

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
на тему:

«Дослідження особливостей управління точністю нарізання черв'ячних коліс
збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем
інструментальної рейки»
«Investigation of the features of controlling the accuracy of cutting worm wheels by
prefabricated worm cutters with a two-part tool rail profile»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2 року
магістратури, групи ГМ-22М-3, напряму
133 «Галузеве машинобудування»

Антон Александров

Керівник: доц., к.т.н.

Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент: доц., к.т.н.

Тимофій РУДЕНКО

Завідувач кафедри: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
Освітньо-наукова програма	Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
Андрій ГРЕЧКА

«___» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
АнтонА АЛЕКСАНДРОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження особливостей управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Кирил ЩЕРБИНА
3. Строк подання роботи до захисту «10» червня 2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:
Метою роботи є: управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки шляхом визначення на етапі проектування необхідних для цього параметрів різального інструменту.
Завдання:
 - проаналізувати відомі шляхи управління точністю нарізання черв'ячних коліс черв'ячними фрезами та методи їх нарізання, а також проаналізувати відомі конструкції збірних черв'ячних повнопрофільних фрез та з поділенням профілем інструментальної рейки;
 - дослідити особливості поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті;
 - розробити нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез;
 - визначити та дослідити величину огранювання зубців черв'ячних коліс;
 - визначити мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез;
 - виконати необхідні економічні розрахунки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Кирил ЩЕРБИНА		
РОЗДІЛ 2	Ірина ЖУРИЛО		
ДОДАТКИ	Кирил ЩЕРБИНА		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Лютий 2024	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Квітень 2024	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Травень 2024	вик.
4	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Травень 2024	вик.
5	ДОДАТКИ	Травень 2024	вик.
6	Графічна частина та оформлення	Червень 2024	вик.
7			
8			
9			
10			
11			

Дата видачі завдання « 01 » лютого 2024 р.

Керівник роботи _____ Кирил ЩЕРБИНА

(підпис)

Завдання прийнято до виконання 01 » лютого 2024 р.

Здобувач

Антон АЛЕКСАНДРОВ

(підпис)

Анотація

Антон АЛЕКСАНДРОВ. Дослідження особливостей управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2024. – 80 с. Матеріали презентації 9 аркушів.

Метою роботи є управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки шляхом визначення на етапі проектування необхідних для цього параметрів різального інструменту.

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі:

1. Проанализовано відомі шляхи управління точністю нарізання черв'ячних коліс черв'ячними фрезами та методи їх нарізання, а також проанализовано відомі конструкції збірних черв'ячних повнопрофільних фрез та з поділенням профілем інструментальної рейки;
2. Досліджено особливості поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті;
3. Розроблено нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез;
4. Визначено та дослідити величину огранювання зубців черв'ячних коліс;
5. Визначено мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез.

Актуальність: Розв'язання наукової задачі управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки сприятиме розширенню застосуванню такого металорізального інструмента в умовах сучасного верстатобудування.

Практичне значення: Застосування на практиці розроблених черв'ячних фрез з поділенням профілем інструментальної рейки на дві частини по висоті для обробки черв'ячних коліс верстатного обладнання дає змогу підвищити як продуктивність механічної обробки так і досягнути точності достатньої для застосування їх у верстатобудуванні.

Ключові слова: збірна черв'ячна фреза, інструментальна рейка, черв'ячне колесо, верстатне обладнання, різальний інструмент.

Abstract

Anton ALEXANDROV. Investigation of the features of controlling the accuracy of cutting worm wheels by prefabricated worm cutters with a two-part tool rail profile. Master's Thesis: CNTU, 2023. - 80 p. Presentation materials 9 il.

The aim of the work is to control the accuracy of cutting worm wheels with prefabricated worm cutters with a tool rail profile divided into two parts by height by determining at the design stage the parameters of the cutting tool necessary for this.

To achieve the goal of the study, the following tasks were solved:

1. The known ways of controlling the accuracy of cutting worm wheels with worm cutters and their cutting methods were analyzed, as well as the known designs of prefabricated worm full-profile cutters and with a divided tool rail profile;
2. The peculiarities of dividing the profile of the instrument rail into two parts by height were studied;
3. A new scheme for dividing the profile of the tool rail of prefabricated worm cutters has been developed;
4. Determined and researched the amount of cutting of teeth of worm wheels;
5. The minimum number of tool rails of assembled worm cutters is determined.

Relevance: The solution of the scientific problem of controlling the accuracy of cutting worm wheels with prefabricated worm cutters with a tool rail profile divided into two parts will contribute to the expansion of the use of such a metal-cutting tool in the conditions of modern machine tool construction.

Practical significance: The practical use of developed worm cutters with a tool rail profile divided into two parts in height for processing worm wheels of machine tool equipment makes it possible to increase both the productivity of mechanical processing and to achieve accuracy sufficient for their use in machine tool construction.

Key words: prefabricated worm cutter, tool rail, worm wheel, machine tool, cutting tool

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ.....	10
1.1 Стан питання, мета та задачі дослідження	10
1.1.1. Аналіз способів управління точністю механічної обробки	10
1.1.2. Аналіз способу управління точністю нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами	11
1.1.3. Аналіз методів нарізання черв'ячних коліс черв'ячними фрезами	12
1.1.4. Аналіз конструкцій збірних черв'ячних повнопрофільних фрез	14
1.1.5. Аналіз черв'ячних фрез з поділенням профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті	22
1.1.6. Аналіз черв'ячних передач, що застосовуються в металорізальних верстатах	30
1.1.7. Мета та завдання магістерської дипломної роботи	32
1.2 Методика дослідження	33
1.3 Теоретичні дослідження	33
1.3.1. Дослідження особливостей поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті	33
1.3.2. Розробка нової схеми поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез	36
1.3.3. Визначення величини огранювання зубців черв'ячних коліс	36
1.3.4. Визначення мінімальної кількості інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез	37
1.4 Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання	38
1.4.1. Проектний розрахунок за варіантом №1 досліджуваної черв'ячної передачі верстатного обладнання	39
1.4.2. Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання за варіантом №1	41
1.4.3. Проектний розрахунок за варіантом №2 досліджуваної черв'ячної передачі верстатного обладнання	46
1.4.4. Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем	

інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання за варіантом №2	48
1.5 Висновки по науково-дослідному розділу	53
РОЗДІЛ 2 ЕКОНОМІЧНИЙ	54
2.1. Витрати на проектування конструкції	54
2.2. Визначення витрат на виготовлення черв'ячної фрези та обґрунтування її оптової ціни	55
2.2.1. Трудомісткість виготовлення інструменту	55
2.2.2. Визначення основної заробітної плати виробничних робітників	56
2.2.3. Розрахунки даних статей на інших роботах	56
2.2.4. Собівартість виготовлення інструменту	57
2.2.5. Визначення повної собівартості	58
2.3. Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах	60
2.4. Розрахунок показників економічної ефективності	64
2.4.1. Річний економічний ефект, який отримує виробник інструменту	64
2.4.2. Річний економічний ефект, який отримує підприємство споживач	64
2.4.3. Строк окупності додаткових капітальних вкладень	65
2.4.4 Зростання продуктивності праці	66
2.4.5 Складання зведеної таблиці техніко-економічних показників	66
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69
ДОДАТКИ	76
ДОДАТОК А Програмне забезпечення за варіантом розрахунку №1	77
ДОДАТОК Б Програмне забезпечення за варіантом розрахунку №2	79

ВСТУП

Актуальність теми. Основною тенденцією сучасного машинобудування є перехід від автономно працюючого обладнання до гнучких виробничих систем, які дають можливість підвищувати як продуктивність технологічного обладнання, так і точність обробки.

Точність кінематичних ланцюгів верстатів в значному ступені визначається точністю зубчастих передач. Найчастіше, особливо на зубообробних верстатах, використовуються черв'ячні передачі, які значно скорочують довжину кінематичного ланцюга та забезпечують високі показники кінематичної точності.

Розробка нових конструкцій верстатів та розширення технологічних можливостей існуючих, розвиток та розширення верстатного парку висуває нові вимоги щодо точності, довговічності черв'ячних передач та головного їх силового параметру – навантажувальної здатності.

Черв'ячні передачі у верстатобудуванні використовуються як для здійснення точних кутових переміщень, так і для забезпечення точного безперервного переміщення, пов'язаного з рухом інших елементів системи. Різальним інструментом для чистової обробки черв'ячних коліс зазвичай є чистова черв'ячна фреза класу точності А або прецезійна черв'ячна фреза класу точності АА.

Одним з шляхів підвищення точності обробки є застосування систем управління точністю механічної обробки як на етапі проектування різального інструмента, так і в процесі самої механічної обробки. Тож, тема магістерської дипломної роботи „Дослідження особливостей управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки” є актуальною. Розв'язання наукової задачі управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки сприятиме розширенню застосуванню такого металорізального інструмента в умовах сучасного верстатобудування.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по

висоті профілем інструментальної рейки шляхом визначення на етапі проектування необхідних для цього параметрів різального інструменту.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати відомі шляхи управління точністю нарізання черв'ячних коліс черв'ячними фрезами та методи їх нарізання, а також проаналізувати відомі конструкції збірних черв'ячних повнопрофільних фрез та з поділенням профілем інструментальної рейки;

2. Дослідити особливості поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті;

3. Розробити нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез;

4. Визначити та дослідити величину огранювання зубців черв'ячних коліс;

5. Визначити мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що отримані нові та удосконалені існуючі теорії зубообробки черв'ячних коліс черв'ячними фрезами, а саме:

– вперше розроблено схему поділення на дві частини по висоті інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез та отримано необхідні залежності для здійснення управління точністю нарізання черв'ячних коліс на етапі проектування різального інструменту;

– вперше визначено та досліджено прогнозовану величину огранювання зубців черв'ячних коліс, що оброблюватимуться новою зірною черв'ячною фрезою.

Практичне значення отриманих результатів. Застосування на практиці розроблених черв'ячних фрез з поділенням профілем інструментальної рейки на дві частини по висоті для обробки черв'ячних коліс верстатного обладнання дає змогу підвищити як продуктивність механічної обробки так і досягнути точності достатньої для застосування їх у верстатобудуванні.

РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ

1.1 Стан питання, мета та задачі дослідження

Основною тенденцією сучасного машинобудування є перехід від автономно працюючого обладнання до гнучких виробничих систем, які дають можливість підвищувати як продуктивність технологічного обладнання, так і точність обробки [1]. Точність кінематичних ланцюгів верстатів в значному ступені визначається точністю зубчастих передач. Найчастіше, особливо на зубообробних верстатах, використовуються черв'ячні передачі, які значно скорочують довжину кінематичного ланцюга та забезпечують високі показники кінематичної точності.

Розробка нових конструкцій верстатів та розширення технологічних можливостей існуючих, розвиток та розширення верстатного парку висуває нові вимоги щодо точності, довговічності черв'ячних передач та головного їх силового параметру – навантажувальної здатності.

Одним з шляхів підвищення точності обробки є застосування систем управління точністю механічної обробки як на етапі проектування різального інструмента, так і в процесі самої механічної обробки.

1.1.1. Аналіз способів управління точністю механічної обробки.

На рис.1.1 представлено комплексну систему управління точністю механічної обробки, що запропонована в роботах [2] Аршанського М.М. та Щербакова В.П. Особливість цієї системи полягає у тому, що інформаційною основою системи комплексного управління точністю механічної обробки є відносні віброзміщення між інструментом та заготовкою. Перевага цієї системи полягає у тому, що металорізальний верстат, що оснащено комплексною системою управління точністю механічної обробки, стає практично інваріантним до зовнішніх збурюючих факторів, оскільки вони усуваються та компенсуються в процесі обробки.

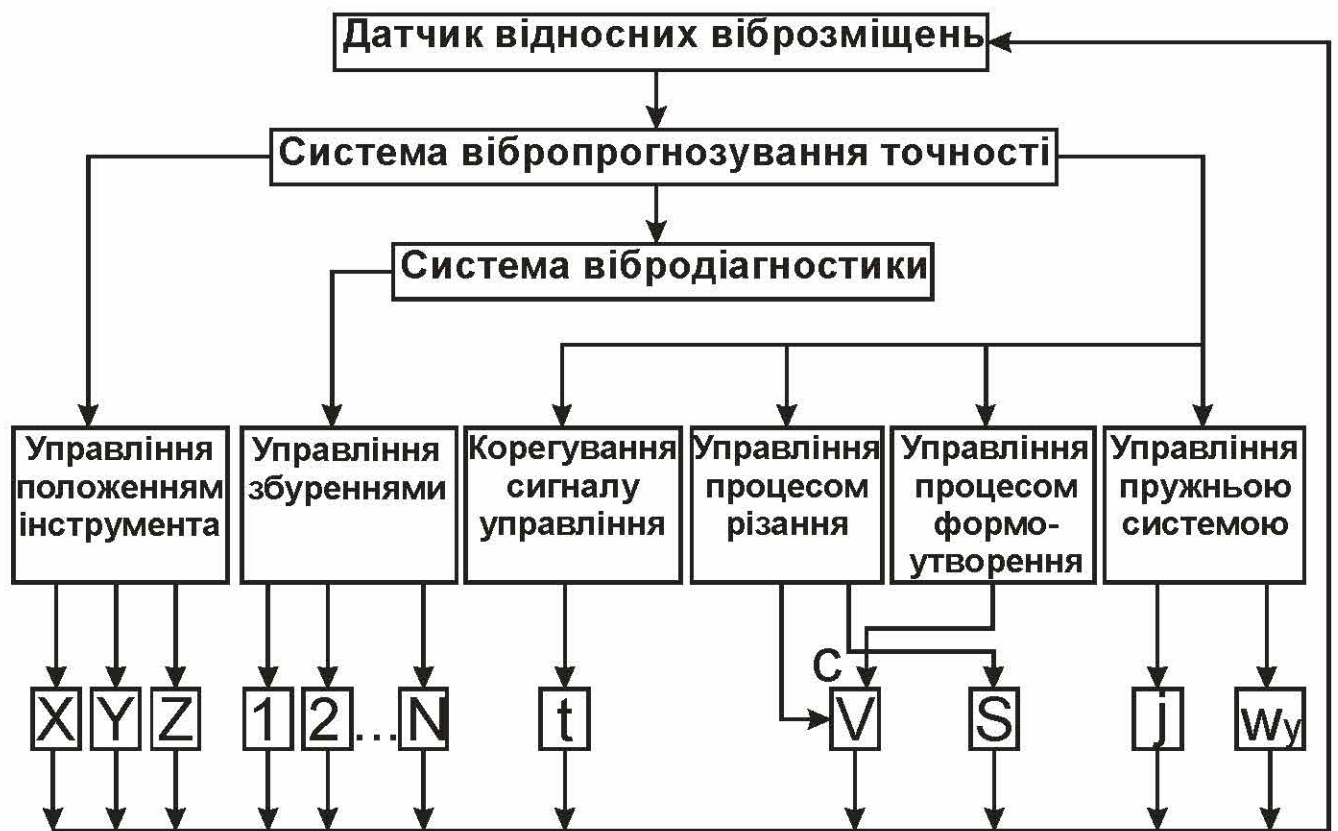


Рис.1.1 – Комплексна система управління точністю механічної обробки.

Недолік цієї системи полягає у тому, що комплексна система управління точністю механічної обробки не може бути застосована на всьому існуючому технологічному обладнанні.

1.1.2. Аналіз способу управління точністю нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами.

На рис.1.2 представлено спосіб управління точністю нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами, що розроблений в роботах Гриця І.Є. [1, 2, 3, 4, 5].

Цей спосіб дозволяє управляти точністю нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами в першу чергу на етапі їх проектування – елемент «схема різання». Потім управління точністю нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами можна здійснити під час механічної обробки через елемент «параметри перерізів зрізу».

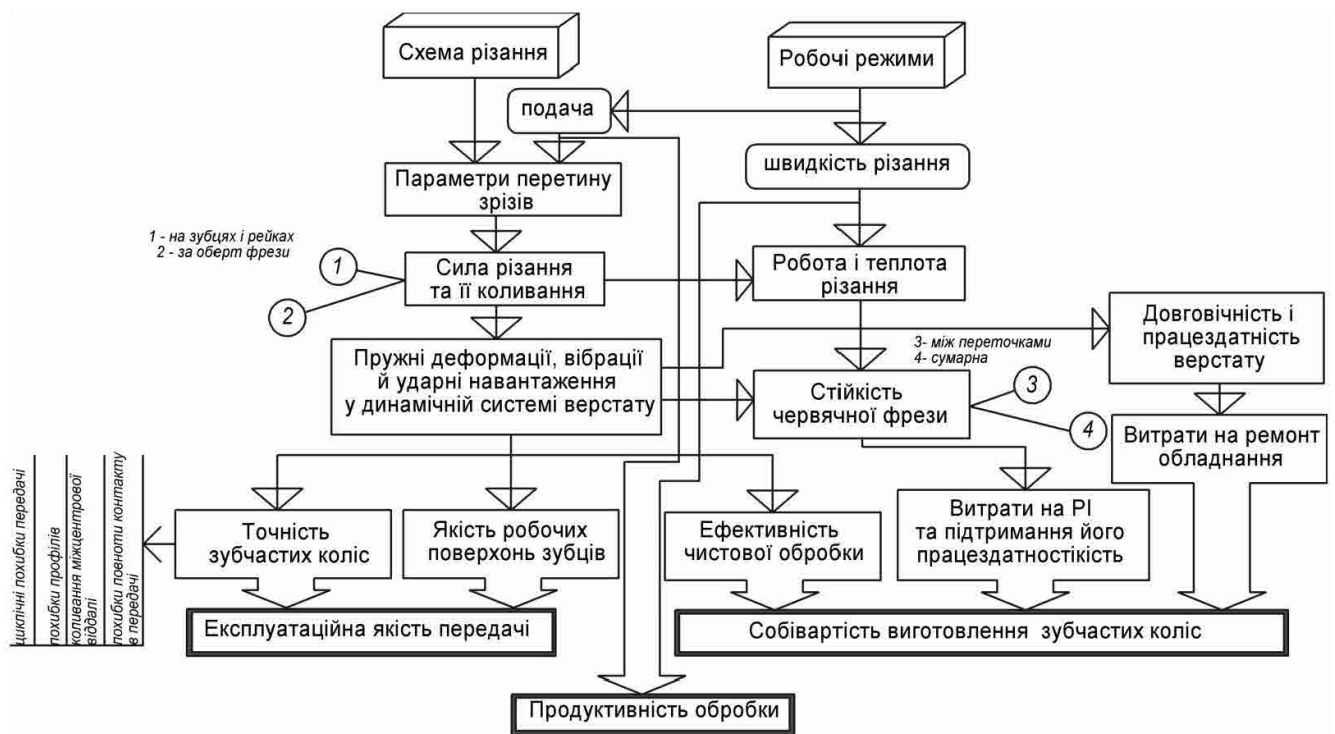


Рис. 1.2 – Спосіб управління точністю нарізання зубчастих коліс черв’ячними фрезами.

Тобто, для проведення подальших досліджень доцільно взяти за основу саме цей спосіб управління точністю нарізання зубчастих коліс черв’ячними фрезами.

1.1.3. Аналіз методів нарізання черв’ячних коліс черв’ячними фрезами.

З практики виробництва черв’ячних передач відомо, що найбільш трудомісткою операцією при виготовленні передачі є нарізування черв’ячного колеса [3].

Чистова механічна обробка розглянутих вище черв’ячних коліс до сьомого ступеню точності здійснюється черв’ячними фрезами класу точності А [6]. Для чистової механічної обробки більш точних коліс необхідно скористатися черв’ячними фрезами класу точності АА [4].

Найбільше поширення в машинобудування знайшов метод огинання черв’ячного колеса черв’ячною фрезою у верстатному зачепленні [1]. Цей метод реалізується з радіальною [2, 5, 7, 8], тангенціальною [1, 2] та діагональною [3, 4] подачею цільної або збірної черв’ячної фрези. Розглянемо ці три методи послідовно. На рис. 1.3 зображено метод огинання черв’ячного колеса черв’ячною фрезою з її радіальною подачею.

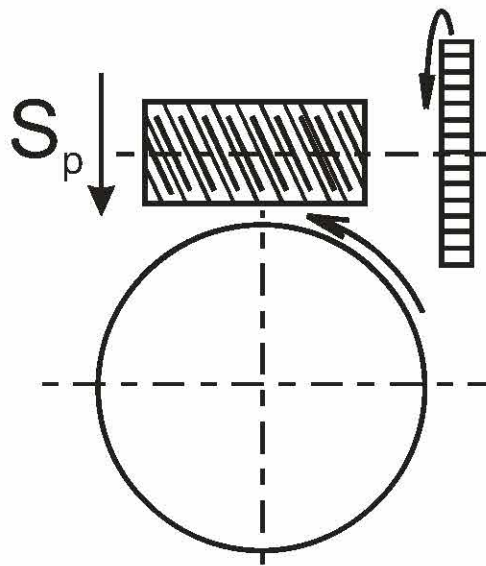


Рис.1.3 – Метод огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з її радіальною подачею.

