота головки зуба - χm , мм	$\overline{VV}_{0\text{num}}(\chi) = 0,29 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$
6. Кут вихідного профілю, α_0 , град	$\overline{VV}_{0\text{num}}(\alpha_0) = -0,248 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$
7. Профільне зміщення, ξm , мм	$\overline{VV}_{0\text{num}}(\xi)_1 = 0$

Порівнюючи представлені в таблиці 1 результати, бачимо, що максимальний вплив на зростання ПРОН $V_{0\text{num}}$ здійснює МЦВ - A . Наступним за ефективністю впливу на зростання ПРОН - $V_{0\text{num}}$ є зовнішній діаметр шестерень - D_e , потім число зубів шестерень - z , далі кут ЗЗ - α , потім висота головки зуба - χm і кут вихідного профілю - α_0 . Як виявилось при проведенні досліджень профільне зміщення - ξm на зміну ПРОН не впливає.

Слід зазначити, що порівняння між собою першого, другого, п'ятого та шостого рядків коректно, оскільки зміна ПРОН - $V_{0\text{num}}$ в цих рядках залежить від зміни величин, що вимірюються в одиницях довжини. В третьому рядку представлені результати дослідження зміни ПРОН - $V_{0\text{num}}$ від числа зубів шестерень, а в четвертому і п'ятому рядках від кута, а тому порівняння цих результатів між собою і з результатами, представленими в інших рядках неправомірно.

Для візуального представлення залежностей ПРОН - $V_{0\text{num}}$ від вищезазначених параметрів ЗЗ побудуємо графіки залежності ПРОН - $V_{0\text{num}}$ від міжцентрової відстані - A , діаметра вершин - D_e , висоти головки зуба - χm і профільного зміщення - ξm .

Аналізуючи дані, представлені в таблиці 1 і графічні залежності, представлені на рис. 9, бачимо, що найбільша середня швидкість зміни ПРОН - $V_{0\text{num}}$ відповідає МЦВ - A - $0,051 \text{ мм}^{-1}$, потім діаметру вершин D_e - $0,043 \text{ мм}^{-1}$, потім висоті головки зуба - χm - $0,029 \text{ мм}^{-1}$ і профільному зміщенню - ξm - 0 мм^{-1} .

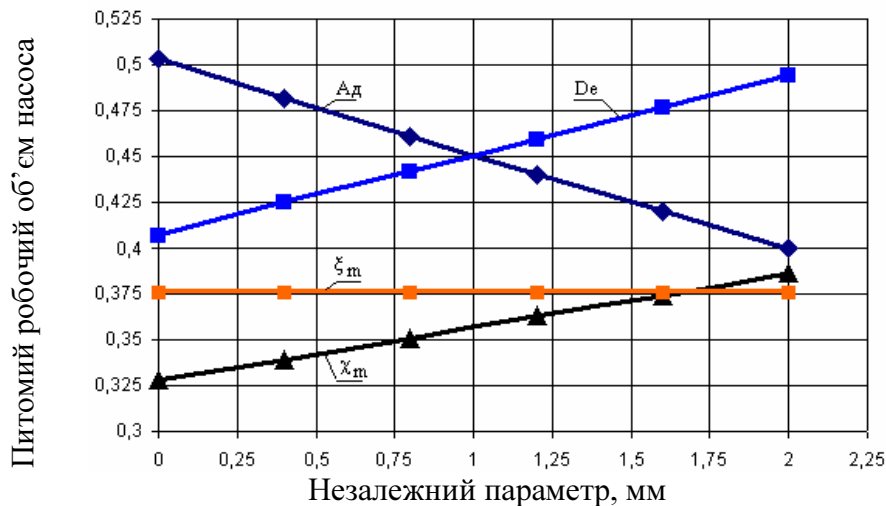


Рисунок 9 – Графіки залежності ПРОН – $V_{0\text{ ном}}$ від діаметра вершин – D_e , міжцентрової відстані – A , профільного зміщення – ξ_m і висоти головки зуба – χ_m

З рис. 9 бачимо, що рейтинг параметрів ЗЗ за ступенем їх впливу на ПРОН неоднозначний і змінюється в залежності від інтервалу зміни параметра ЗЗ. Графіки, представлені на рис. 9, дають можливість побачити в яких інтервалах слід змінювати вихідні параметри ЗЗ, щоб досягти максимального значення ПРОН.

