

УДК 621.833.004.6

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.-78-84>.

*Микола Луценко, канд. техн. наук, доцент, (ORCID: 0000-0003-2983-1169),  
Національний університет будівництва та архітектури, м. Харків*

## **ВИБІР ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЧЕРВ'ЯЧНИХ РЕДУКТОРІВ В УМОВАХ РЕМОНТНОЇ БАЗИ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ**

*Розглянуто питання підвищення довговічності роботи і ремонтоздатності черв'ячних передач, які є складовою протипожежної техніки і обладнання, що використовується.*

*Метою роботи є виявлення і обґрунтування нарізання черв'ячних зубчастих пар інструментом з параметрами неаналогічними черв'яку ремонтваної черв'ячної передачі в умовах індивідуального ремонту.*

*Проаналізовано спосіб виготовлення черв'ячних зубчастих пар і розглянуто можливості нарізання їх в умовах ремонтної бази протипожежної техніки інструментом, відмінним від параметрів черв'яка. На основі проведеного аналізу показано, що, використовуючи наведені рекомендації можливо ремонтувати – нарізати черв'як і вінець черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з параметрами, які відрізняються від параметрів черв'яка передачі, яка ремонтується. При цьому за певних умов вибору коефіцієнта діаметра черв'яка зберігається передаточне число, а в деяких випадках останнє незначно відрізняється від передаточного числа редуктора, який підлягає ремонту. В першому і другому випадках зберігається міжцентрова відстань (корпус редуктора).*

**Ключові слова:** черв'як, черв'ячне колесо, привід, модульна фреза, ремонтоздатність.

**Постановка проблеми.** На сьогодні в Україні зберігається небезпека виникнення й розвитку надзвичайної ситуації як природного, так і техногенного характеру. Особливе місце при цьому приділяється забезпеченню пожежної безпеки – як профілактиці виникненню пожежі, так і при ліквідації пожежі й її наслідків.

Безпечна і безвідмовна робота більшості машин і механізмів, в тому числі і протипожежної техніки та обладнання, визначається безвідмовною роботою приводу зокрема механічного. Широке використання в приводі різних машин проміжних передач, і зокрема зубчастих пред'являє високі вимоги до їх експлуатаційної надійності і довговічності. Особливе місце займають черв'ячні передачі, які мають відносно малі габарити і великі передавальні числа, при цьому вони не позбавлені недоліків.

Пожежні підрозділи мають сучасну пожежно-рятувальну техніку й устаткування, здатні локалізувати і ліквідувати пожежу. Сучасна пожежно-рятувальна техніка має велику різноманітність, але в більшості остання містить у собі базовий транспортний засіб ( у переважній більшості на пневмоколісному ході) і протипожежне устаткування.

Протипожежне устаткування призначене для комплектації пожежних машин, систем протипожежного водопостачання, протипожежної техніки й інших засобів попередження й гасіння пожеж. Важливою при цьому є надійність зазначеної техніки, яка залежить від належного технічного обслуговування, ремонту й експлуатації цього устаткування. У приводі пожежно-рятувальної техніки і протипожежного устаткування часто використовується зубчастий привід [1]. Такий привід у вигляді черв'ячної передачі в складі черв'ячного редуктора використовується в протипожежному устаткуванні, зокрема в приводі механізму повороту підйомно-поворотного пристрою автодрабини, в приводі колін авто драбини, в приводі механізму повороту крана-маніпулятора і інш. [1] і володіє рядом переваг. Однак через особливості конструкції (значні швидкості ковзання) й умов роботи (змінні великі навантаження) зазначені редуктори виходять із ладу. Характерними причинами відмови в роботі черв'ячного редуктора є підшипникові вузли (заміна

підшипників) та черв'ячна передача. Ремонт такого редуктора часто зводиться до необхідності заміни черв'ячної пари: черв'яка й вінця черв'ячного колеса. Іноді ремонт зводиться тільки до заміни вінця черв'ячного колеса, яке підлягає більшому зносу в процесі експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За загальноприйнятими рекомендаціями [2, 3, 4] нарізання зубців черв'ячного колеса необхідно здійснювати інструментом, який за формою профілю в перетині витка черв'яка (тип гвинтової лінії) і розмірами (діаметр ділильного кола) був би подібний до черв'яка редуктора, який ремонтується. Діаметр ділильного кола черв'яка ( $d_1$ ) визначається коефіцієнтом діаметра черв'яка, який може мати за ДСТ 19672-74 до 12 значень [5] і допускається вибір будь-якого значення.