Аналіз робіт [8] показав, що при радіальній подачі $S_r=0,3$ мм/об машинний час складає $T_m=3,3$ хв., а висота огранки черв'ячного колеса становить 29,5 мкм.

На рис.1.4 зображено метод огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з її тангенціальною подачею.

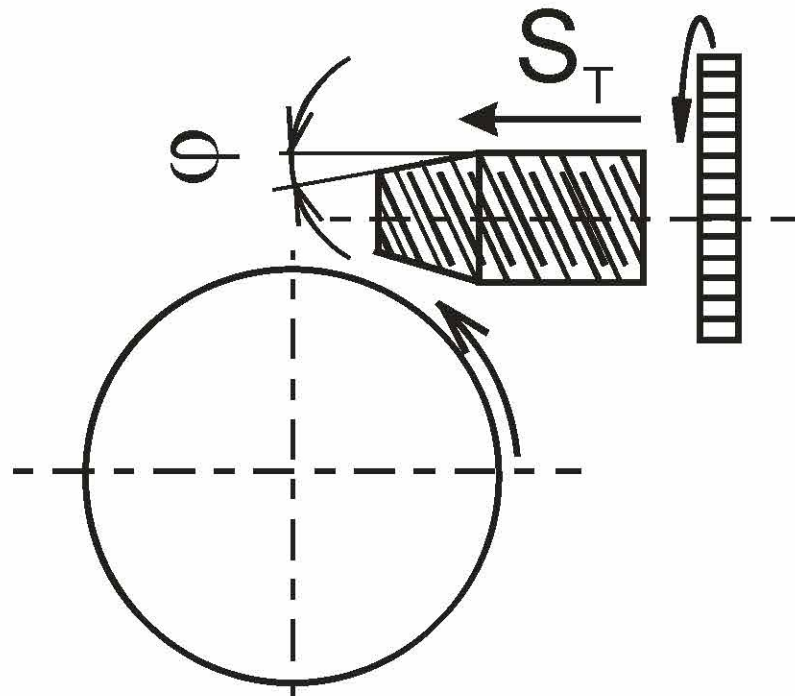


Рис.1.4 – Метод огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з її тангенціальною подачею.

Аналіз робіт [9] показав, що при тангенціальній подачі $S_t=1,4$ мм/об машинний час складає $T_m=7,5$ хв., а висота огранки черв'ячного колеса становить 2,8 мкм.

На рис.1.5 зображено метод огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з її діагональною подачею.

Аналіз робіт [11] показав, що при радіальній подачі $S_p=0,5$ мм/об та при тангенціальній подачі $S_t=1,8$ мм/об машинний час складає $T_m=3,3$ хв., а висота огранки черв'ячного колеса становить 3,5 мкм.

Втім, як зазначено в роботі [12], цей спосіб реалізується лише на зубофрезерному верстаті 5А326.

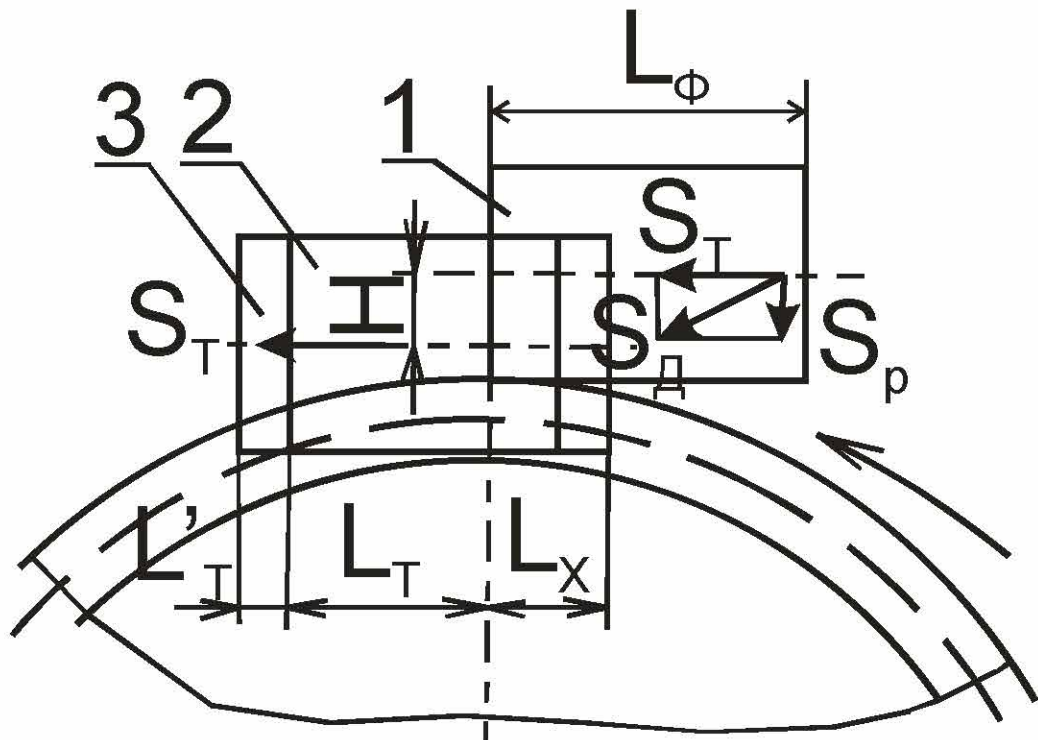


Рис.1.5 – Метод огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою з її діагональною подачею.

Таким чином, для подальших досліджень зупиняємось на методі огинання черв'ячного колеса черв'ячною фрезою у верстатному зачепленні з її тангенціальною подачею.

1.1.4. Аналіз конструкцій збірних черв'ячних повнопрофільних фрез.

Аналіз робіт [12, 13 ,18, 19] показав, що найбільше поширення знайшли два варіанти конструкцій збірних черв'ячних фрез. Варіант конструкції №1 зображено на рис.1.6. Перевага цієї конструкції полягає в простоті її реалізації.

На рис.1.7 зображено варіант конструкції №2 збірної черв'ячної фрези. Недоліком цього варіанту є те, що він реалізується без інструментальних рейок і передбачає наявність лише твердосплавних зубців.

Інші варіанти конструкцій збірних черв'ячних фрез зображено на рис.1.8–рис.1.16.

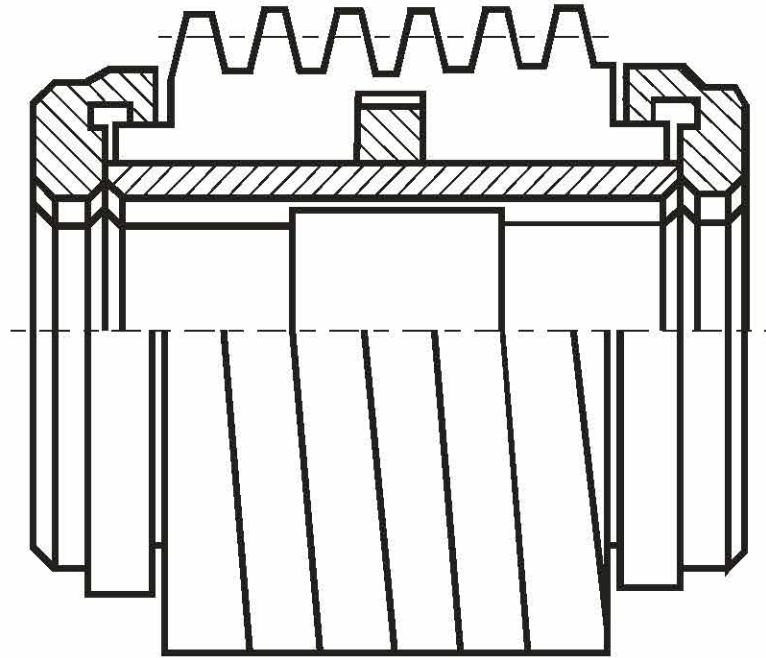


Рис.1.6 – Конструкція збірної черв'ячної фрези.

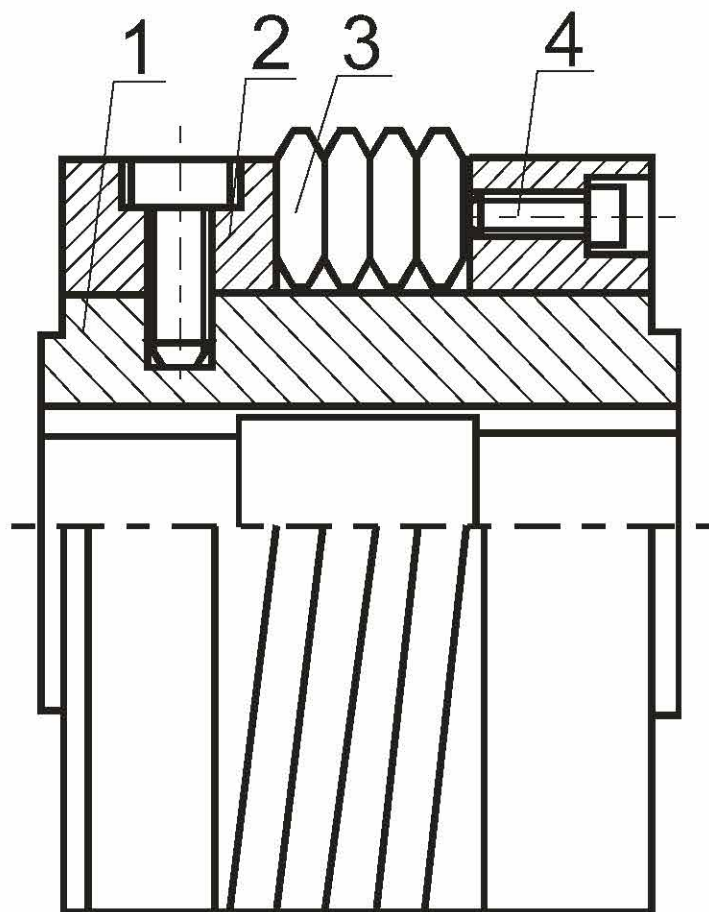


Рис.1.7 – Конструкція збірної черв'ячної фрези.

На рис.1.8 показана робоча конструкція лівого корпусу твердосплавної фрези з модулем $m=25$ мм одностороннього різання.

Внаслідок зменшення модуля фрези зменшується товщина її корпусу, що значно ускладнює операцію механічного закріплення вставних зубців. Тому, розроблені авторами конструкції черв'ячних твердосплавних двохкорпусних фрез одностороннього різання з модулями $m=10-16$ мм виконані із вставними кінцевими зубчастими рейками. Така фреза наведена на рис.1.9.

Фреза, що зображена на рис.1.9, складається з корпусу, в повздовжніх пазах якого розміщені кінцеві зубчасті рейки, на вершинах виступів яких напаяні твердосплавні пластинки. З обох торців фрези рейки закріплені кришками та гвинтами. Так само, як і у фрез із вставними зубцями, рейкова конструкція інструмента передбачає розміщення ріжучих крайок – твердосплавних пластинок, лише на лінії верстатного зачеплення інструмента та деталі.

Рейкові фрези одностороннього різання можуть бути виконаними з різними напрямками витків, а установочна відстань для них визначається так само, як і для фрез із вставними різцями.

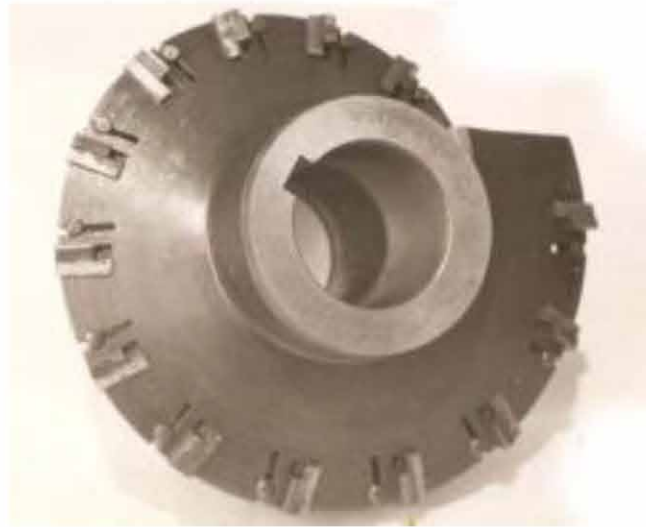


Рис.1.8 – Робоча конструкція лівого корпусу твердосплавної фрези з модулем $m=25$ мм із вставними конічними зубчастими рейками [].

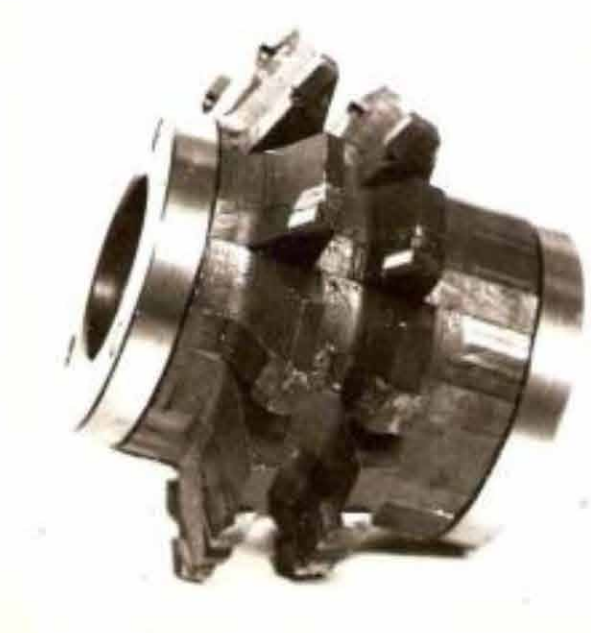


Рис.1.9 – Робоча конструкція правого корпусу двохкорпусної фрези з модулем $m=16$ мм одностороннього різання [].

В роботі [20] розроблено систему збірних черв'ячних фрез. Розроблені фрези, що зображені на рис.1.10-рис.1.15 призначені для чорнового та чистового

нарізування зубців циліндричних, черв'ячних та храпових коліс, зірочок ланцюгових передач та шліцьових валів, коліс зачеплення Новикова. Застосовуються на зубофрезерних верстатах будь-яких типів.

Фрези складаються з корпусу із закріпленими в ньому рейками або зубцями. Профілювання задніх поверхонь рейок здійснюється комплектом у технологічному положенні на різьбошліфувальному верстаті.

Зборні фрези у порівнянні з цільними більш продуктивні внаслідок збільшених задніх кутів; економічні внаслідок багаторазового застосування корпусу, а також збільшеної кількості переточувань та пересувань; технологічні у виготовленні, оскільки дозволяють використовувати один і той же корпус для встановлення рейок з різними профілями.

Результатом застосування таких фрез є: підвищення продуктивності зубонарізання у порівнянні із затилованими фрезами у 1,4–1,5 разів, стійкості між переточуваннями – у 2 рази, сумарної стійкості до повного зношування – у 4 рази.

Зменшення у 2 рази витрат інструментального матеріалу на одиницю довжини ріжучої частини. Можливість десятикратного застосування корпусів фрез.



Рис.1.10 – Черв'ячна фреза з $m = 4,25$ мм, Р6М5, для обробки зубчастих коліс масляного насоса до двигунів ЯМЗ [1].



Рис.1.11 – Черв'ячна фреза з $m = 2$ мм, Р6М5К5, трьохвиткова [1].



Рис.1.12 – Черв'ячна фреза з $m = 2$ мм, Р6М5, трьохвиткова [1].



Рис.1.13 – Одновиткова різцева голівка для нарізання храпових коліс [1].

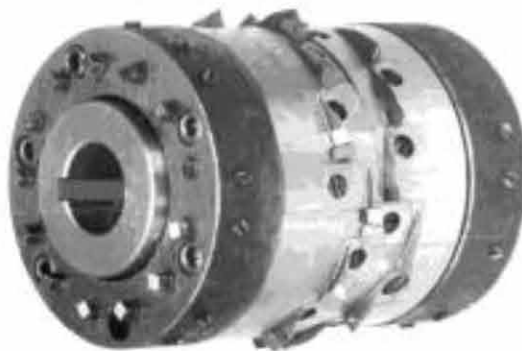


Рис.1.14 – Збірна черв'ячна фреза твердосплавними ріжучими зубцями для чистового нарізання загартованих зубчастих коліс [1].

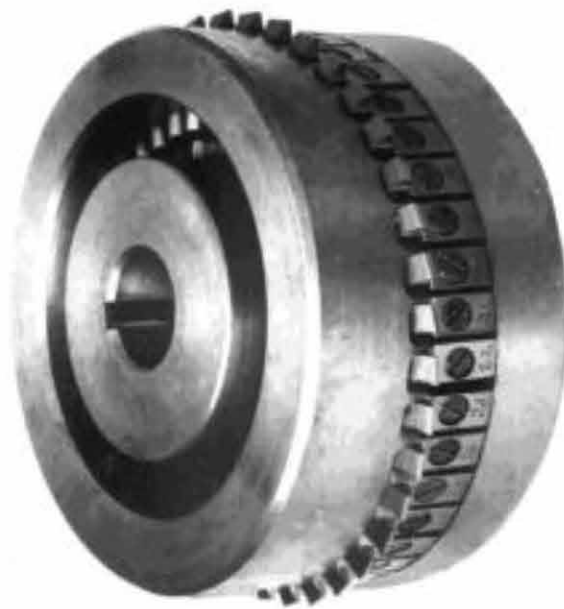


Рис.1.15 – Одновиткова різцева голівка з $m = 2,5$ мм, Р6М5, для нарізання вузьковісцевих коліс [22].

В роботі запропоновані [21] зборні конструкції черв'ячних одновиткових фрез, що зображені на рис.1.16.

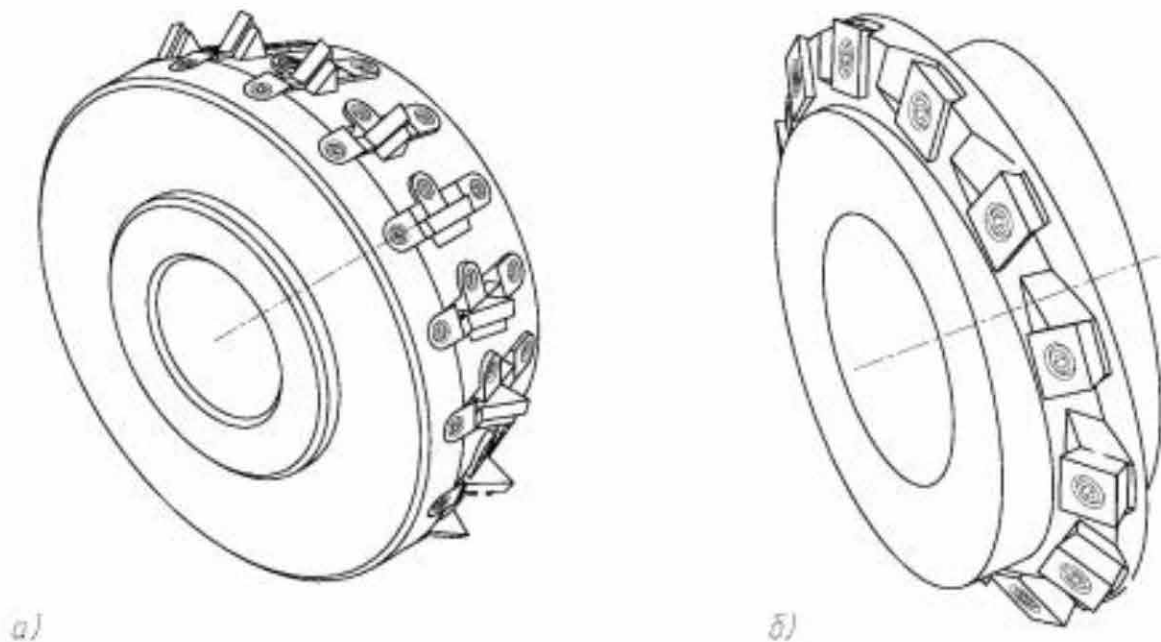


Рис.1.16 – Зборні конструкції зубофасочних фрез [21].

На рис.1.16.а представлена черв'ячна одновиткова фреза для обробки скося на зубцях статора та обода маховика двигуна. В цій фрезі застосовані трикутні твердосплавні пластини, що фіксуються за допомогою клинів.