Висновки

1. Як критерій оцінки технічного рівня ЗЗ КВ НШ по подачі запропонований ПРОН насоса, який являє собою відношення РОН до об'єму, зайнятому вінцями шестерень, що дає можливість дати об'єктивну оцінку технічного рівня НШ по подачі.

2. Розроблена математична модель залежності ПРОН від початкових параметрів ЗЗ КВ НШ дозволяє всебічно його досліджувати з метою визначення пріоритетних напрямків подальшого його збільшення.

3. Через складність трансцендентних взаємозв'язків параметрів ЗЗ аналітичні методи дослідження отриманої математичної моделі не можуть дати однозначної відповіді про характер впливу того чи іншого параметра ЗЗ на ПРОН.

4. Істотно більш якісну інформацію вдалось отримати при дослідженні отриманої математичної моделі ПРОН чисельними методами. При цьому вдалось встановити рейтинг параметрів ЗЗ за ступенем їх впливу на ПРОН. Було з'ясовано, що ступінь впливу зазначених параметрів ЗЗ неоднозначна і змінюється в залежності від інтервалу зміни параметра ЗЗ.

5. Чисельними методами дослідження математичної моделі ПРОН вдалось встановити наступний рейтинг впливу параметрів ЗЗ на ПРОН:

– міжцентрова відстань - A із середньою швидкістю зростання ПРОН - $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(A) = -5,1 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$;

– зовнішній діаметр шестерень - D_e : $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(D_e) = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$;

– число зубів шестерень - z : $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(z) = -3,5 \cdot 10^{-2}$;

– кут зачеплення - α : $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(α) = -0,3758 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$;

– коефіцієнт висоти головки зуба - χ : $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(χ) = 0,29 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^{-1}$;

– кут вихідного профілю - α_0 : $\overline{VV_{0\text{ ном}}}(α_0) = -0,248 \cdot 10^{-2} \text{ град}^{-1}$.

Несподіваним результатом виявилось те, що модуль зачеплення - m і КПЗ - ξ на зміну ПРОН не впливають.

Отримані результати дають можливість визначити пріоритетний напрямок подальшого підвищення ПРОН і подачі НШ.

Список літератури

1. Черновол М.І., Кулешков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки. Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8 –С. 52-54.
2. Вулгаков Э.Б. Эвольвентные зубчатые передачи в обобщающих параметрах: [справочник по геометрическому расчету]/ Вулгаков Э.Б., Васина Л.В. – М.: Машиностроение, 1978. –174 с.
3. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии: ГОСТ 16532-70. – [Введен с 01.01.1972. Переиздан в августе 1983]. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 19 с.
4. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет/ Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
5. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: [справочное пособие]/ Башта Т.М. – М.: Машиностроение, 1977. – 672 с.
6. Кулешков Ю.В. Оценка методов определения объемной подачи шестеренных насос НШ.: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин»/ Кулешков Ю.В. – Кіровоград, КДТУ – 2004. – № 34 – С. 178–186.
7. Лурье З.Я. Математическая модель качающего узла шестеренного насоса, как объекта многокритериальной оптимизации/ Лурье З.Я., Коваленко И.В.// Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 3 (29) – С.9 - 13.
8. Башта Т.М. Самолетные гидравлические приводы и агрегаты: [конструкция и расчет]/ Башта Т.М. –М.: Гос. издат. оборонной промышленности, 1951. – 356 с.
9. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств/ Башта Т.М. – [3-е изд. перераб. и доп.] – М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. – 475 с.
10. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Башта Т.М. – М.:Машиностроение, 1974. – 606 с.

Ю. Кулешков, М. Черновол, Т. Руденко, Р. Осин

Исследование поведения математической модели удельного рабочего объема шестеренного насоса типа НШ от параметров зубчатого зацепления

Одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования конструкции шестеренных насосов гидропривода сельскохозяйственных машин является повышение его удельных показателей подачи. Исследование разработанной математической модели удельного рабочего объема шестеренного насоса позволило определить степень влияния параметров зубчатого зацепления на удельный рабочий объем шестеренного насоса.

U. Kuleshkov, M. Chernovol, T. Rudenko, V. Guzul, R. Osin

Investigation of the behavior of mathematical models of specific working volume gear pump type on the parameters of НШ gear

One of the promising directions of further improving the design of gear pumps hydraulic drive farm machinery is increasing its specific indicators filing. The study developed a mathematical model of the specific work of gear pumps possible to determine the degree of influence of the parameters of the gear ratio on the working volume of gear pumps.

Одержано 25.02.10