В силу цього практично малоймовірно на ремонтній базі протипожежної техніки (при індивідуальному ремонті) знайти відповідну до даного редуктора черв'ячну модульну фрезу (коефіцієнт діаметра черв'яка), а виготовлення такої фрези може за вартістю перевищувати вартість виготовлення зубчатої пари: черв'як – черв'ячне колесо.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.** Проаналізувати і з'ясувати можливість використання при ремонті черв'ячних фрез із параметрами, відмінними від параметрів черв'яка редуктора.

**Формування цілей статті.** На основі аналізу визначити можливості застосування черв'ячних фрез із параметрами неаналогічними параметрам черв'яка ремонтної передачі, зокрема  $q$ , тобто  $q_{фр.} \neq q$  ( $q_{фр.}$  – коефіцієнт діаметра черв'ячної фрези).

**Виклад основного матеріалу статті.** При використанні фрези з коефіцієнтом діаметра черв'яка, відмінним від параметрів черв'яка вводиться коефіцієнт зсуву (зміщення) черв'яка ( $x$ ), обумовлений за формулою [5, 2]:

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5 \cdot (Z_2 + q), \quad (1)$$

де  $a_w$  – міжосьова відстань;

$m$  – модуль;

$z_2$  – число зубців колеса;

$q$  – коефіцієнт діаметра черв'яка.

Усі прийняті позначення параметрів, що входять у залежність за ДСТ 21354-87.

Розглянемо ремонт черв'ячних пар на прикладі редуктора РЧ-18.55, виготовленого на підприємстві ТОВ «Реджу».

Наприклад: параметри ремонтної черв'ячної передачі наступні:

$$z_1 = 1, a_w = 320, z_2 = 55, m = 10, x = 0$$

де  $z_1$  – число заходів черв'яка;

$x$  – коефіцієнт зміщення.

Для передачі, яка ремонтується, коефіцієнт діаметра черв'яка визначається у відповідності до (1):

$$q = \frac{2a_w - 2mx - z_2m}{m} = \frac{2 \cdot 320 - 2 \cdot 10 \cdot 0 - 55 \cdot 10}{10} = 9.$$

Тобто коефіцієнт діаметра черв'яка для черв'ячної передачі з коефіцієнтом зміщення  $x = 0$  повинен бути  $q = 9$ .

Однак за даними [5] коефіцієнт діаметра черв'яка може змінюватися від  $q=7$  до  $q=25$  і коефіцієнт зміщення змінюватися  $-1 \leq x \leq 1$  [3].

Визначимо можливі межові значення коефіцієнта діаметра черв'яка для параметрів передачі, яка ремонтується враховуючи, що коефіцієнт зміщення змінюється в межах  $-1 \leq x \leq 1$ :

$$\text{при } x=1 \quad q = \frac{2 \cdot 320 - 2 \cdot 10 \cdot 1 - 55 \cdot 10}{10} = 7,$$

$$\text{при } x=-1 \quad q = \frac{2 \cdot 320 - 2 \cdot 10 \cdot (-1) - 55 \cdot 10}{10} = 11.$$

Отже, для заданих параметрів черв'ячної передачі можна використовувати фрези із значенням  $q - 2 \leq q_{фр} \leq q + 2$ , тобто значення коефіцієнта діаметра черв'ячної фрези може мати значення  $q_{фр}=7, 8, 10, 11$ .

Для прийнятої передачі визначимо параметри нового:

– черв'яка:

діаметр ділильного кола:

$$\text{при } q_{фр.} = 11 \quad d_1 = q_{фр.} \cdot m = 11 \cdot 10 = 110 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 10 \quad d_1 = q_{фр.} \cdot m = 10 \cdot 10 = 100 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 9 \quad d_1 = q_{фр.} \cdot m = 9 \cdot 10 = 90 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 8 \quad d_1 = q_{фр.} \cdot m = 8 \cdot 10 = 80 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 7 \quad d_1 = q_{фр.} \cdot m = 7 \cdot 10 = 70 \text{ мм}$$

діаметр кола виступів:

$$\text{при } q_{фр.} = 11 \quad d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 110 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 130 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 10 \quad d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 100 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 120 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 9 \quad d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 90 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 110 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 8 \quad d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 80 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 100 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 7 \quad d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 70 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 90 \text{ мм}$$

– колеса:

діаметр ділильного кола:

$$\text{при } q_{фр.} = 11 \quad d_2 = z_2 \cdot m = 55 \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 10 \quad d_2 = z_2 \cdot m = 55 \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 9 \quad d_2 = z_2 \cdot m = 55 \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 8 \quad d_2 = z_2 \cdot m = 55 \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 7 \quad d_2 = z_2 \cdot m = 55 \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

діаметр кола виступів:

$$\text{при } q_{фр.} = 11 \text{ і } x = -1 \quad d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 550 + 2 \cdot (1 - 1) \cdot 10 = 550 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 10 \text{ і } x = -0,5 \quad d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 550 + 2 \cdot (1 - 0,5) \cdot 10 = 560 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 9 \text{ і } x = 0 \quad d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 550 + 2 \cdot (1 + 0) \cdot 10 = 570 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 8 \text{ і } x = 0,5 \quad d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 550 + 2 \cdot (1 + 0,5) \cdot 10 = 580 \text{ мм}$$

$$\text{при } q_{фр.} = 7 \text{ і } x = 1 \quad d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 550 + 2 \cdot (1 + 1) \cdot 10 = 590 \text{ мм}$$

(тут  $h_a^*$  – коефіцієнт висоти головки зуба;  $h_a^* = 1$ ).

Із залежності для визначення міжосьової відстані (2) видно, що для всіх запропонованих варіантів вибору коефіцієнта діаметра фрези,  $q_{фр.}$  остання не змінюється.

$$a_w = 0,5 \cdot (z_2 + q + 2 \cdot x) \cdot m. \quad (2)$$

Наприклад, при  $q_{фр.} = 10$  і  $x = -0,5$   $a_w = 0,5 \cdot [55 + 10 + 2 \cdot (-0,5)] \cdot 10 = 320 \text{ мм}$   
 при  $q_{фр.} = 10$  і  $x = 1$   $a_w = 0,5 \cdot (55 + 7 + 2 \cdot 1) \cdot 10 = 320 \text{ мм}$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків геометричних параметрів можливих варіантів ремонтного черв'яка й зубчастого колеса

Коефіцієнт діаметра фрези, $q_{фр.}$	Коефіцієнт зміщення, $x$	Параметри черв'яка, мм		Параметри колеса, мм		Міжосьова відстань, $a_w$ мм
		Діаметр ділильного кола, $d_1$	Діаметр кола виступів, $d_{a_1}$	Діаметр ділильного кола, $d_2$	Діаметр кола виступів, $d_{a_2}$	
7	1	70	90	550	590	320
8	0,5	80	100	550	580	320
9	0	90	110	550	570	320
10	-0,5	100	120	550	560	320
11	-1	110	130	550	550	320

Із таблиці 1 видно, що для призначених значень коефіцієнта діаметра черв'яка і відповідних значень коефіцієнта зміщення міжосьова відстань не змінюється.

Вище було розглянуто алгоритм вибору черв'ячної фрези з  $q - 2 \leq q_{фр.} \leq q + 2$ , а далі пропонується випадок, коли в наявності є фреза з  $q_{фр.} > q + 2$  або  $q_{фр.} < q - 2$ .

Параметри черв'ячної передачі ті ж самі, що в вище наведеному прикладі. Наприклад, для  $q_{фр.} > q + 2$  із стандартного ряду коефіцієнта діаметрів черв'яка [5, с. 385] останній має значення  $q_{фр.} = 12; 12,5; 14$ . Для вибраних значень  $q_{фр.}$  із (1) для заданих параметрів передачі визначимо число зубців зубчатого колеса  $z_2$ :

$$z_2 = \frac{2 \cdot a_w}{m} - q - 2 \cdot x.$$

Для прийятих значень  $q_{фр.}$  вибираємо коефіцієнт зміщення кратний 0,25 в межах  $-1 \leq x \leq 1$ . Наприклад, для  $q_{фр.} = 12,5$  і  $x = 0,75$ .

$$z_2 = \frac{2 \cdot 320}{10} - 12,5 - 2 \cdot 0,75 = 50.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків числа зубців черв'ячного колеса в залежності від  $q_{фр.}$  і коефіцієнта зміщення для заданих параметрів черв'ячної передачі.