На рис.1.16.б представлена фреза для зняття фасок. Фреза містить ромбічні пластини, що зафіксовані гвинтами, а її особливість полягає у тангенціальному розміщенні пластин. Такі зборні одновиткові черв'ячні фрези дозволяють підвищити швидкість різання на 50–60%, що забезпечує в середньому підвищення продуктивності на 30%.

Також, в роботі [23] запропонований спосіб обробки зубців одночасно з обробкою фасок на торцях зубців. Спосіб містить формоутворення зубців черв'ячною зуборізною фрезою одночасно з якою на оправці розташовані одновиткові фрези для зняття фасок. Після обробки зубців колеса та зміщення оправки обробляються фаски на торцях зубців.

Втім, всі вони працюють за схемою однопрохідного різання.

Таким чином, в подальших дослідженнях доцільно зупинитися на варіанті конструкції №1 збірної черв'ячної фрези.

1.1.5. Аналіз черв'ячних фрез з поділенням профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті.

Згідно з роботою [24] усунення або часткове зменшення негативного впливу на процес зубообробки факторів, присутніх у схемі різання черв'ячних фрез стандартної конструкції, можливе за рахунок збільшення кількості стружкових канавок і рейок. Це досягається при незмінному зовнішньому діаметрі фрези зменшенням висоти зубців та розділенням профілю рейки нормального початкового контуру по висоті між фрезами для двох послідовних проходів [5].

Розглянемо докладніше ці фрези.

Одночасне вирішення усіх означених проблем дає розділення по висоті профілю рейки початкового контуру черв'ячної фрези між інструментами для двох послідовних проходів [5, 9, 18, 22].

Черв'ячні фрези, які побудовані за даним принципом, представлено на рис.1.17.

З розділеного по висоті профілю рейки нормального початкового контуру 1 утворено фрезу для першого проходів, зубці 2 якої відповідають профілю ніжки

зубців цієї рейки [див.рис.1.17, а].

Фреза для другого проходу утворена як частина профілю нормального початкового контуру таким чином, що її зубці 3 відповідають головці зубців цього профілю [див.рис.1.17, б]. Для виключення підрізання евольвентних профілів, сформованих першою фрезою, ніжки 4 зубців другої фрези у нормальному перерізі не повинні виходити за межі нормального початкового контуру 1 і можуть мати довільну форму, яка відповідає вимогам технологічності, наприклад, виконану із більшим профільним кутом, або прямокутною в нормальному перерізі [25, 26].

Оскільки гвинтова поверхня основного черв'яка, на якій розміщено ніжки зубців другої фрези, має допоміжний характер і не приймає участі у різанні, її не розділяють стружковими канавками [див.рис.1.17, б].

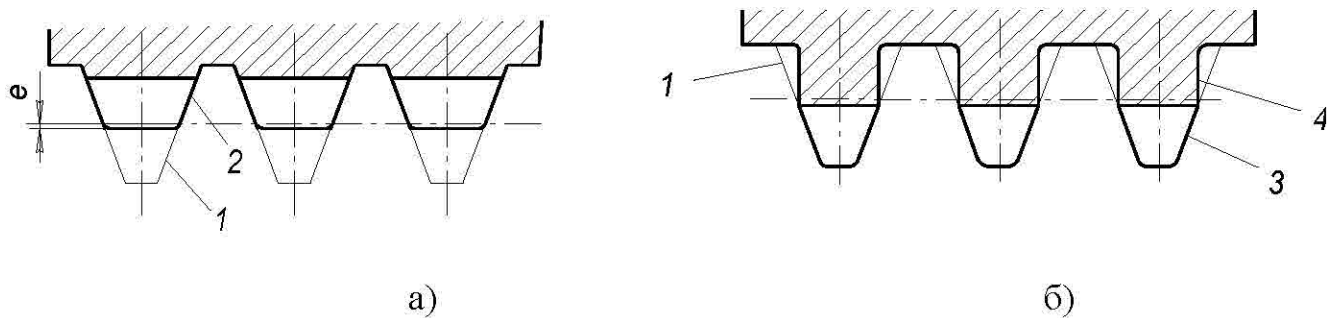


Рис.1.17 – Рейка черв'ячної фрези з поділеним контуром для першого (а) та другого (б) проходів [18, 22]:

- 1 – рейка нормального початкового контуру;
- 2 – зубці фрези для першого проходу;
- 3 – зубці фрези для другого проходу;
- 4 – ніжка зубців фрези для другого проходу.

При такій будові фрез зберігаються закономірності формоутворення та профілювання в умовах обкочування, але відбувається перерозподіл припуску між першим та другим проходами та змінюється схема усунення металу із западин між зубцями колеса, яке нарізають (рис.1.18) [26, 27].

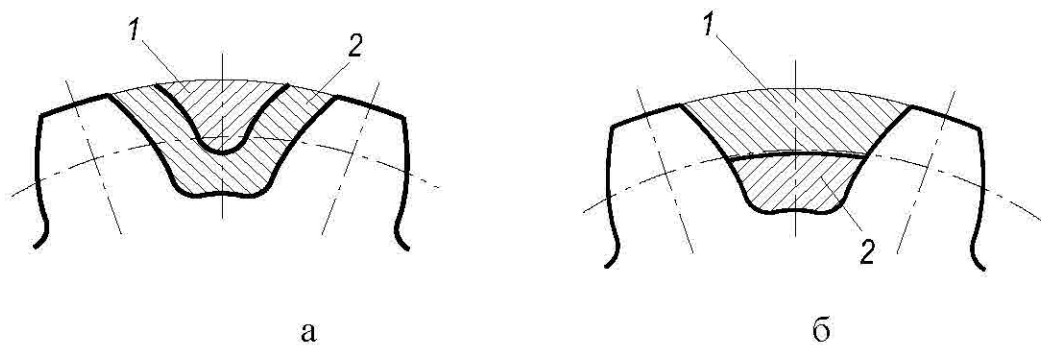


Рис.1.18. Схема усування припуску та формування евольвентних профілів стандартною черв'ячною фрезою (а) та черв'ячною фрезою з поділеним профілем (б) [26, 27].

На першому проході усувається припуск, який міститься між ділильним і зовнішнім циліндрами заготовки та відбувається формування голівок зубців колеса.

На другому проході зрізається припуск, що міститься між поверхнями ділильного циліндру та циліндру западин і формуються ніжки зубців колеса.

Для усунення перехідного сліду на поверхні утворених зубців на одній із фрез необхідно виконати перекриття e по висоті зубців у межах (рис.1.17, а):

$$e = 0,25 - 0,5m, \quad (1.1)$$

де m – модуль черв'ячної фрези, мм.

На рис.1.19 показано схему формування зубців черв'ячними фрезами з поділеним профілем за два проходи.

Основна перевага черв'ячних фрез з поділеним профілем початкового контуру (далі позначені як “фрези ПК”) полягає в тому, що при незмінному зовнішньому діаметрі фрези за рахунок зменшення висоти зубців можна утворити більшу кількість торцевий зубців (рейок) [29].

Це дозволяє розвантажити фрезу завдяки перерозподілу зрізуваних шарів між більшою кількістю зубців по колу, а також, при однаковій із стандартною черв'ячною фрезою подачі s_z на зубець, пропорційно зростанню кількості рейок збільшити осьову подачу та підвищити продуктивність зубонарізання.

На рис.1.20 зображено вид з торця на стандартну черв'ячну фрезу, в якій $z_0 = 9$ (а), та фрези ПК для першого (б) і другого (в) проходів, у яких $z_0 = 16$ [30, 31].

З метою всебічного вивчення цієї схеми різання та черв'ячних фрез вказаної будови, встановлення можливості та області їх практичного використання, на основі графоаналітичної моделі параметрів зрізів та математичних моделей силового навантаження, розподілення температури, стійкості модифікованих фрез до спрацювання та динамічних моделей сили і температури було проведено комплексне дослідження процесу різання [30, 35].

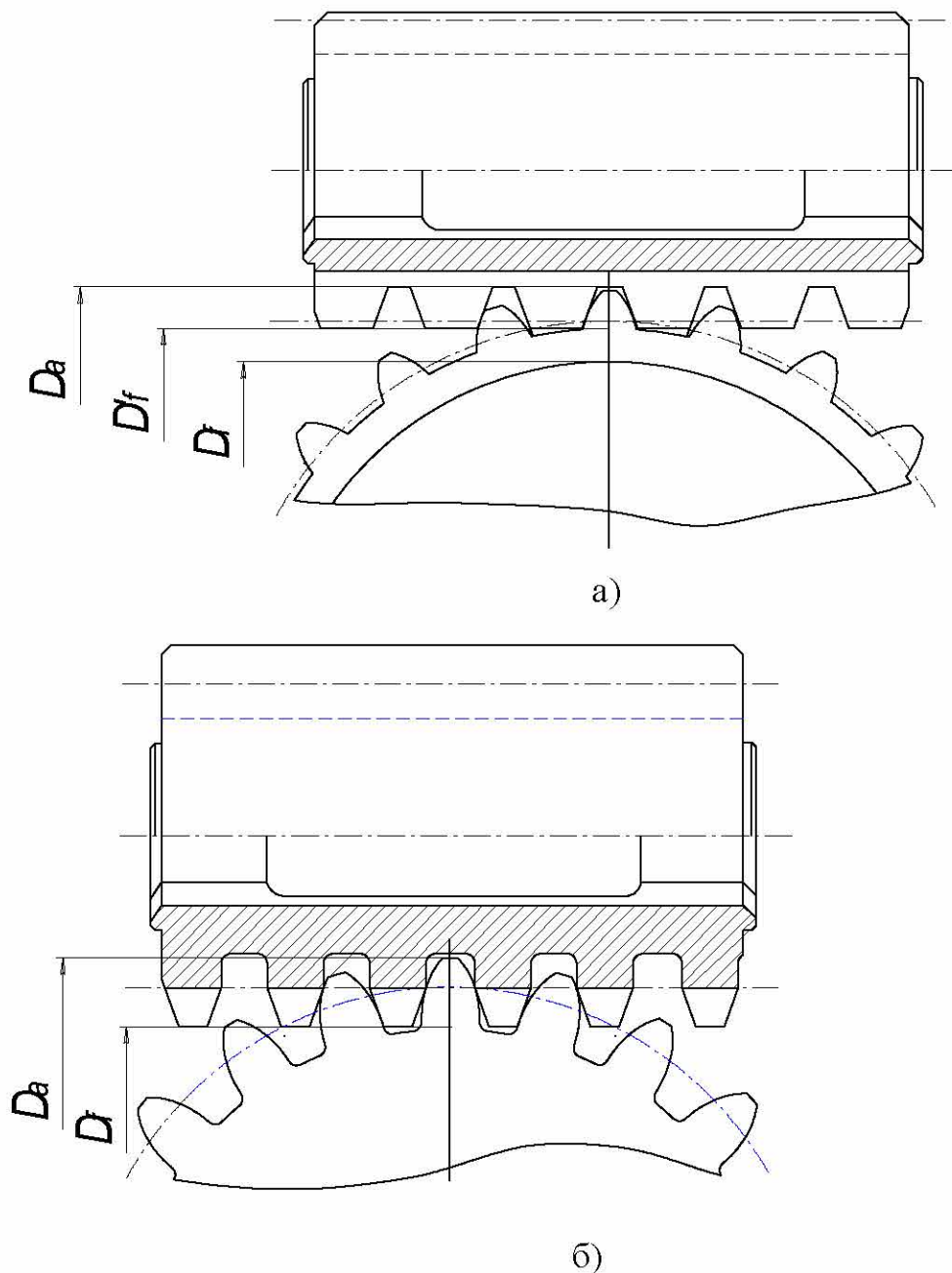
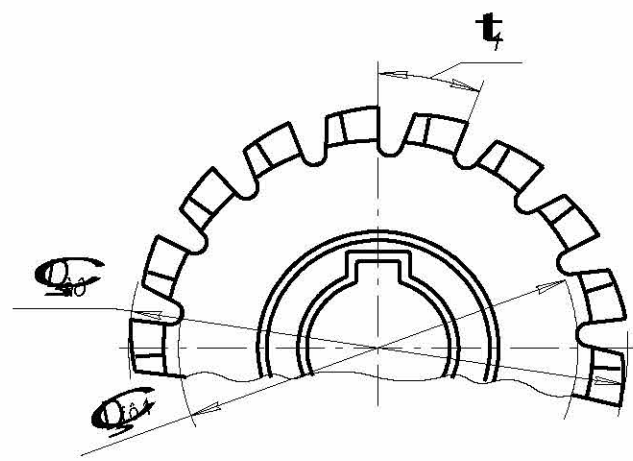
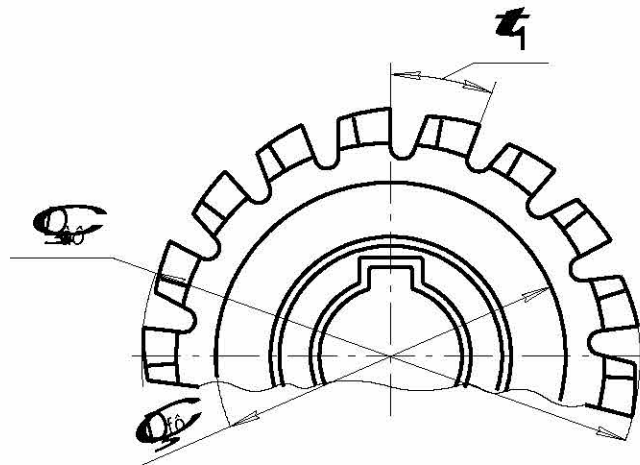


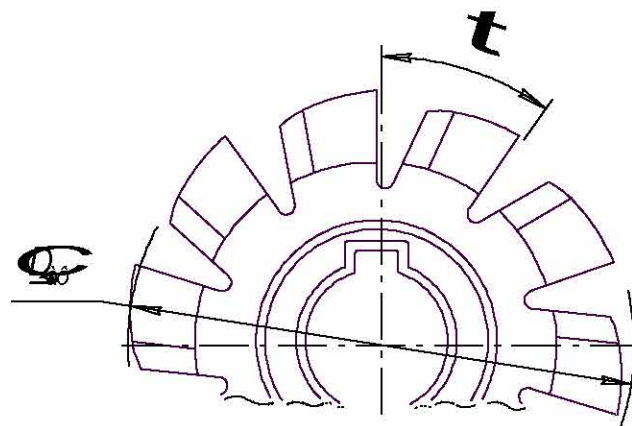
Рис.1.19 – Схема формування зубців у двопрхідному нарізанні зубчастого колеса черв'ячними фрезами з поділеним профілем [30, 35].



a)



б)



в)

Рис.1.20 – Черв'ячні фрези з поділеним профілем для першого (а) та другого (б) проходів і стандартна черв'ячна фреза (в) [38]

Основні результати цих досліджень викладено нижче у порівнянні з аналогічним процесом, який здійснюється з використанням стандартних

черв'ячних фрез; кількість рейок фрез ПК рівна 16, стандартних фрез – 9; 10 [39,40].

Однак в роботі [22] розглядалися черв'ячні фрези для обробки циліндричних зубчастих коліс з різних сталей, а в нашому випадку необхідно обробляти черв'ячні колеса з бронзи.

Затилювання інструментів виконується для створення задніх кутів. Це можна зробити і у в інший спосіб – зміною положення зуба фрези.

Відомі зборні черв'ячні фрези, в яких задні кути зубців отримують не затилюванням, а поворотом чи зміщенням рейок, що шліфуються по радіусу [25].

Незатиловані черв'ячні фрези відрізняються від звичайних цільних фрез:

- відсутня операція затилюванням різцем та шліфувальним колом;
- задні кути по всьому контуру отримують нахилом або зміщенням зубців чи рейки;
- легко отримати оптимальні задні кути, що необхідні за умовами різання;
- попередню та остаточну обробку зубчастих рейок виконують так само, як і звичайної гвинтової поверхні циліндричного черв'яка;
- поверхні шліфують на різьбо- та черв'ячно-шліфувальних верстатах з більш високою точністю за кроком, профілем та чистотою.

Незатиловані черв'ячні фрези можуть мати будь-який задній кут. Тут нема технологічних обмежень, оскільки необхідний задній кут досягається або відповідним зміщенням місця для закріплення рейки або її поворотом. В цьому полягає одна з головних переваг таких фрез, яка повинна привести до підвищення їх працездатності.

Профіль зубців незатилованих фрез є шліфованим по всій довжині, а у затилованих фрез цього досягнути не можна. Тому зборні фрези допускають значно більше число переточок.

Зборні незатиловані фрези забезпечують суттєву економію швидкорізальної сталі. Рейки таких фрез мають ряд переваг:

- краще куються;
- швидше прогріваються при нагріванні для закалювання, що запобігає росту зерна та зменшення вмісту вуглецю;
- їх простіше армувати твердим сплавом.

наведено на рис.1.21.

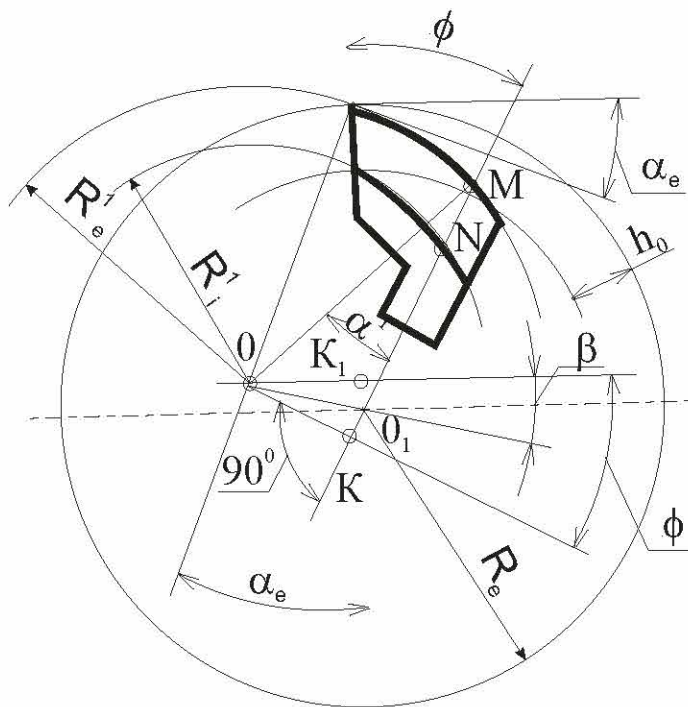


Рис.1.21 – Схема профілювання зубця збірної повнопрофільної черв'ячної фрези.

В роботах Рудича М.Л. [29] запропоновано зображені на рис.1.21 фрези виконувати з поділенням профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті, причому зовнішній діаметр повнопрофільної черв'ячної фрези позначається через R_e .

Радіус вершин зубців другого проходу R_{e2} визначено так:

$$\text{Re}_2 = \text{Re}_1 + h_{01}, \quad (1.2)$$

Радіус западин зубців другого проходу R_i , визначено так:

$$Ri_z = Re_z - h_{01}. \quad (1.3)$$

Радіус вершин зубців першого проходу R_{i1} визначено так:

$$\text{Re}_1 = \text{Re}_2 + h_{01}. \quad (1.4)$$

Радіус западин зубців першого проходу R_i визначено так:

$$Ri_1 = Re_1 - h_{01}. \quad (1.5)$$

В роботі [30] позначено оптимальний передній кут при вершині через γ_0 .

Призначено оптимальний передній кут при вершині зубця другого проходу:

$$\gamma_{e2} = \gamma_e. \quad (1.6)$$

Передній кут при вершині зубця першого проходу:

$$\gamma_{e1} = \arcsin \left[\frac{R_{e2}}{R_{e1}} \sin(\gamma_{e2}) \right]. \quad (1.7)$$

Передній кут при западині зубця другого проходу:

$$\gamma_{i2} = \arcsin \left[\frac{R_{e2}}{R_{i2}} \sin(\gamma_{e2}) \right]. \quad (1.8)$$

Передній кут при западині зубця першого проходу:

$$\gamma_{i1} = \arcsin \left[\frac{R_{e2}}{R_{i1}} \sin(\gamma_{e2}) \right]. \quad (1.9)$$

В роботі [31] позначено оптимальний передній кут при вершині зубця першого проходу:

$$\gamma_{e1} = \gamma_e. \quad (1.10)$$

Передній кут при вершині зубця другого проходу:

$$\gamma_{e2} = \arcsin \left[\frac{R_{e1}}{R_{e2}} \sin(\gamma_{e1}) \right]. \quad (1.11)$$

Передній кут при западині зубця другого проходу:

$$\gamma_{i2} = \arcsin \left[\frac{R_{e1}}{R_{i2}} \sin(\gamma_{e1}) \right]. \quad (1.12)$$

Передній кут при западині зубця першого проходу:

$$\gamma_{i1} = \arcsin \left[\frac{R_{e1}}{R_{i1}} \sin(\gamma_{e1}) \right]. \quad (1.13)$$

В роботі [28] позначено оптимальний задній кут при вершині через α_e .

В роботі [32] позначено оптимальний задній кут при вершині зубця другого проходу:

$$\alpha_{e2} = \alpha_e. \quad (1.14)$$

Задній кут при западині зубця другого проходу:

$$\alpha_{i2} = \arctg \frac{\tg(\alpha_{e2})}{1 - \frac{h_{02}}{R_{e2}} [1 + \tg(\beta) \tg(\alpha_{e2})]}. \quad (1.15)$$

Задній кут при вершині зубця другого проходу:

$$\alpha_{e1} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e2})}{1 - \frac{(h_{02})}{R_{e2}} [1 + \operatorname{tg}(\beta) \operatorname{tg}(\alpha_{e2})]}. \quad (1.16)$$

Задній кут при западині зубця першого проходу:

$$\alpha_{i1} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e2})}{1 - \frac{(h_{01} + h_{02})}{R_{e2}} [1 + \operatorname{tg}(\beta) \operatorname{tg}(\alpha_{e2})]}. \quad (1.17)$$

В роботі [33] позначено оптимальний задній кут при вершині зубця першого проходу:

$$\alpha_{e1} = \alpha_e. \quad (1.18)$$

Задній кут при западині зубця першого проходу:

$$\alpha_{i1} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e1})}{1 - \frac{h_{01}}{R_{e1}} [1 + \operatorname{tg}(\beta) \operatorname{tg}(\alpha_{e1})]}. \quad (1.19)$$

Задній кут при вершині зубця другого проходу:

$$\alpha_{e2} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e1})}{1 - \frac{(-h_{02})}{R_{e1}} [1 + \operatorname{tg}(\beta) \operatorname{tg}(\alpha_{e1})]}. \quad (1.20)$$

Задній кут при западині зубця другого проходу:

$$\alpha_{i2} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e1})}{1 - \frac{h_{02}}{R_{e1}} [1 + \operatorname{tg}(\beta) \operatorname{tg}(\alpha_{e1})]}. \quad (1.21)$$

Для подальших досліджень обираємо збірні черв'ячні фрези з поділенням профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті, які розглянуті вище.

1.1.6. Аналіз черв'ячних передач, що застосовуються в металорізальних верстатах.

Прецизійні черв'ячні передачі використовуються як для установочних кутових переміщень, так і для здійснення точного безперервного переміщення, пов'язаного з рухом інших елементів системи [28].

Прикладом вузлів, в яких застосовують черв'ячні передачі для точних кутових переміщень, можуть бути поворотні столи координатно-розточувальних верстатів. Ці столи призначені для обробки деталей в полярній системі координат і повинні мати точність, порівняну з високою точністю лінійних переміщень, що

здійснюється на координатно-розточувальних верстатах так, щоб відхилення обробки не залежали від системи координат.

Якщо установочні кутові переміщення можуть здійснюватися рядом пристроїв, то точний безперервний рух, пов'язаний кінематичним шляхом з рухом інших елементів, до теперішнього часу здійснюється практично за допомогою прецизійних черв'ячних передач [43].

Підвищення точності прецизійних черв'ячних передач може здійснюватися способом [46, 46] регулюванням бокового зазору в передачі [див.рис.1.22]. Причому така передача може бути замкненою, як це показано на рис.1.22, 6.

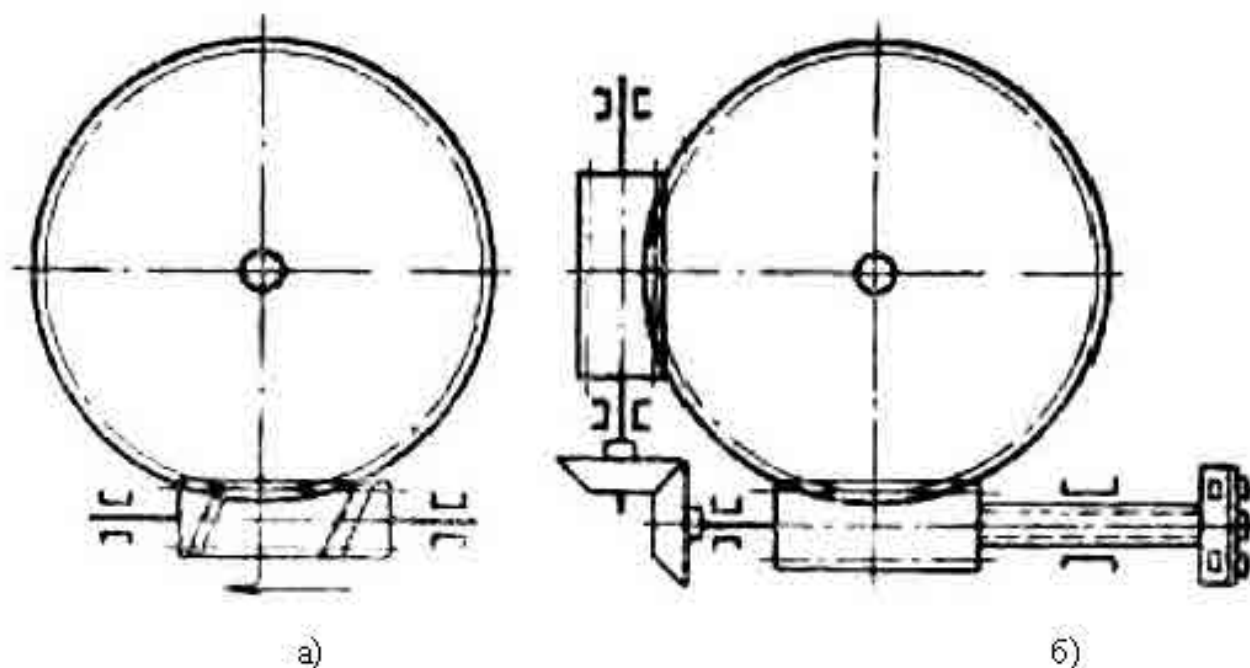


Рис. 1.22 – Способи регулювання бокового зазору в черв'ячній передачі:

- а) осьовим переміщенням черв'яка із змінним осьовим кроком;
- б) осьовим переміщенням одного з двох черв'яків замкненої черв'ячної передачі, що входять в зачеплення з ділильним черв'ячним колесом

На рис.1.23 зображено кінематичну схему пристрою попадання в нитку різі виробу верстата для шліфування черв'ячних фрез MB 107.

З рис.1.23 видно, що ділильне колесо знаходиться в зачепленні з двома черв'яками, причому ця передача є замкненою.

Вертикальний черв'як має осьове регулювання пружиною для компенсації бокового зазору в зачепленні.

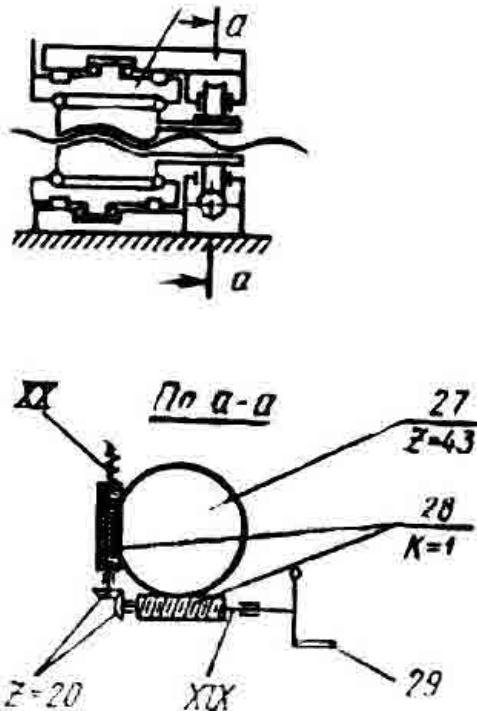


Рис. 1.23 – Кінематична схема пристрою попадання в нитку різі виробу верстата для шліфування черв'ячних фрез MB 107 [52].

Таким чином, замкнені черв'ячні передачі застосовуються в сучасному верстатобудуванні і призначені для підвищення точності кінематичних ланцюгів верстатного обладнання.

1.1.7. Мета та завдання магістерської дипломної роботи.

Метою магістерської дипломної роботи є управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки шляхом визначення на етапі проектування необхідних для цього параметрів різального інструменту.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі задачі: дослідити особливості поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті; розробити нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез; визначити та дослідити величину огранювання зубців черв'ячних коліс; визначити мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез.

1.2 Методика дослідження

Дослідити особливості поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті шляхом врахування впливу радіусу заокруглення голівок зубців черв'ячної фрези як класу точності А, так і класу точності АА.

На основі проведених досліджень визначити новий коефіцієнт перекриття між зубцями першого та другого проходів.

Розробити нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез на дві частини по висоті з врахуванням нового коефіцієнту перекриття.

Взяти за основу розрахунків рівняння величини огранювання зубців черв'ячних коліс, що наведено в роботі Сандлера О.І. [38].

Шляхом відповідних математичних перетворень отримати рівняння величини огранювання зубців черв'ячних коліс, що будуть оброблятися новими черв'ячними фрезами.

Взяти за основу розрахунків рівняння мінімальної кількості зубців цільних черв'ячних фрез, що наведено в роботі Сандлера О.І. [38].

Шляхом відповідних математичних перетворень отримати рівняння мінімальної кількості зубців нових черв'ячних фрез, що забезпечуватимуть необхідну точність обробки.

Розробити програмне забезпечення в середовищі MATLAB 8 шляхом створення відповідного m-файлу та навести його в додатках до магістерської дипломної роботи.

Дослідити величину огранювання зубців черв'ячних коліс.

Визначити мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез.

Зробити висновки про досягнення мети магістерської дипломної роботи „Дослідження особливостей управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки”.

1.3 Теоретичні дослідження

1.3.1. Дослідження особливостей поділення профілю інструментальної рейки на дві частини по висоті.

Для однопрофільних черв'ячних фрез радіус заокруглення головки зубців визначається в роботі [18] в залежності від класу точності фрези.

Для черв'ячних передач верстатного обладнання є нормаль верстатобудування Н24-5 [16], яка визначає характеристики цих передач, що суттєво відрізняються від черв'ячних передач загально машинобудівного призначення підвищеними значеннями коефіцієнту діаметру черв'яка.

Наприклад, для модуля $m=3\text{мм}$ встановлюється верхнє та нижнє значення коефіцієнту діаметру черв'яка.

Верхнє значення коефіцієнту діаметру черв'яка з $m=3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$q = 22. \quad (1.22)$$

Нижнє значення коефіцієнту діаметру черв'яка з $m=3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$q = 17. \quad (1.23)$$

В п.1 магістерської дипломної роботи встановлено, що перекриття між зубцями першого та другого проходів складає $0,25m$.

Радіус заокруглення вершин мають зубці першого і другого проходів.

Голівка зубців першого проходу вище ніжки зубців другого проходу на величину перекриття.

Радіус заокруглення зубців черв'ячної фрези класу точності А для обробки черв'ячного колеса спряженого з черв'яком із значення коефіцієнту діаметру черв'яка (1.22) з $m=3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$\rho_{a0\text{max}} = 0,3m. \quad (1.24)$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$\rho_{a0\text{min}} = 0,6\text{мм}. \quad (1.25)$$

Радіус заокруглення зубців черв'ячної фрези класу точності А для обробки черв'ячного колеса спряженого з черв'яком із значення коефіцієнту діаметру черв'яка (1.23) з $m=3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$\rho_{a0\text{min}} = 0,2m. \quad (1.26)$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$\rho_{a0\text{min}} = 0,6\text{мм}. \quad (1.27)$$

Радіус заокруглення зубців черв'ячної фрези класу точності АА для обробки черв'ячного колеса становить []:

$$\rho_{a0} = \frac{c}{1 - \sin(\alpha_{n0})}, \quad (1.28)$$

де c – коефіцієнт радіального зазору в черв'ячній передачі;

$\alpha_{n0} = 20^\circ$ – кут профілю в нормальному перерізі.

Тобто, радіус заокруглення зубців черв'ячної фрези класу точності АА для обробки черв'ячного колеса спряженого з черв'яком із значення коефіцієнту діаметру черв'яка (1.22) з $m = 3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$\rho_{a0\max} = \frac{0,3m}{1 - \sin(\alpha_{n0})}. \quad (1.29)$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$\rho_{a0\max} = 1,368\text{мм} \approx 1,4\text{мм}. \quad (1.30)$$

Радіус заокруглення зубців черв'ячної фрези класу точності АА для обробки черв'ячного колеса спряженого з черв'яком із значення коефіцієнту діаметру черв'яка (1.23) з $m = 3\text{мм}$ за нормаллю верстатобудування Н24-5 становить:

$$\rho_{a0\min} = \frac{0,2m}{1 - \sin(\alpha_{n0})}. \quad (1.31)$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$\rho_{a0\min} = 0,912\text{мм} \approx 0,9\text{мм}. \quad (1.32)$$

Після підстановки відповідних значень до рівняння перекриття для $m = 3\text{мм}$ отримаємо:

$$e = 0,75\text{мм}. \quad (1.33)$$

Знайдемо різницю між перекриттям та радіусом заокруглення вершин зубців черв'ячної фрези класу точності А та АА:

$$(e - \rho_{a0}): +0,15\text{мм}; -0,15\text{мм}; -0,15\text{мм}; -0,65\text{мм}. \quad (1.34)$$

Аналіз (1.34) показує, що гарантоване перекриття має місце лише для черв'ячних фрез із радіусом заокруглення за формулою (1.27). В інших трьох випадках наявність перекриття на бокових крайках не є гарантованим.

Тож, необхідно розробити нову схему поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез, яка б дала ці гарантії.

1.3.2. Розробка нової схеми поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез.

Враховуючи, що модуль є масштабним фактором [53] отримаємо нове значення перекриття між зубцями першого та другого проходів:

$$e = \rho_{a0} + 0,05m. \quad (1.35)$$

Тобто, висота нової рейки, яка збігається з висотою h_0 зубця повно профільної фрези становитиме:

$$h_0 = h_{01} + h_{02} - e, \quad (1.36)$$

де h_{01} – висота зубця першого проходу;

h_{02} – висота зубця першого проходу.

Тоді, висота зубця першого проходу визначатиметься так:

$$h_{01} = \frac{h_0}{2} + \rho_{a0} + 0,05m. \quad (1.37)$$

Тоді, висота зубця другого проходу визначатиметься так:

$$h_{02} = \frac{h_0}{2}. \quad (1.38)$$

Зв'язок з висотою зубця повно профільної фрези буде таким:

$$h_0 = h_{01} + h_{02} - e. \quad (1.39)$$

Нова схема поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез наведена на рис.1.24.

Тож, переходимо до подальших досліджень.

1.3.3. Визначення величини огранювання зубців черв'ячних коліс.

За методикою досліджень після відповідних математичних перетворень отримаємо рівняння для визначення величини огранювання зубців черв'ячних коліс:

$$\Delta f_2 = \frac{1}{2} \sqrt{4R_x^2 - [mz_2 \cos(\alpha_0)]^2} \left[\frac{1}{\cos\left(\frac{\pi N}{z_0 z_2}\right)} - 1 \right], \quad (1.40)$$

де z_0 – число зубців черв'ячної фрези;

z_1 – число витків черв'яка;

z_2 – число зубців черв'ячного колеса;

R_x – радіус поточної точки на зубці черв'ячного колеса;

N – найбільший дільитель числа витків черв'яка та кількості зубців черв'ячного колеса.

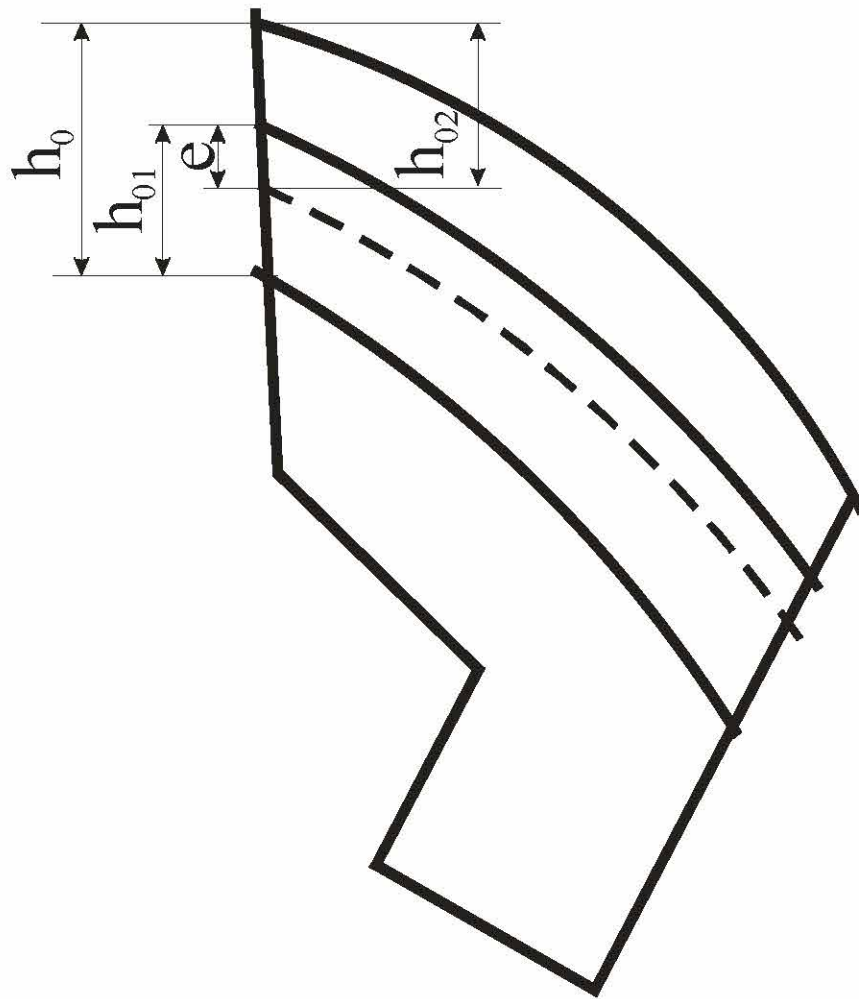


Рис.1.24 – Нова схема поділення профілю інструментальної рейки збірних черв'ячних фрез на дві частини по висоті.

Межі зміни радіуса поточної точки на зубці черв'ячного колеса:

$$R_x = R_{f2} \dots R_{aM}, \quad (1.41)$$

де R_{f2} – радіус западини зубців черв'ячного колеса;

R_{aM} – найбільший радіус вершин зубців черв'ячного колеса.

Переходимо до подальших досліджень.

1.3.4. Визначення мінімальної кількості інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез.

Величина допуску на відхилення профілю черв'ячного колеса $\mathcal{F}_2$ внаслідок обмеження визначається так [48]:

$$f_2 = 0,33 f_{f2}, \quad (1.42)$$

де f_{f2} – величина допуску на похибку профілю зубу черв'ячного колеса (регламентовано ГОСТ 3675-81).

Для повно профільних черв'ячних фрез мінімальна кількість зубців, що забезпечує потрібне значення величини f_{f2} допуску на похибку профілю зубу черв'ячного колеса за ГОСТ 3675-81 дорівнює:

$$z_0 = \frac{\pi\sqrt{3}}{2} \frac{N}{z_2} \sqrt{\frac{D_{aM} \sin(\alpha_{aM})}{f_{f2}}}. \quad (1.43)$$

Після відповідних математичних перетворень отримаємо:

$$z_0 = \frac{\pi\sqrt{3}}{2} \frac{N}{z_2} \sqrt{\frac{2R_{aM} \sqrt{1 - \left[\cos\left(\frac{mz_2 \cos(\alpha_0)}{2R_{aM}}\right) \right]^2}}{f_{f2}}}. \quad (1.44)$$

Саме (1.44) визначає мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез, що забезпечує потрібне значення величини f_{f2} допуску на похибку профілю зубу черв'ячного колеса за ГОСТ 3675-81.

1.4 Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання

Відомо [44], що для черв'ячних передач верстатного обладнання рекомендовані такі передаточні відношення: для універсальних верстатів $i = \frac{1}{43}$; для верстатів середніх моделей $i = \frac{1}{96}$.

Зупиняємось на передаточному відношенні $i = \frac{1}{43}$. Тобто, число витків черв'яка приймаємо $z_1 = 1$, а число зубців черв'ячного колеса приймаємо $z_2 = 43$.

Передаточне число проектованої черв'ячної передачі становить $u = 43$.