Коефіцієнт зміщення, $x$	Значення числа зубців колеса $z_2$ при		
	$q_{фр.} = 12$	$q_{фр.} = 12,5$	$q_{фр.} = 14$
1,0	50	49,5	48
0,75	50,5	50	48,5
0,5	51	50,5	49
0,25	51,5	51	49,5
0	52	51,5	50
-0,25	52,5	52	50,5
-0,5	53	52,5	51
-0,75	53,5	53	51,5
-1,0	54	53,5	52

Із таблиці видно, що із збільшенням  $q_{фр.}$  при даному значенні коефіцієнта зміщення число зубців черв'ячного колеса зменшується і в цьому випадку необхідно вибирати (при наявності)  $q_{фр.}$  меншим ( $z_2$  буде більше наближеним до вказаного на кресленні).

Слід зазначити, що при вибраних  $q_{фр.}$  і призначеному коефіцієнті зміщення з'являються зубчасті колеса з нецілим числом зубців – такі варіанти необхідно виключити.

В залежності від коефіцієнта зміщення від  $x = 1$  до  $x = -1$  при вибраному коефіцієнті діаметра черв'яка число зубців зубчастого колеса буде збільшуватися і перевага в цьому випадку віддасться значенням коефіцієнта зміщення ближче до  $x = -1$ .

Наприклад, в наявності є черв'ячна фреза з  $q_{фр.} = 12,5$  і коефіцієнт зміщення  $x = -0,75$ , тоді

$$z_2 = \frac{2 \cdot 320}{10} - 12,5 - 2 \cdot (-0,75) = 53.$$

Враховуючи, що в черв'ячній передачі, яка розглядається  $z_2 = 55$ , тоді відхилення передаточного числа складає:

$$\Delta u = \frac{55 - 53}{55} \cdot 100\% \approx 3,6\%.$$

Якщо таке відхилення передаточного числа ( $\Delta u \approx 3,6\%$ ) є прийнятним для умов технічної експлуатації машини, то можливо таке відновлення черв'ячної передачі виправдане.

Визначимо параметри черв'яка (наявної фрези) і відновленого зубчастого колеса, для  $q_{фр.} = 12,5$  і коефіцієнта зміщення  $x = -0,75$ :

– черв'яка:

діаметр ділильного кола:

$$d_1 = q_{фр.} \cdot m = 12,5 \cdot 10 = 125 \text{ мм},$$

діаметр кола виступів:

$$d_{a_1} = d_1 + 2h_a^* \cdot m = 125 + 2 \cdot 1 \cdot 10 = 145 \text{ мм}.$$

– колеса:

діаметр ділильного кола:

$$d_2 = z_2 \cdot m = 53 \cdot 10 = 530 \text{ мм},$$

діаметр кола виступів:

$$d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m = 530 + 2 \cdot [1 + (-0,75)] \cdot 10 = 535 \text{ мм}.$$

Визначимо геометричні параметри черв'яка і черв'ячного колеса для інших найбільш прийнятних значень  $q_{фр.}$  (наявності фрези) і відповідного коефіцієнта зміщення.

Результати розрахунків зведені до таблиці 3.

Далі перевіряється умова складання (зборки) як і в першому випадку за залежністю (2) для прийнятих значень коефіцієнта діаметра фрези і коефіцієнта зміщення.

Наприклад, при  $q_{фр.} = 12,5$  і коефіцієнті зміщення  $x = -0,75$

$$a_w = 0,5 \cdot [53 + 12,5 + 2 \cdot (-0,75)] \cdot 10 = 320 \text{ мм},$$

при  $q_{фр.} = 12$  і коефіцієнті зміщення  $x = -0,5$

$$a_w = 0,5 \cdot [53 + 12 + 2 \cdot (-0,5)] \cdot 10 = 320 \text{ мм}.$$

Умова складання виконана

Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.

Розглядаючи варіант при  $q_{фр.} < q - 2$  визначення параметрів відновлюваної передачі здійснюється за аналогічним алгоритмом.

Таблиця 3 – Результати розрахунків геометричних параметрів відремонтованої передачі.

Коефіцієнт діаметра фрези, $q_{фр.}$	Коефіцієнт зміщення, $x$	Параметри черв'яка, мм		Параметри зубчастого колеса, мм		Міжосьова відстань, $a_w$ , мм
		Діаметр ділительного кола, $d_1$ , мм	Діаметр кола виступів, $d_{a_1}$ , мм	Діаметр ділительного кола, $d_2$ , мм	Діаметр кола виступів, $d_{a_2}$ , мм	
12	-0,5	120	140	530	540	320
	-1,0	120	140	540	540	320
12,5	-0,25	125	145	520	535	320
	-0,75	125	145	530	535	320
14	-0,5	140	160	510	520	320
	-1,0	140	160	520	520	320

Виходячи з отриманих результатів дослідження даної роботи, можна зробити наступні висновки

**Висновки.**

1 Аналіз прикладу показує, що в цьому випадку можна використовувати фрези з коефіцієнтом діаметра її  $q_{фр.}=7,8,10$  або 11 і вводити відповідний коефіцієнт зміщення.