Стосовно модуля черв'ячної передачі відомо [49], що ефективно скористатися засобами вимірювання черв'ячної передачі можна коли її модуль не нижчий за 3 мм. Зупиняємось на модулі черв'ячної передачі $m = 3$ мм.

Коефіцієнт діаметру черв'яка приймаємо за нормаллю верстатобудування Н24-5 [31]:

– за варіант розрахунків №1 приймаємо $q=17$ з обробкою чистовою фрезою класу точності А;

– за варіант розрахунків №2 приймаємо $q=22$ з обробкою прецезійною фрезою класу точності АА.

1.4.1. Проектний розрахунок за варіантом №1 досліджуваної черв'ячної передачі верстатного обладнання.

В якості початкових даних за варіантом №1 приймаємо:

- передаточне відношення проектованої передачі $i = \frac{1}{43}$;
- передаточне число проектованої черв'ячної передачі $u = 43$;
- число витків черв'яка $z_1 = 1$;
- число зубців черв'ячного колеса приймаємо $z_2 = 43$;
- модуль $m = 3$ мм;
- коефіцієнт діаметра черв'яка $q = 17$.

Розрахунки досліджуваної черв'ячної передачі за варіантом №1 виконуємо згідно з рекомендаціями [62]. Результати розрахунку наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1

Розрахунок досліджуваної черв'ячної передачі за варіантом №1

№ п/п	Параметр	Позначення	Розрахункове значення
1	2	3	4
1.Початкові данні			
1.1	Модуль	m	3
1.2	Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	17
1.3	Число витків черв'яка	z_1	1
1.4	Вид черв'яка	—	—
1.5	Початковий черв'як відповідно до ГОСТ 19036–81:		
	кут профілю	α_n	20°
	коефіцієнт висоти головки витка	h_a^*	1,0
	коефіцієнт радіального зазору	c^*	0,2
	коефіцієнт глибини заходу	h_{ω}^*	2,0

1	2	3	4
	коефіцієнт висоти ніжки витка	h_f^*	1,2
	коефіцієнт висоти витка	h^*	2,2
	коефіцієнт граничної висоти витка	h_i^*	2,0
	коефіцієнт радіуса кривини перехідної кривої	ρ_{f1}^*	0,3
	коефіцієнт розрахункової товщини витка	s^*	$0,5\pi$
1.6	Передаточне число	u	43
1.7	Матеріал черв'яка	—	Сталь 40Х ГОСТ 4543
1.8	Матеріал черв'ячного колеса	—	БрО5Ц5С5 ГОСТ 613
1.9	Матеріал маточини	—	Сталь 45 ГОСТ 1050
1.10	Дільний кут підйому витка	γ_1	$3^\circ 21' 59''$
2. Розрахунок параметрів			
2.1	Число зубців черв'ячного колеса	z_2	43
2.2	Дільний діаметр: черв'яка	d_1	51
	черв'ячного колеса	d_2	129
2.3	Висота витка черв'яка	h_1	6,6
2.4	Висота головки витка черв'яка	h_{a1}	3
2.5	Діаметр вершин черв'яка	d_{a1}	57
	черв'ячного колеса	d_{a2}	135
2.6	Діаметр западин черв'яка	d_{f1}	43,8
	черв'ячного колеса	d_{f2}	136,2
2.7	Найбільший діаметр черв'ячного колеса	d_{aM2}	140
2.8	Довжина нарізаної частини черв'яка	b_1	66

1	2	3	4
2.9	Ширина вінця черв'ячного колеса	b_2	40
2.10	Міжосьова відстань	a_w	90
2.11	Радіус западини поверхні черв'ячного колеса ділильної вершин западин	R_2 R_{a2} R_{f2}	25,5 22,5 29,1
2.12	Радіус кривини перехідної кривої черв'яка	ρ_{f1}	0,9
2.13	Радіус кривини лінії притуплення витка	ρ_{k1}	0,3
2.14	Радіальний зазор	c	0,2
2.15	Умовний кут обхвату черв'яка	δ	$46^{\circ}6'50''^{\circ}$
3.Розрахунок розмірів для контролю взаємного положення бокових поверхонь витків черв'яка			
3.1	Розрахунковий крок черв'яка	p	9,425
3.2	Хід витка	p_{z1}	9,425

1.4.2. Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання за варіантом №1.

Вводимо початкові дані до розробленої в середовищі MATLAB 8 програми [див.додаток А] та діємо за її запитами. На рис.1.23–1.27 зображено результати роботи програми. Приймаємо число зубців черв'ячної фрези $z_0 = 9;10;11;12$.

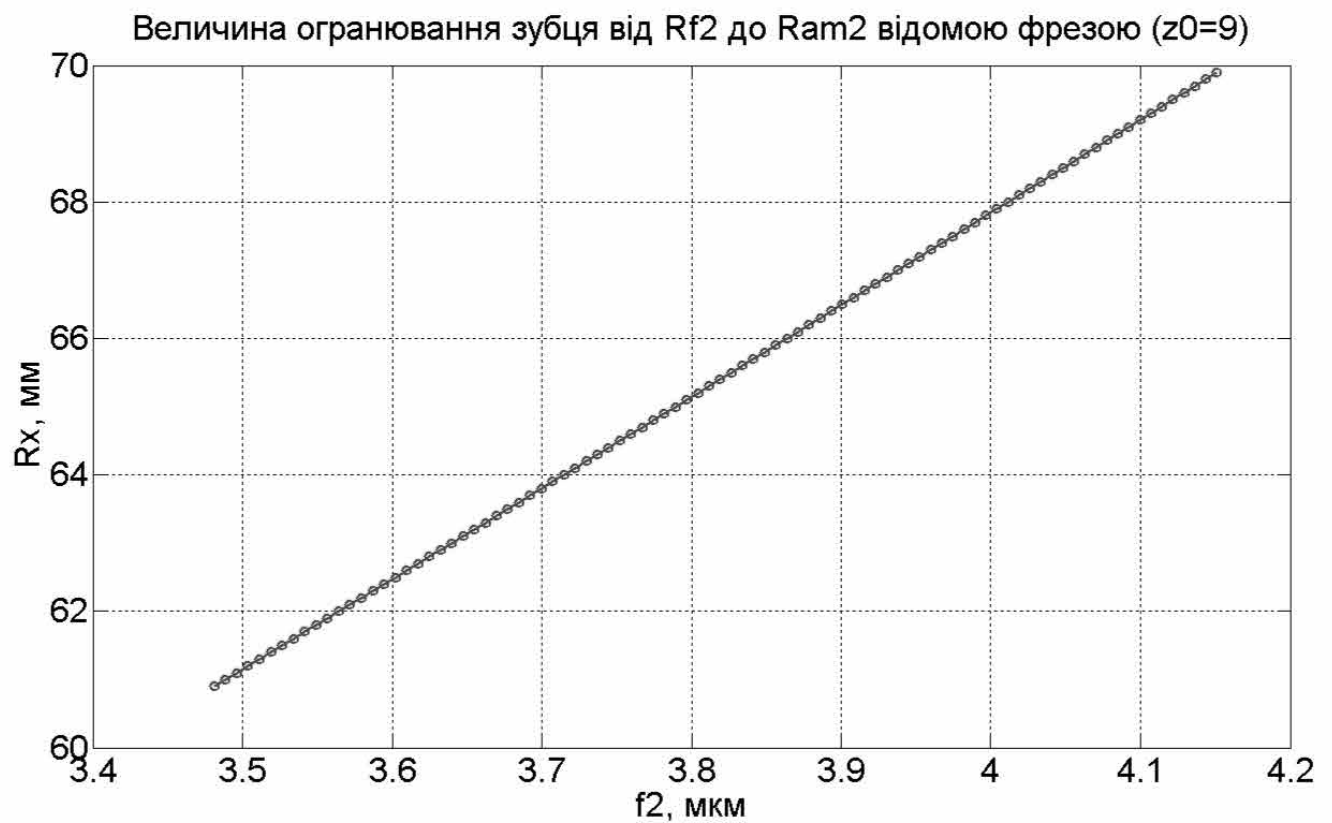


Рис.1.23 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{am2} відомою черв'ячною фрезою з $z_0=9$.

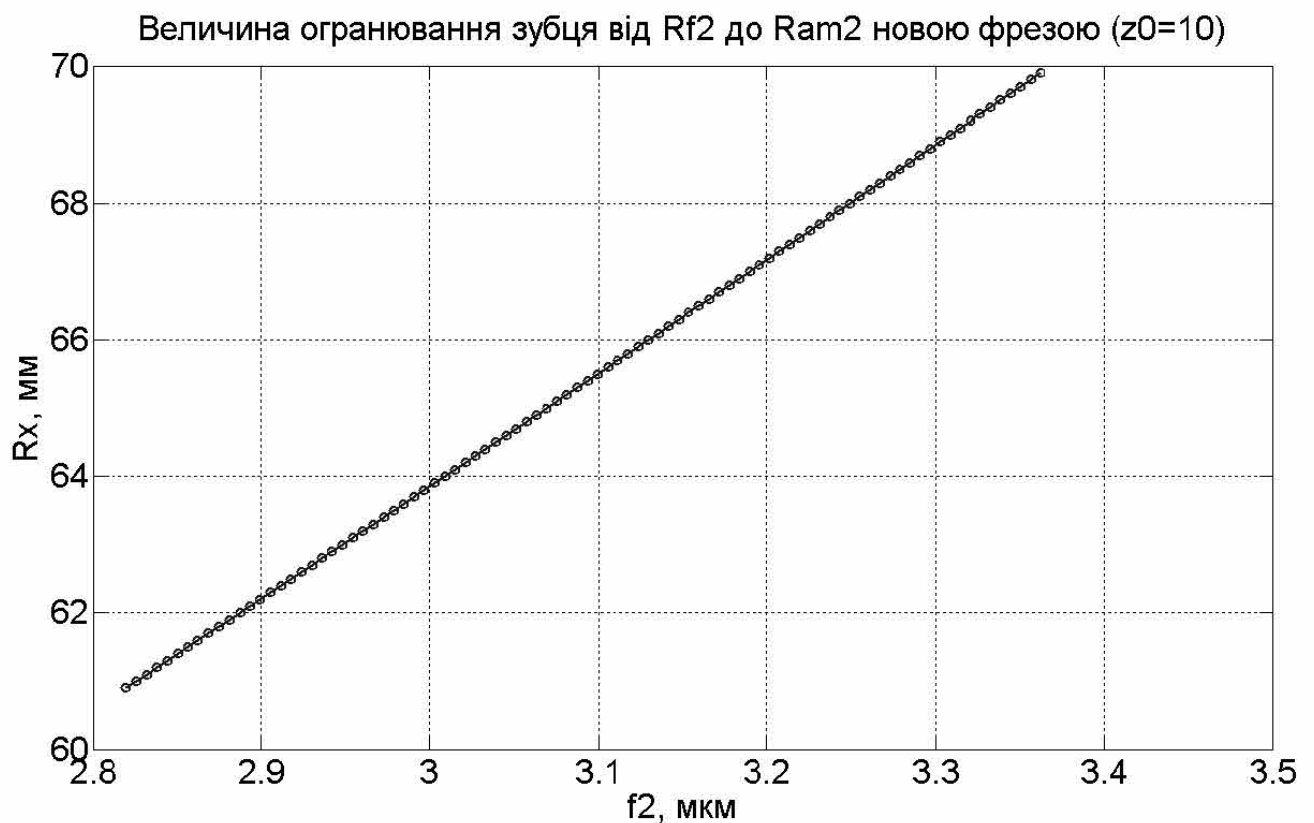


Рис.1.24 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{am2} новою черв'ячною фрезою з $z_0=10$.

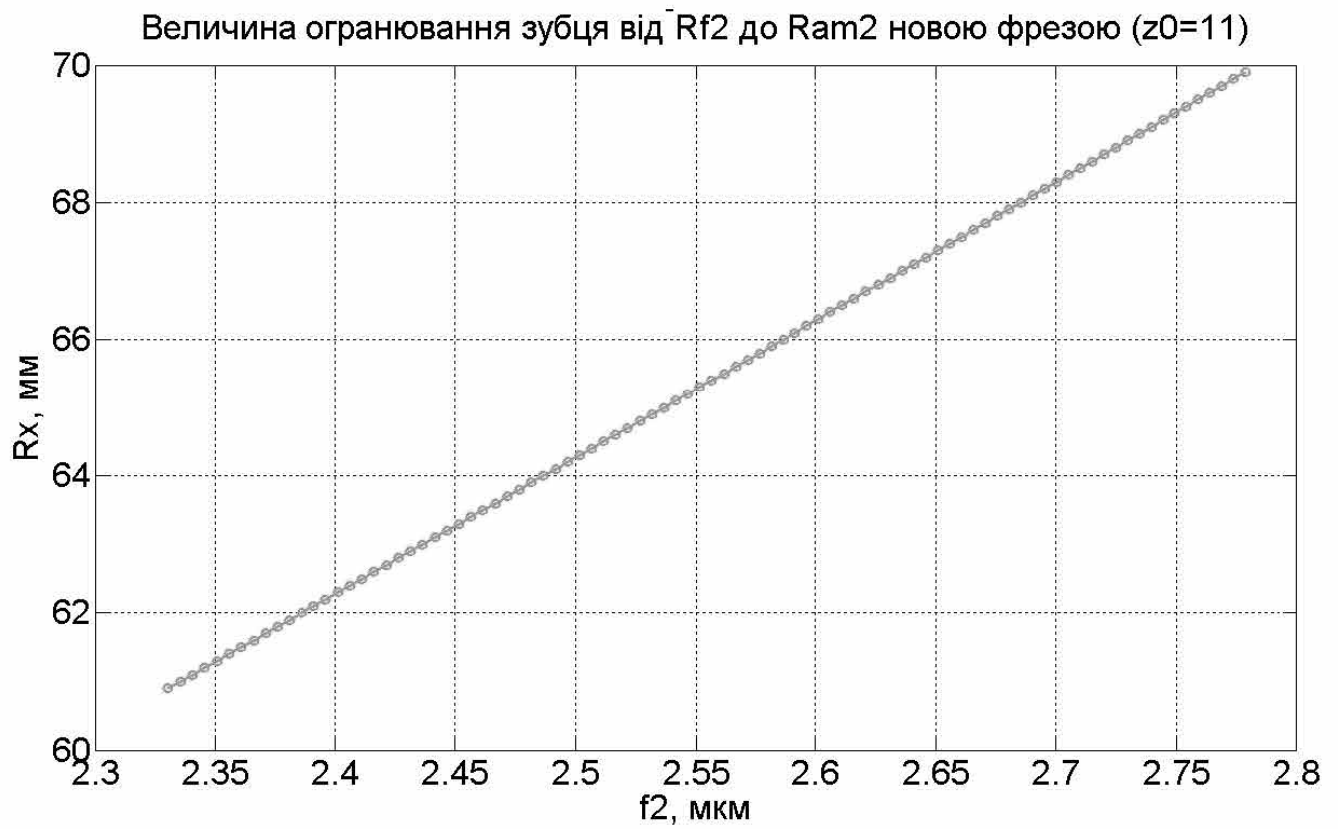


Рис.1.25 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{am2} новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 11$.

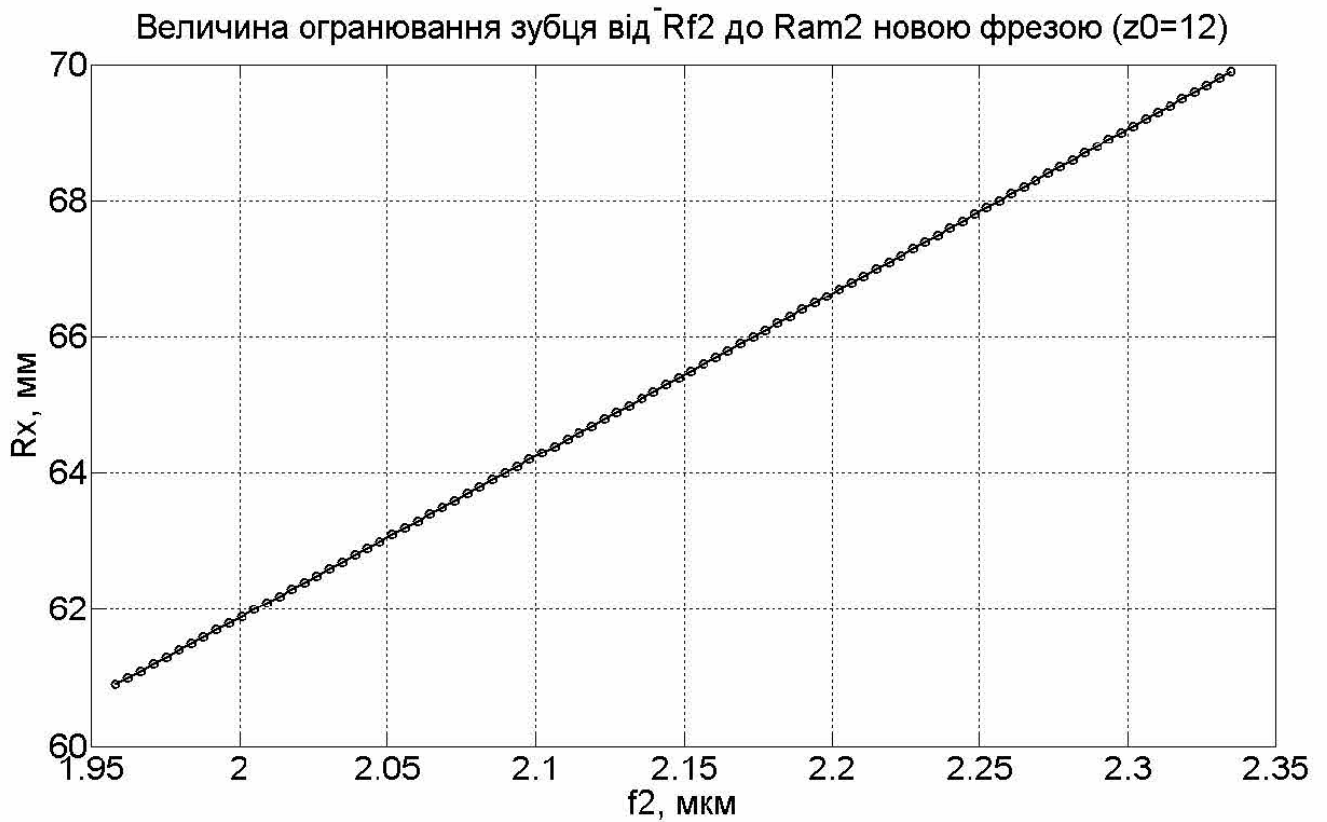


Рис.1.26 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{am2} новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 12$.

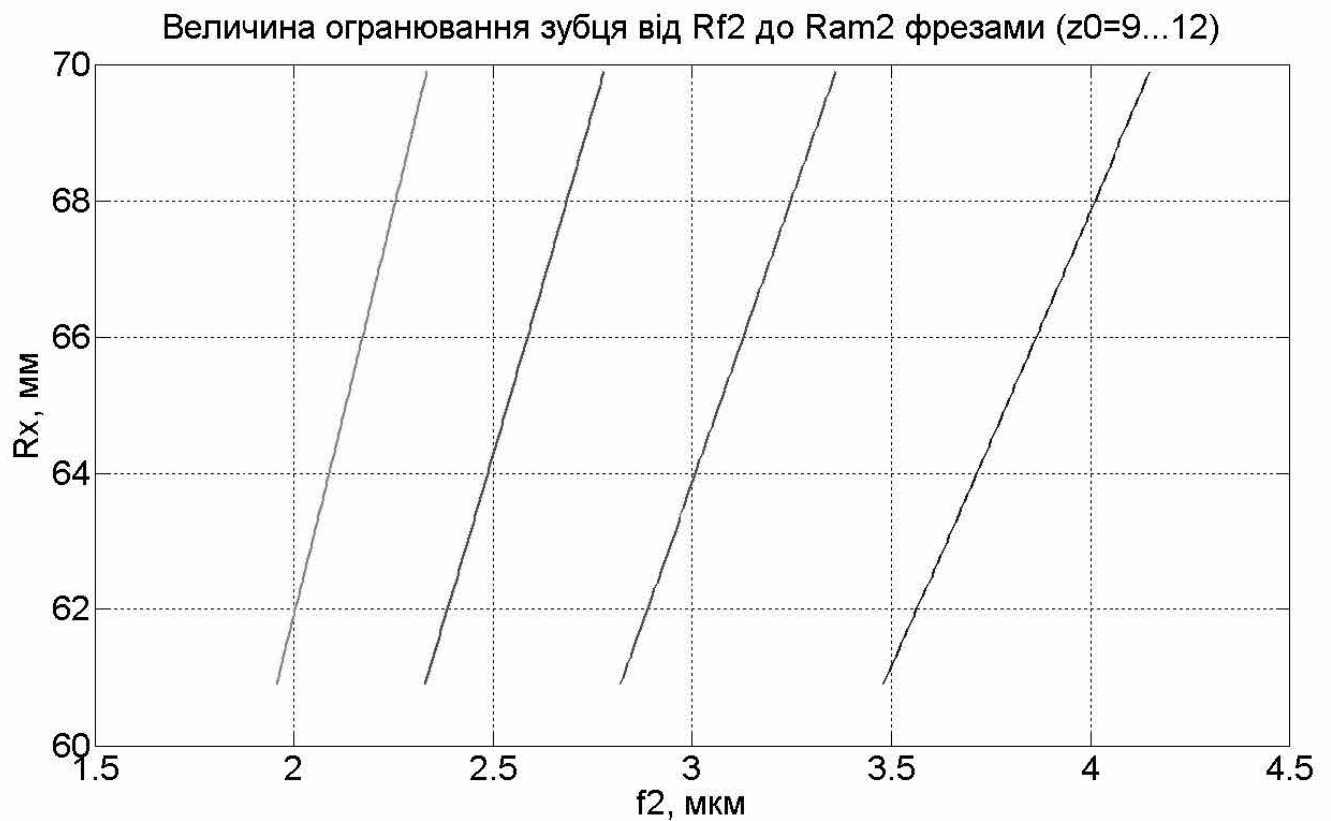


Рис.1.27 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{am2} черв'ячними фрезами з $z_0=9...12$.

Аналіз рис.1.23 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 відомою черв'ячною фрезою з $z_0=9$ зростає від R_{f2} до R_{am2} та знаходиться у діапазоні 3,4...4,2 мм.

Аналіз рис.1.24 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 новою черв'ячною фрезою з $z_0=10$ зростає від R_{f2} до R_{am2} та знаходиться у діапазоні 2,8...3,4 мм.

Аналіз рис.1.25 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 новою черв'ячною фрезою з $z_0=11$ зростає від R_{f2} до R_{am2} та знаходиться у діапазоні 2,3...2,8 мм.

Аналіз рис.1.26 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 новою черв'ячною фрезою з $z_0=12$ зростає від R_{f2} до R_{am2} та знаходиться у діапазоні 1,95...2,35 мм.

Аналіз рис.1.27 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 черв'ячними фрезами з $z_0 = 9 \dots 12$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} . Таким чином, для проведених досліджень величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №1 черв'ячними фрезами з $z_0 = 9 \dots 12$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} .

На рис.1.28 зображено результати розрахунків розробленої в середовищі MATLAB 8 програми [див. додаток А] щодо визначення мінімальної кількості зубців черв'ячної фрези, яка забезпечує точність черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} .

Аналіз рис.1.28 показує, що мінімальна кількість зубців черв'ячної фрези для забезпечення точності черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} становить:

- для 1 класу точності – 14;
- для 2 класу точності – 12;
- для 3 класу точності – 11;
- для 4 класу точності – 9;
- для 5 класу точності – 8;
- для 6 класу точності – 7;
- для 7 класу точності – 6;
- для 8 класу точності – 5.

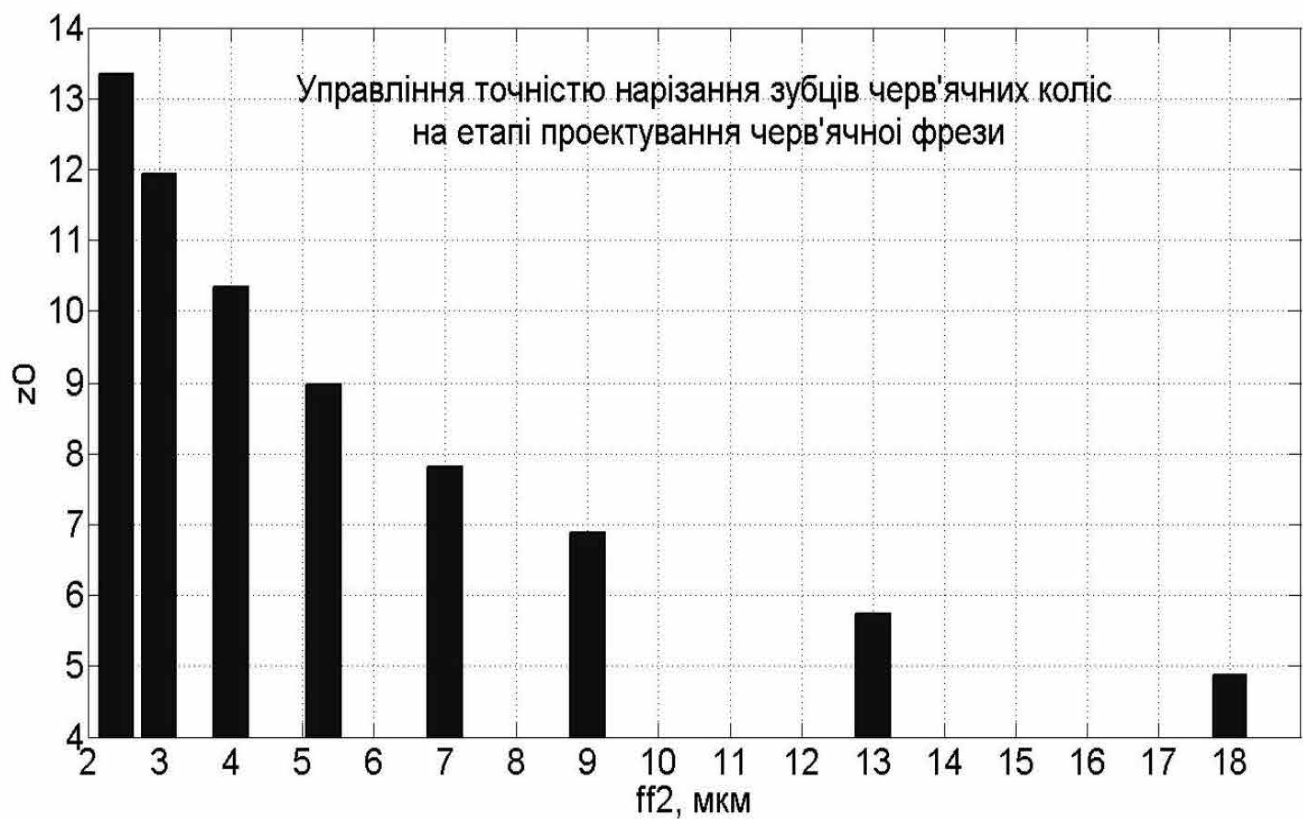


Рис.1.28 – Результати розрахунків щодо визначення мінімальної кількості зубців черв'ячної фрези, яка забезпечує точність черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} .

Тобто, для черв'ячної передачі за варіантом розрахунку №1 управління точністю на етапі проектування різального інструменту здійснено.

1.4.3. Проектний розрахунок за варіантом №2 досліджуваної черв'ячної передачі верстатного обладнання.

В якості початкових даних за варіантом №2 приймаємо:

- передаточне відношення проектованої передачі $i = \frac{1}{96}$;
- передаточне число проектованої черв'ячної передачі $u = 96$;
- число витків черв'яка $z_1 = 1$;
- число зубців черв'ячного колеса приймаємо $z_2 = 96$;
- модуль $m = 3$ мм;
- коефіцієнт діаметра черв'яка $q = 17$.

Розрахунки досліджуваної черв'ячної передачі за варіантом №2 виконуємо згідно з рекомендаціями []. Результати розрахунку наведено в табл.1.2.

Розрахунок досліджуваної черв'ячної передачі за варіантом №2

№ п/п	Параметр	Позначення	Розрахункове значення
1	2	3	4
1. Початкові данні			
1.1	Модуль	m	3
1.2	Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	17
1.3	Число витків черв'яка	z_1	1
1.4	Вид черв'яка	—	—
1.5	Початковий черв'як відповідно до ГОСТ 19036–81:		
	кут профілю	α_n	20°
	коефіцієнт висоти головки витка	h_a^*	1,0
	коефіцієнт радіального зазору	c^*	0,2
	коефіцієнт глибини заходу	h_w^*	2,0
	коефіцієнт висоти ніжки витка	h_f^*	1,2
	коефіцієнт висоти витка	h^*	2,2
	коефіцієнт граничної висоти витка	h_i^*	2,0
	коефіцієнт радіуса кривини перехідної кривої	ρ_{f1}^*	0,3
	коефіцієнт розрахункової товщини витка	s^*	0,5 π
1.6	Передаточне число	u	96
1.7	Матеріал черв'яка	—	Сталь 40Х ГОСТ 4543
1.8	Матеріал черв'ячного колеса	—	БрО5Ц5С5 ГОСТ 613
1.9	Матеріал маточини	—	Сталь 45 ГОСТ 1050
1.10	Дільний кут підйому витка	γ_1	3°21'59"
2. Розрахунок параметрів			
2.1	Число зубців черв'ячного колеса	z_2	96
2.2	Дільний діаметр: черв'яка черв'ячного колеса	d_1 d_2	51 288
2.3	Висота витка черв'яка	h_1	6,6
2.4	Висота головки витка черв'яка	h_{a1}	3

1	2	3	4
2.5	Діаметр вершин черв'яка черв'ячного колеса	d_{a1} d_{a2}	57 294
2.6	Діаметр западин черв'яка черв'ячного колеса	d_{f1} d_{f2}	43,8 280,8
2.7	Найбільший діаметр черв'ячного колеса	d_{aM2}	300
2.8	Довжина нарізаної частини черв'яка	b_1	66
2.9	Ширина вінця черв'ячного колеса	b_2	40
2.10	Міжосьова відстань	a_w	90
2.11	Радіус западини поверхні черв'ячного колеса ділильної вершин западин	R_2 R_{a2} R_{f2}	25,5 22,5 29,1
2.12	Радіус кривини перехідної кривої черв'яка	ρ_{f1}	0,9
2.13	Радіус кривини лінії притуплення витка	ρ_{k1}	0,3
2.14	Радіальний зазор	c	0,2
2.15	Умовний кут обхвату черв'яка	δ	46°6'50''°
3. Розрахунок розмірів для контролю взаємного положення бокових поверхонь витків черв'яка			
3.1	Розрахунковий крок черв'яка	P	9,425
3.2	Хід витка	P_{z1}	9,425

1.4.4. Дослідження управління точністю механічної обробки збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем

інструментальної рейки черв'ячних коліс верстатного обладнання за варіантом №2.

Вводимо початкові дані до розробленої в середовищі MATLAB 8 програми [див.додаток Б] та діємо за її запитами. На рис.1.29–1.33 зображено результати роботи програми. Приймаємо число зубців черв'ячної фрези $z_0 = 9; 10; 11; 12$.

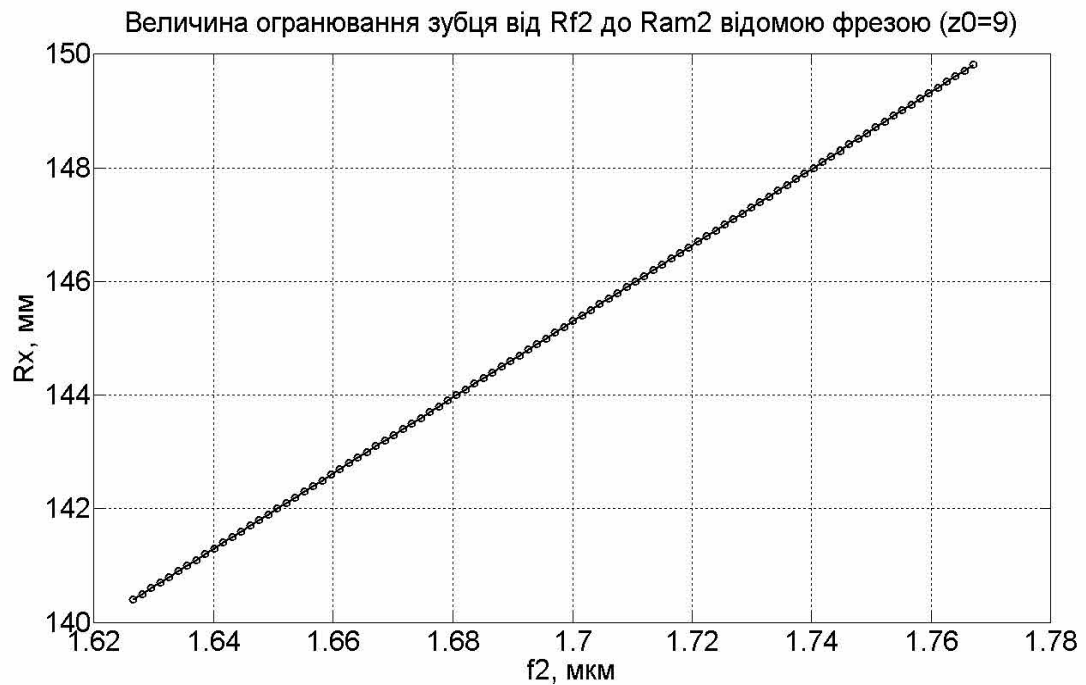


Рис.1.29 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до

R_{am2} відомою черв'ячною фрезою з $z_0 = 9$.

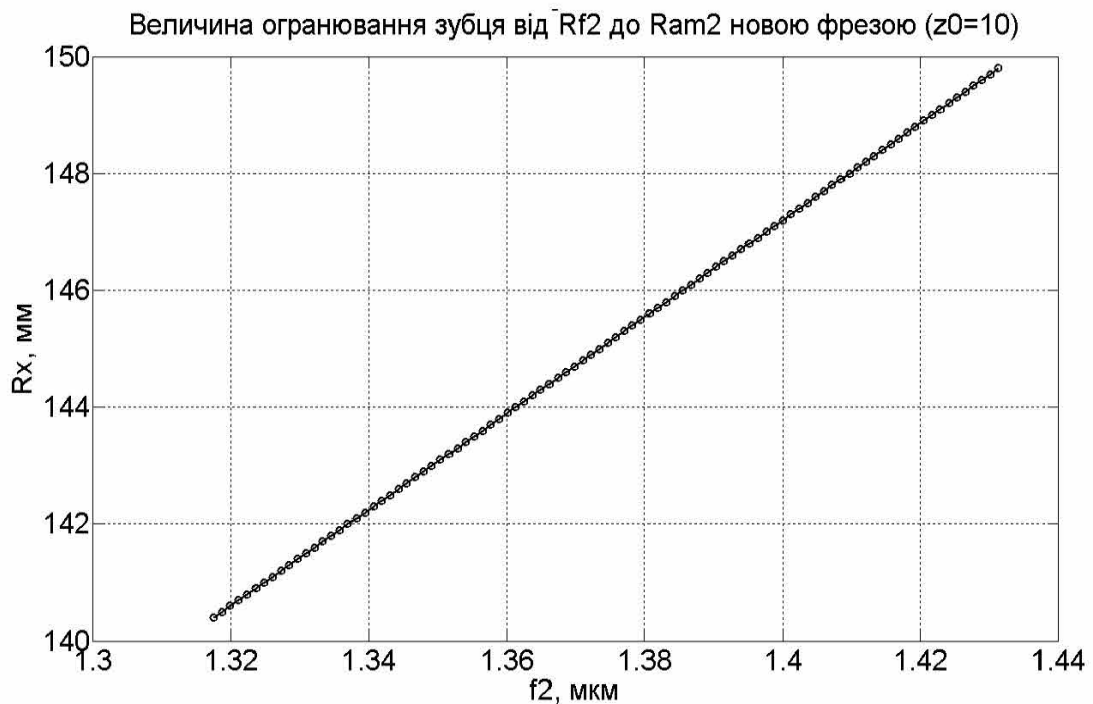


Рис.1.30 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до

R_{am2} новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 10$.

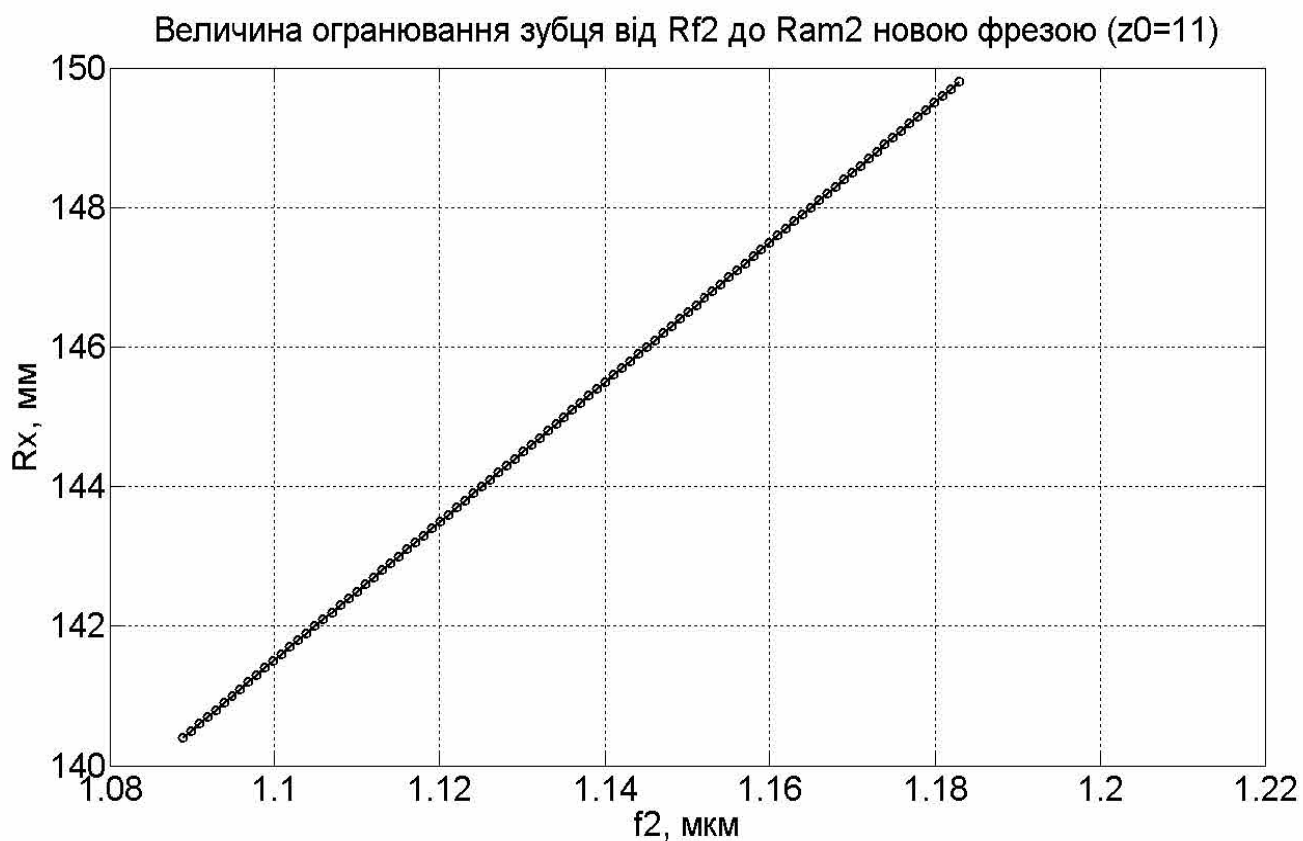


Рис.1.31 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f_2} до R_{aM2} новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 11$.