2. При проведенні такого ремонту (застосування черв'ячних фрез із параметрами неаналогічними параметрам черв'яка черв'ячної передачі) вдається зберегти передатне число (и) редуктора, який підлягає ремонту при прийнятому значенні коефіцієнта діаметра фрези  $q_{фр.}$  (по пункту 1) і відповідному  $q_{фр.}$  коефіцієнті зміщення.

3. При використанні черв'ячної фрези з  $q - 2 < q_{фр.} < q + 2$  ( яка є в наявності) не вдається зберегти передатне число редуктора, який підлягає ремонту. Такий спосіб прийнятний для певних умов експлуатації.

4. Необхідно враховувати, що збільшення коефіцієнта діаметра фрези  $q_{фр.}$  призводить до збільшення діаметра ділительного кола й діаметра кола виступів черв'яка і зменшенню діаметра ділительного кола і діаметра кола виступів черв'ячного колеса, а зменшення

коефіцієнта діаметра фрези  $q_{фр.}$  навпаки – до зменшення діаметра ділильного кола й діаметра кола виступів черв'яка і збільшення діаметра ділильного кола черв'ячного колеса і діаметра кола виступів останнього.

5. Зміну геометричних параметрів черв'ячної передачі (діаметрів черв'яка і черв'ячного колеса) слід узгодити з можливістю складання-розбирання редуктора.

6. У разі виконання умови складання зберігається корпус редуктора, який потребував ремонту черв'ячної пари.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. С. А.Виноградов, А. Я, Калиновський, В. Г.Баркалов. Протипожежна та аварійно-рятувальна техніка. Харків, НУЦЗ України, 2017. – 284 с.
2. Зубчатые передачи. Справочник. Под ред. Е. Г. Гинзбурга. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1980. – с. 416.
3. Б. Л. Беспалов и др. Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1965. –с. 456.
4. Производство зубчатых колёс. Справочник. Под ред. Б. А. Тайца. М.: Машиностроение, 1990. – с. 463.
5. В. И. Анурьев Справочник конструктора-машиностроителя. Т.2. М.: Машиностроение, 1980. – с. 559.

## REFERENCES

1. S. A. Vinogradov, A. Ya., Kalinovsky, VGBarkalov Fire-fighting and rescue equipment. Kharkiv, NUTSZ of Ukraine, 2017. – 284 p.
2. Gears. Directory. Ed. E. G. Ginzburg. Leningrad: Mechanical Engineering. Leningrad branch, 1980. – p. 416.
3. B. L. Bespalov and others. Mechanical engineering technology. M. : Mashinostroenie, 1965.-p.456. 4. Production of gears. Directory. Under the editorship of B. A. Taitsa. M. : Mashinostroenie, 1990. – p. 463.
5. V. I. Anuriev Handbook of designer-machine builder. Vol.2. M. : Mashinostroenie, 1980. – p. 559.

*Mykola Lutsenko, Candidate of Technical Science, Associate Professor,  
National University of Construction and Architecture, Kharkov*

## CHOICE OF TOOL FOR CUTTING THE GEARS OF WORM REDUCERS IN CONDITIONS OF REPAIR BASE FIRE-FIGHTING EQUIPMENT

*The issue of increasing the durability and maintainability of worm gears, which are part of the used firefighting equipment and equipment, is considered.*

*The aim of the work is to identify and substantiate the cutting of worm gear pairs with a tool with parameters similar to the worm of the repaired worm gear in the conditions of individual repair.*

*The method of manufacturing worm gear pairs is analyzed and the possibilities of cutting them in the conditions of the repair base of fire – fighting equipment with a tool different from the parameters of the worm are considered. Based on the analysis, it is shown that, using the above recommendations, it is possible to repair cut the worm as well as the crown of the worm wheel with a worm cutter with parameters that differ from the parameters June which is ahead, which is being repaired. In this case, under certain conditions, the choice of the coefficient of the diameter of the worm stored gear ratio, and in some cases the latter differs slightly from the gear ratio of the gearbox to be repaired. In the first and second cases, the center-to-center distance (gearbox housing) is maintained.*

**Key words:** worm, worm wheel, drive, modular cutter, maintainability. sidered.