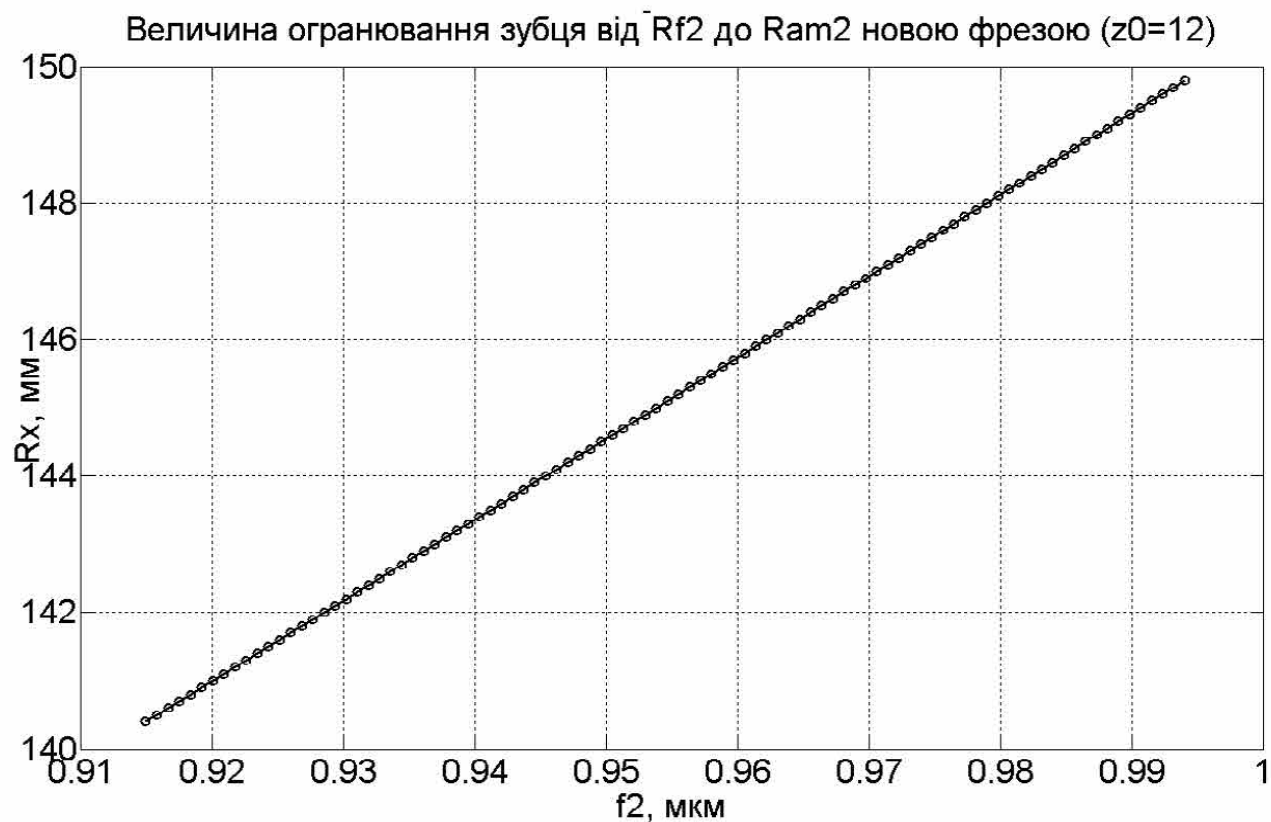


Рис.1.32 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f_2} до R_{aM2} новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 12$.

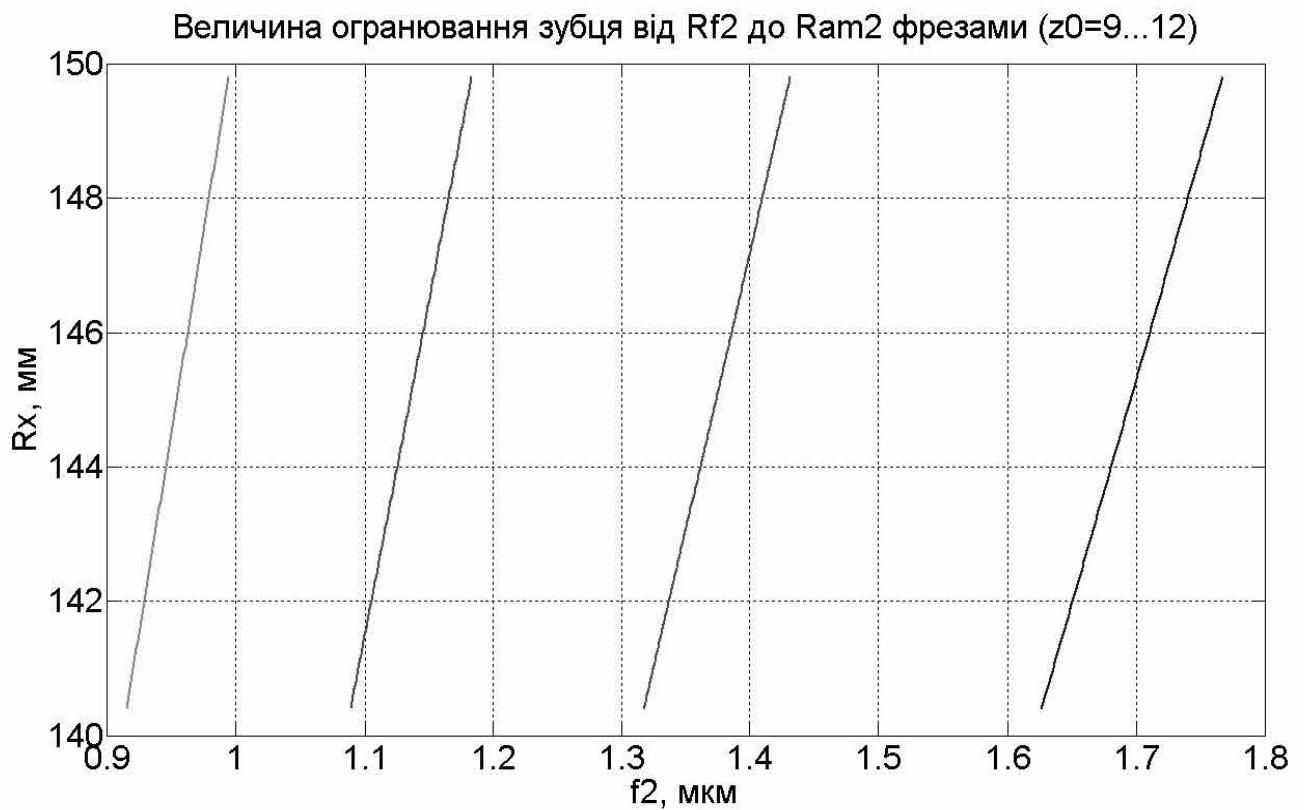


Рис.1.33 – Величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса від R_{f2} до R_{aM2} черв'ячними фрезами з $z_0 = 9...12$.

Аналіз рис.1.29 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 відомою черв'ячною фрезою з $z_0 = 9$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} та знаходиться у діапазоні 1,62... 1,78 мкм.

Аналіз рис.1.30 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 10$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} та знаходиться у діапазоні 1,3... 1,44 мкм.

Аналіз рис.1.31 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 11$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} та знаходиться у діапазоні 1,08... 1,2 мкм.

Аналіз рис.1.32 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 новою черв'ячною фрезою з $z_0 = 12$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} та знаходиться у діапазоні 0,91... 1,0 мкм.

Аналіз рис.1.33 показує, що величина Δf_2 огранювання зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 черв'ячними фрезами з $z_0 = 9...12$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} . Таким чином, для проведених досліджень величина Δf_2 огранювання

зубця черв'ячного колеса за варіантом розрахунку №2 черв'ячними фрезами з $z_0 = 9 \dots 12$ зростає від R_{f2} до R_{aM2} .

На рис.1.34 зображено результати розрахунків розробленої в середовищі MATLAB 8 програми [див. додаток Б] щодо визначення мінімальної кількості зубців черв'ячної фрези, яка забезпечує точність черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} .

Аналіз рис.1.34 показує, що мінімальна кількість зубців черв'ячної фрези для забезпечення точності черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} становить:

- для 1 класу точності – 9;
- для 2 класу точності – 8;
- для 3 класу точності – 7;
- для 4 класу точності – 6;
- для 5 класу точності – 6;
- для 6 класу точності – 5;
- для 7 класу точності – 4;
- для 8 класу точності – 4.

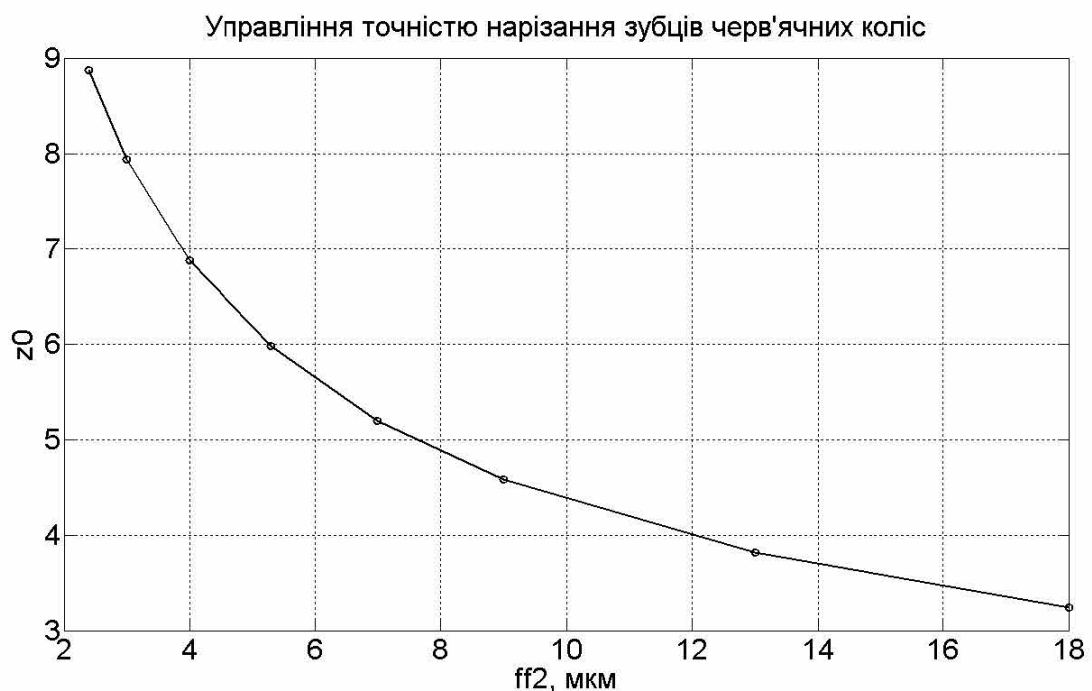


Рис.1.34 – Результати розрахунків щодо визначення мінімальної кількості зубців черв'ячної фрези, яка забезпечує точність черв'ячного колеса за ГОСТ 3675 за показником f_{f2} .

Тобто, для черв'ячної передачі за варіантом розрахунку №2 управління точністю на етапі проектування різального інструменту здійснено. Таким чином, мета магістерської дипломної роботи „Управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини профілем інструментальної рейки” досягнута.

1.5 Висновки по науково-дослідному розділу

Таким чином, в результаті проведених досліджень:

- запропоновано нове рівняння перекриття між зубцями першого та другого проходів, яке враховує радіус заокруглення вершин зубців черв'ячних фрез;
- розроблено нове поділення профілю інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез;
- аналітично визначено величину огранювання зубців черв'ячних коліс, що оброблюватимуться новими збірними черв'ячними фрезами;
- аналітично визначено мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез, що на етапі проектування різального інструменту дає можливість управляти точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки;
- встановлено, що величина огранювання зубців черв'ячних коліс зростає від радіусу западин до максимального радіусу вершин черв'ячного колеса;
- встановлено, що величина огранювання зубців черв'ячних коліс в двічі зменшується при зростанні кількості рейок черв'ячної фрези від 9 до 12;
- підтверджено можливість управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки на етапі проектування різального інструменту.

РОЗДІЛ 2 ЕКОНОМІЧНИЙ

В умовах ринкової економіки конструктор, який займається розробкою нового виробничого обладнання(оснащення), повинен володіти комплексом спеціальних знань в галузі техніко-економічного обґрунтування інженерних рішень, що дозволить створювати об'єкти, які б в повній мірі відповідали високому рівню виробництва.

У економічному розділі необхідно описати цілі та задачі проектування, вжиті принципові конструкторські рішення, отримані технічні параметри конструкції та очікуванні результати, які вказують на доцільність виготовлення та експлуатації збірної черв'ячної фрези з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки, яка проектується.

Для рішення питання про економічну ефективність нової конструкції збірної черв'ячної фрези з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки необхідно обрати «базу», яку приймають за основу для виявлення техніко-економічних переваг нового конструкторського рішення і визначення економічного ефекту від впровадження спроектованої черв'ячної фрези у виробництво.

В якості бази для порівняння приймають найбільш прогресивні аналоги, які знаходяться в експлуатації або ті, що спроектовані і впроваджуються у виробництво. Важливішою вимогою правильного вибору бази є порівняльність операції(функції), які виконуються. Для порівняння було обрано черв'ячну фрезу для обробки циліндричних зубчастих коліс за ГОСТ 9324-80Е, яка використовується на зубофрезерному верстаті 5К32 для обробки вінців черв'ячних коліс методом копіювання з радіальною подачею. Перевага спроектованої збірної черв'ячної фрези з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки полягає у забезпеченні більшої ніж у відомих аналогів кількості рейок. Це дозволяє зменшити огранювання робочих поверхонь зубців черв'ячних коліс, суттєво підвищивши точність їх механічної обробки.

2.1 Витрати на проектування конструкції визначають за формулою:

$$B_{пк} = H_{ор} \cdot T_{кон} \cdot Z_{сз}^к \cdot (1 + \frac{K_{\delta}}{100}) \cdot (1 + \frac{B_c}{100}) + H_v, \quad (2.1)$$

де H_{op} - кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції нового вузлів, шт;

$T_{кон}$ - сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка всередньому припадає на одне найменування оригінальної деталі;

$З_{сг}^к$ - середньогодинна заробітна плата конструктора, грн./год.;

K_{δ} - додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c - відрахування в фонд соціального страхування та в інші фонди від заробітної плати конструкторів, %;

H_{ϵ} - накладні витрати, грн.

$$H_{\epsilon} = H_{op} \cdot T_{кон} \cdot З_{сг}^к \cdot \frac{45}{100}, \quad (2.2)$$

$$H_{\epsilon} = 2 \cdot 20 \cdot 83,35 \cdot \frac{45}{100} = 1500,3 \text{ грн.},$$

$$B_{нк} = 2 \cdot 20 \cdot 83,35 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) + 1500,3 = 5974,53 \text{ грн.}$$

Витрати на технологічну підготовку виробництва визначають за формулою:

$$B_m = H_{op} \cdot T_{тех} \cdot З_{сг}^м \cdot \left(1 + \frac{K_{\delta}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (2.3)$$

де $T_{тех}$ - сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальної деталі;

$З_{сг}^м$ - середньогодинна плата технолога, грн./год.

$$B_m = 2 \cdot 22 \cdot 82,40 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) + 2 \cdot 22 \cdot 82,40 \cdot \frac{55}{100} = 6859,64 \text{ грн.}$$

2.2 Визначення витрат на виготовлення черв'ячної фрези та обґрунтування її оптової ціни

2.2.1. Трудомісткість виготовлення о інструменту (T_o) визначають в нормо годинах за формулою:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (2.4)$$

$$T_o = T_3 + T_m + T_m + T_c + T_{ин} = 0,1 + 7,5 + 1,5 + 0,8 + 1,6 = 11,5 \text{ нормо годин},$$

де $T_3, T_k, T_3, T_m, T_m, T_3, T_c, T_f, T_n$ - трудомісткість ливарних, ковальсько-штампувальних, зварювально-заготівельних, механічних, термічних,

гальванічних, слюсарсько-складальних, фарбувальних, пакувальних та інших робіт.

2.2.2. Визначаємо основну заробітну плату виробничих робітників

$$Z_{\text{ор}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{г}} \cdot T_i, \quad (2.5)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

$C_{\text{г}}$ – середньо-годинна тарифна ставка робітників, які виконують i -тий вид робіт, з врахуванням шкідливих умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на механічних роботах:

$$Z_{\text{ор}}^{\text{мех}} = 77,979 \cdot 7,5 = 584,84 \text{ грн.}$$

- Витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum_{i=1}^n Z_{\text{ор}i} \cdot \frac{P_{\text{рр}i}}{100}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{рр}(i)}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$B_o^{\text{мех}} = 584,84 \cdot \frac{385}{100} = 2251,64 \text{ грн.},$$

- цехові витрати:

$$K_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n Z_{\text{ор}i} \cdot \frac{P_{\text{цв}(i)}}{100}, \quad (2.7)$$

де $P_{\text{цв}}$ – відсоток цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$K_{\text{цех}}^{\text{мех}} = 584,84 \cdot \frac{232}{100} = 1365,83 \text{ грн.}$$

2.2.3. Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до таблиці 2.1.

Трудомісткість виготовлення й окремі види витрат, які включені в собівартість інструменту

Види робіт	Трудомісткість робіт, нормо год	Середній розряд	Середньо годинна тарифна ставка робітника, грн	Основна заробітна плата робітників, З _{ор} , грн	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання, В _о		Загальноцехові витрати, К _{цех}	
					%	грн	%	грн
Заготівельні	0,1	4	84,217	8,42	245	20,63	132	11,12
Механічні	7,5	4	77,979	584,84	385	2251,64	232	1356,83
Термічні	1,5	3	87,048	130,57	395	515,76	282	368,21
Слюсарсько- складальні	0,4	3	77,979	31,19	210	65,50	242	75,48
Всього	9,5	-	-	755,03	-	2853,54	-	1811,65

2.2.4. Собівартість виготовлення інструменту розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних і звітних калькуляцій. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$C_{\text{вир}} = M_o + M_d + \Pi_n + B_n + T_v - B_{\text{зв}} + E_{\text{тех}} + \Pi_{\text{тех}} + \text{З}_{\text{ор}} + \text{З}_{\text{др}} + B_{\text{сс}} + \text{З}_{\text{цп}} + B_o + K_{\text{цех}} + K_{\text{зав}} + B_{\text{ін}} + K_{\text{пв}}, \quad (2.8)$$

де M_o , M_d – відповідно витрати на основні та допоміжні матеріали, грн;

Π_n – покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби, грн;

B_n – напівфабрикати власного виробництва, грн;

$B_{\text{зв}}$ – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн;

T_v – транспортно-заготівельні витрати, грн;

$E_{\text{тех}}$, $\Pi_{\text{тех}}$ – енергія та паливо на технологічні цілі, грн;

$\text{З}_{\text{др}}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн;

$B_{\text{сс}}$ – відрахування в фонд соціального страхування, грн;

$\text{З}_{\text{цп}}$ – відшкодування зносу інструмента та пристосувань цільового призначення, грн;

$K_{\text{зав}}$, $K_{\text{пв}}$ – загальнозаводські витрати та позавиробничі витрати, грн;

$V_{ін}$ – інші виробничі витрати, грн.

Розрахунки M_o , M_d , Π_n , $V_{зв}$, V_n зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Склад матеріальних витрат на інструмент

№ п/п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Одиниця	Витрати (шт, кг)	Ціна, грн	Витрати на виріб, грн
1	Основні матеріали:				
	Сталь Р6М5	кг	0,338	287,1	111,39
	Сталь 40Х	кг	0,900	43,7	39,30
	Всього основних матеріалів		1,238		150,72
2	Покупні напівфабрикати:				
	Кріпильні вироби	кг	0,130	65,5	8,53
	Всього покупних				8,53

2.2.5. Для визначення повної собівартості розрахунки зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Повна собівартість та оптова ціна інструменту

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн
1	2	3	4	5
1.	Матеріали основні	M_o	таблиця 2.2	150,72
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	6,03
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	Π_n	таблиця 2.2	8,53

1	2	3	4	5
4.	Транспортно-заготівельні витрати	T_B	6% від ($M_o + M_d + \Pi_n$)	6,61
5.	Зворотні відходи (віднімаються)	$-B_{зв}$	5% від M_o	9,04
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$\Pi_{тех},$ $E_{тех}$	78% від $З_{ор}$	588,92
7.	Всього матеріальні витрати			751,77
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	таблиця 2.1	755,03
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	75,50
10.	Відрахування в фонд соціального страхування	$B_{сс}$	22% від ($З_{ор} + З_{др}$)	182,72
11.	Відшкодування зносу інструментів та пристосувань цільового призначення	$З_{ип}$	4,2% від $З_{ор}$	31,71
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	таблиця 2.1	2853,54
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	таблиця 2.1	1811,65
14.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	180% від $З_{ор}$	1359,05
15.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	2% від $З_{ор}$	15,10
16.	Виробнича вартість об'єкту	$C_{вир}$	$\Sigma_{ст}(8 \div 16)$	7836,07
17.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1% від $C_{вир}$	78,36
18.	Повна собівартість	$C_{пов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	7916,67
19.	Прибуток нормативний	Π_n	20% від $C_{пов}$	1583,33
20.	Оптова ціна	$\Pi_{опт}$	$C_{пов} + \Pi_n$	9500,0

Оптова ціна інструменту визначається за формулою:

$$\Pi_{опт} = C_{пов} + \Pi_n, \quad (2.9)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_{np} \cdot C_{nos}}{100}, \quad (2.10)$$

де P_{np} – рентабельність виробництва об'єкта в проектному варіанті, %.

$$\Pi_n = \frac{20 \cdot 7916,67}{100} = 1583,33 \text{ грн.};$$

$$\Pi_{omn} = 7916,67 + 1583,33 = 9500,00 \text{ грн.}$$

2.3 Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах.

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (2.11)$$

де B_3 – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн.;

$B_{ел}$ – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{дм}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_n – витрати на утримання площі, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

B_n – витрати на налагодження верстата.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування:

$$B_3 = C_r \cdot \frac{T_{нор}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (2.12)$$

де C_r – середньо-годинна ставка робітника, грн.;

$T_{нор}$ – час обробки деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_3^{баз} = 70,18 \cdot \frac{1,14}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,7894 \text{ грн.};$$

$$B_3^{пр} = 70,18 \cdot \frac{0,9}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,4127 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_{\text{o}} \cdot K_{\text{N}} \cdot K_{\text{д}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{с}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot \Pi_{\text{ел}}, \quad (2.13)$$

де $N_{\text{в}}$ – установлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

K_{o} – коефіцієнт одночасної роботи електродвигунів (приймають 0,65...0,8) [];

K_{N} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймають 0,5...0,8) [];

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом (приймають 0,3...0,5) [];

$\eta_{\text{с}}$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів – (приймають 0,86...0,9) [];

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства – (приймають 0,92...0,96) [];

$\Pi_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт/год силової електроенергії без ПДВ, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{18,3 \cdot 0,65 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{0,92 \cdot 0,86} \cdot \frac{1,14}{60} \cdot 7,5 = 0,6551 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{18,3 \cdot 0,65 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{0,92 \cdot 0,86} \cdot \frac{0,9}{60} \cdot 7,5 = 0,4827 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{дм}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{нор}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (2.14)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп. [];

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО [];

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного виробництва приймають 1) [].

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{79,5 \cdot 12 \cdot 1,14}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,1813 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{79,5 \cdot 12 \cdot 0,9}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,1431 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію універсального різучого інструменту:

$$B_{\text{ip}} = \frac{(S_{\text{и}} + pS_{\text{пер}}) \cdot \gamma T_{\text{нор}}}{t_{\text{е}}(p+1)} K_{\text{и}}, \quad (2.15)$$

де $S_{\text{и}}$ – первісна вартість універсального різучого інструменту, грн.;

p - кількість переточок ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані;

$S_{пер}$ - вартість однієї переточки, грн;

γ - питома значення машинного часу роботи обладнання в згальному варіанті його роботи;

t_e - економічна стійкість інструменту, хв.;

$K_{ет}$ - коефіцієнт обліку втрати інструменту.

$$B_{ip}^{баз} = \frac{(7340 + 24 \cdot 43,61) \cdot 0,45 \cdot 1,14}{30 \cdot (24 + 1)} \cdot 1,08 = 5,7345 \text{ грн.}$$

$$B_{ip}^{пр} = \frac{(1100 + 24 \cdot 45,34) \cdot 0,45 \cdot 0,9}{30(24 + 1)} \cdot 1,08 = 5,7173 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{R_m \cdot P_{вн} + R_e \cdot P_{ве}}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (2.16)$$

де $P_{вн}$, $P_{ве}$ – відповідно річні витрати на всі види ремонту на одну категорію ремонтної складності механічної та електричної частини верстата, грн./рік;

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для крупносерійного виробництва – 3950 год.) [];

$$B_p^{баз} = \frac{12 \cdot 880 + 14 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{1,14}{60} = 0,0993 \text{ грн.},$$

$$B_p^{пр} = \frac{12 \cdot 880 + 14 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{0,9}{60} = 0,0784 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання площі:

$$B_n = \frac{F_o \cdot K_f \cdot C}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (2.17)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення) [];

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1м² виробничого приміщення, грн/м².

$$B_n^{баз} = \frac{10 \cdot 2,5 \cdot 780}{3980} \cdot \frac{1,14}{60} = 0,0938 \text{ грн.},$$

$$B_n^{пр} = \frac{10 \cdot 2,5 \cdot 780}{3980} \cdot \frac{0,9}{60} = 0,0784 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (2.18)$$

де H_a – норма амортизації, % [];

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знаходимо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (2.19)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата, грн;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08) [].

Таким чином:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 85000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 101150 \text{ грн.}$$

Інструмент, що проектується, на балансі підприємства враховується за повної собівартістю виготовлення.

$$B_a^{\text{баз}} = \frac{101150 \cdot 20}{3980 \cdot 100} \cdot \frac{1,14}{60} = 0,0965 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{101150 \cdot 20}{3980 \cdot 100} \cdot \frac{0,9}{60} = 0,0762 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п.п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначення	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата робітника основна і додаткова з відрахуваннями в фонд соціального страхування	Вз	1,7894	1,4127
2.	Силова електроенергія	Вел	0,6551	0,4827
3.	Допоміжні матеріали	Вдм	0,1813	0,1431
4.	Універсальний ріжучий інструмент	Він	5,7345	5,7173
5.	Ремонт обладнання	Вр	0,0993	0,0784
6.	Утримання приміщення	Вп	0,0938	0,0741
7.	Амортизація обладнання	Ва	0,0965	0,0762
8.	Загальна сума	Ве	8,650	7,985

2.4 Розрахунок показників економічної ефективності

2.4.1. Річний економічний ефект, який отримує виробник інструменту, розраховуємо за формулою:

$$E_{pe} = (C_{ont.np} - C_{nov.np}) \cdot P_e - E_n \cdot K_e, \quad (2.20)$$

де $C_{ont.np}$, $C_{ont.b}$ – відповідно ціна оптова проектного та базового об'єктів, грн.;

$C_{nov.np}$, $C_{nov.b}$ – відповідно повна собівартість проектного та базового об'єктів, грн.;

P_e – програма виробництва об'єктів, шт./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_n=0,16$ [].

K_e – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.:

$$K_e = B_{nk} + B_m, \quad (2.21)$$

де B_{nk} , B_m – відповідно, вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.

$$K_e = 5974,53 + 6859,64 = 12834,17 \text{ грн.};$$

$$E_{pe} = (9500 - 7916,67) \cdot 24 - 0,16 \cdot 12834,17 = 36000 \text{ грн.}$$

2.4.2. Річний економічний ефект, який отримує підприємство споживач, розраховуємо за формулою:

$$E_p = (B_e^b - B_e^{np}) \cdot N_o - E_n \cdot K_{cn}, \quad (2.22)$$

де K_{cn} – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{cn} = \Phi_{bal}^{np} \cdot Q_{np} - \Phi_{bal}^b \cdot Q_b + C_{in}^{np} \cdot K_i^{np} - C_{in}^{baz} \cdot K_i^{baz}, \quad (2.23)$$

$$K_{cn} = 101150 \cdot 1 - 101150 \cdot 1 + 9500 \cdot 24 - 7340 \cdot 30 = 7800,0 \text{ грн.}$$

де $\Phi_{бал}^{np}, \Phi_{бал}^b$ – відповідно балансова вартість проектного та базового об'єктів, грн;

$Q_{пр}, Q_b$ – потреба в об'єктах відповідно в проектному та базовому варіантах для виконання річної програми випуску деталей:

$$Q = \frac{N_{\partial} \cdot T_{нор}}{F_{\partial pm} \cdot 60 \cdot K_{вн}}, \quad (2.24)$$

$$Q^{баз} = \frac{40000 \cdot 1,14}{3980 \cdot 60 \cdot 1,1} = 0,152 ;$$

$$Q^{np} = \frac{40000 \cdot 0,9}{3980 \cdot 60 \cdot 1,1} = 0,05 .$$

де $K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($K_{вн}=1,0 \dots 1,2$).

$$K_i = \frac{N_{\rho} \cdot T_{нор} \cdot \gamma \cdot K_{вн}}{t_{\epsilon} (1 + p)}, \quad (2.25)$$

$$K_i^{баз} = \frac{40000 \cdot 1,14 \cdot 0,45 \cdot 1,08}{30(1 + 24)} = 30 \text{ шт.};$$

$$K_i^{np} = \frac{40000 \cdot 0,9 \cdot 0,45 \cdot 1,08}{30(1 + 24)} = 24 \text{ шт.}$$

$$E_p = (8,650 - 7,985) \cdot 40000 - 0,16 \cdot 7800,0 = 25400 \text{ грн.}$$

2.4.3. Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

– у виробника:

$$T_{ок.в} = \frac{K_{\epsilon}}{(II_{опт.пр} - C_{нов.пр}) \cdot \Pi_{\epsilon}}, \quad (2.26)$$

$$T_{ок.в} = \frac{12834,17}{(9500 - 7916,67) \cdot 24} = 0,34 \text{ року} = 4 \text{ місяці.}$$

– у споживача:

$$T_{оксп} = \frac{K_{сп}}{(B_e^{\delta} - B_e^{np}) \cdot N_{\delta}}, \quad (2.27)$$

$$T_{оксп} = \frac{7800,0}{(8,650 - 7,985) \cdot 40000} = 0,3 \text{ року} = 3,5 \text{ місяці.}$$

2.4.4. Зростання продуктивності праці визначаємо за показником витрат часу ($t_{шт}$) на одиницю продукції в проектному варіанті в порівнянні з базовим, %:

$$\Pi_n = 100 - \frac{t_{шт(проект)}}{t_{шт(баз)}} \cdot 100 \%, \quad (2.28)$$

$$\Pi_n = 100 - \frac{0,9}{1,14} \cdot 100 = 21\%.$$

2.4.5. В підсумку складаємо зведену таблицю техніко–економічних показників (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Підсумкові техніко – економічні показники базового та проектного інструменту

№	Показники	Одиниця	Варіанти		Зміна, % (+,–)
			Базовий	Проектний	
1	2	3	4	5	6
1	Потреба в інструменті для виконання річної програми обробки черв'ячних коліс	шт. / рік	30	24	-20
2	Річна програма обробки черв'ячних коліс	хв.	40000	40000	-

1	2	3	4	5	6
3	Штучний час обробки черв'ячних коліс	шт.	1,14	0,9	-21,1
4	Коефіцієнт завантаження верстата	η_z	0,15	0,05	-66,7
5	Собівартість (повна) виготовлення інструментів	грн.	-	7916,67	-
6	Оптова ціна інструменту	грн.	7340	9500	+29,4
7	Собівартість одиниці обробки з застосуванням інструменту	грн.	1,16	1,053	-89
8	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн.	-	12834,17	-
9	Строк окупності додаткових капітальних витрат:				
	а) у виробника:	місяців	-	4,0	-
	б) у споживача:	місяців	-	3,5	-
10	Річний економічний ефект:				
	а) у виробника:	грн.	-	36000	
	б) у споживача:		-	25400	-

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень в процесі виконання магістерської дипломної роботи можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано нове рівняння перекриття між зубцями першого та другого проходів, яке враховує радіус заокруглення вершин зубців черв'ячних фрез;
2. Розроблено нове поділення профілю інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез;
3. Аналітично визначено величину огранювання зубців черв'ячних коліс, що оброблюватимуться новими збірними черв'ячними фрезами;
4. Аналітично визначено мінімальну кількість інструментальних рейок збірних черв'ячних фрез, що на етапі проектування різального інструменту дає можливість управляти точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки;
5. Встановлено, що величина огранювання зубців черв'ячних коліс зростає від радіусу западин до максимального радіусу вершин черв'ячного колеса;
6. Встановлено, що величина огранювання зубців черв'ячних коліс в двічі зменшується при зростанні кількості рейок черв'ячної фрези від 9 до 12;
7. Підтверджено можливість управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням на дві частини по висоті профілем інструментальної рейки на етапі проектування різального інструменту.
8. Річний економічний ефект у виробника нових черв'ячних фрез становить 36000 грн., а строк окупності 4 місяці.
9. Річний економічний ефект у споживача нових черв'ячних фрез становить 25400 грн., а строк окупності 3,5 місяців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаманюк В.Г и др. Гражданская оборона: Учебник для вузов. Под ред. Д.И. Михайлика. – М.: Высшая школа, 1986. –207 с.
2. Батова Т.А. Исследование точности профилирования червячных зуборезных фрез. Дисс. на соискан. Ученой степ. канд.техн.наук. Тула, 1982. – 179 с.
3. Башкиров В.Н. Анализ нагрузки на режущие кромки червячной фрезы // Станки и инструмент. – 1987. – N7. – С.26 – 29.
4. Безруков В.И., Надеин В.С. Общий случай нарезания червячного колеса эвольвентной червячной фрезой // Совершенствование конструкций машин и методов обработки деталей / Сб.научн.трудов ЧПИ. – Челябинск: ЧПИ. – 1975. – № 164. – С. 9–20.
5. Великовский А.Л. Влияние крутильных колебаний цепи деления зубофрезерного станка на точность нарезаемых колес // Станки и инструмент. – 1974. – №12. – С.23 – 24.
6. Гончаров А.М. Проектирование червячных фрез с оптимальными передними углами для зубчатых деталей с эвольвентным профилем. – Изв.ВУЗов. Машиностроение. 1989, №3, с.90–93.
7. Гончаров А.М. Повышение точности профилирования червячных фрез с оптимальными передними углами. – Резание и инструмент. Харьков, 1990, №43, с.64–68.
8. Грабченко А.И., Кондусова, Кривошея А.В., Равская Н.С., Родин П.Р. 3D-моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием / Под ред. П.Р. Родина. – Харьков: ХТУ «ХПИ», 2001. – 304 с.
9. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
10. Грицай И.Е. Исследование закономерностей изменения сечений срезов при нарезании зубчатых колес червячными фрезами // Автоматизация производственных процессов. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Львов. Изд-во ЛПИ. –1990. – Вып.29. – С.40 – 45.

11. Грицай И.Е. Управление точностью нарезания зубчатых колес червячными фрезами с учетом суммарной толщины срезов: Дис... канд. техн. наук. – Львов, 1984. – 222 с.
12. Грицай І.Є. Динаміка двохперехідного нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами в автоматичному циклі // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Укр. міжвід. наук.-техн. зб. – Львів. Вид-во НУ “Львівська політехніка”. — 2000. – Вип. 35. – С.47 – 54.
13. Грицай І.Є. Моделювання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами // Машинознавство. – 1998. – № 7. – С.19 - 24.
14. Грицай І.Є. Моделювання роботи черв'ячної фрези з високими осьовими подачами // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1998. – №.321: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – С.17 - 22.
15. Грицай І.Є. Моделювання та оптимізація динаміки процесу різання черв'ячними фрезами з розподіленим вихідним контуром // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – 2000. – № 371: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні й приладобудуванні. – С.11 – 19.
16. Грицай І.Є. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу // Проблемы создания новых машин и технологий: Науч. тр. Кременчук. гос. политехн. ун-та. – 2001 – 10, вып.1. – С. 418 – 422.
17. Грицай І.Є., Афтаназів І.С. Підвищення ефективності двохперехідного нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами з модифікованим профілем // Вест. Нац. техн. ун-та України “Киевский политехнический институт. – 2001. – Вып. 40: Машиностроение. – С. 140 – 149.
18. Жигалко Н.И., Киселев В.В. Проектирование и производство металлорежущих инструментов. – Минск: Вышэйшая школа, 1969. – 278 с.
19. Зуборізний інструмент для двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс. Пат.45527 А України, В23 F21 / 16 / І.Є. Грицай (Україна). № 2000042286; Заявл. 21.04.2000; опубл.15.04.2002, Бюл. № 4, кн.1. – С.4.48.

- 20.Зубчатые и червячные передачи: Сб. статей/Под общей ред.Н.И. Колчина. –Л.: Машиностроение, 1974. – 352 с.
- 21.Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. –М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
- 22.Кирсанов Г.Н. Основы винтовой теории профилирования зубообрабатывающих инструментов. – Мех.машин., М., 1983, №61, с.10–16.
- 23.Кирсанов Г.Н., Лазерник И.С. Особенности процесса затылования червячных зуборезных фрез. – Вест.машиностр. 1984, №3, с.59–61.
- 24.Колев К.С., Горчаков Л.М. Точность обработки и режимы резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.
- 25.Комаров В.А., Сотников А.В. Повышение точности обработки цилиндрическими фрезами. – Станки и инструмент, 1985, №8, с.27–28.
- 26.Кусова Е.В., Шунаев Б.К. Методика расчета параметров слоев, срезаемых вершинными кромками зубьев червячной фрезы. Прогрессивные процессы машиностроения: Межвед. сб. науч. тр. ВолгПИ. Волгоград, 1982. – С.48 – 54.
- 27.Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.
- 28.Медведицков С.Н. Высокопроизводительное нарезание фрезами. – М.: Машиностроение, 1981. – 104 с.
- 29.Медведицков С.Н., Нарожных А.Т. Определение размеров зубьев червячных фрез с прогрессивной схемой резания // Станки и инструмент, 1971. – № 6. – С.28 – 29.
- 30.Методические указания к выполнению курсовой работы и экономической части дипломного проекта для студентов вечерней и заочной форм обучения специальности 0501 «Конструкторы» / Сост.Л.М.Фильштейн, Г.Н.Давыдов. – Кировоград: КИСХМ, 1984. – 28 с.
- 31.Методические указания к курсовой работе по планированию и организации производства для студентов специальности 12.01 и 12.02 всех форм обучения / Сост. В.В.Стародубцев, Ю.Н.Бондаренко, Л.В.Лебедева. – Кировоград: КИСХМ, 1992. – 40 с.
- 32.Многозаходная червячная фреза с черновыми и чистовыми заходами: А.с. 1000194 СССР, МКИ В23 Н21 / 16 (53) / А.Н. Коротун, Г.И. Мошковский, Б.Ф.

Вощенко (СССР). №2623888/25-08; Заявл. 02.06.78; Оpubл. 28.02.83, Бюл. № 8. – С.43.

33. Многозаходная червячная фреза: А.с. 624738 СССР, МКИ В23 F21/16/(53) / В.И. Помазков, А.М. Лейн, М.А. Тимашев (СССР). №2434292/25-05(22); Заявл. 27.12.76; Оpubл. 25.09.78, Бюл. № 35. – С.34.
34. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. К вопросу о повышении технологичности и нагрузочной способности червячных передач // 3б.наук.пр. Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. – Кіровоград, 1997. – Вип.№1. – С.147–149.
35. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. Конструкторско-технологическое обеспечение работоспособности червячных и спиральных передач // Технологическое обеспечение и работоспособность деталей машин, механизмов и инструмента: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Киев: Общество «Знание» Украины, 1997. – С.48-49.
36. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. Об одном способе образования червячных передач с вогнутым профилем червяка // Автоматизация проектирования и производства изделий в машиностроении: Тезисы докладов международной научно-практической конференции. – Луганск: ВУГУ, 1996. – С.107.
37. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. Производящая пара для нарезания червячных передач с вогнутым профилем червяка // Проблемы качества и долговечности зубчатых передач и редукторов: Тр.междунар.научн. – техн. конф. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – С.68-74.
38. Надєїн В.С., Ковришкін М.О. Вплив параметрів дискового інструменту на кривизну поверхні витків черв'яка з вигнутим профілем // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Випуск 27. – Кіровоград: КДТУ, 1999. – С.119–123.
39. Надєїн В.С., Ковришкін М.О. Поверхня витків черв'яка з угнутих профілем нової різновидності // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 1999. – Вип.№5. – С.152–157.

- 40.Настасенко В.А., Сухоруков Ю.Н. Повышение стойкости червячных фрез путем оптимизации геометрии режущего клина: Исследования зубообрабатывающих станков, инструментов и процессов резания. – Саратов, 1990. – С.40 – 47.
- 41.Ничков А.Г. Мощность резания при зубофрезеровании с осевым и радиальным врезанием // Станки и инструмент. – 1984, № 11. – С.24 – 25.
- 42.Ничков А.Г., Ничкова С.А. Обобщенная методика определения зоны резания и размеров срезов при нарезании зубчатых колес червячной фрезой с заборным конусом. Теория машин металлургического и горного оборудования: Межвуз. сб. науч. тр. – Свердловск, 1988. – С.94–99.
- 43.Ничков А.Г., Ничкова С.А. Результаты исследования зоны резания, загрузки и износа зубьев червячной фрезы с заборным конусом. Теория машин металлургического и горного оборудования. Межвуз.сб.науч.тр. – Свердловск, 1988. – С.67 – 69.
- 44.Овумян Г.Г., Адам Я.И. Справочник зубореза. – М.: Машиностроение, 1983. – 223 с.
- 45.Овумян Г.Г., Езерский Е.В., Хухрий С.А. Повышение производительности и качества чистового зубонарезания. – М., 1979. – 65 с.
- 46.Орлов А.Д.Исследование силы резания, точности и чистоты поверхности зубьев цилиндрических колес, нарезаемых червячными фрезами с различными схемами резания. Дис. на соиск. ученой степ. канд.техн.наук. Волгоград, 1969, 220 с.
- 47.Охрана труда в машиностроении: Ученик для вузов / Е.Я.Юдин, С.В.Белов, С.К.Баланцев и др.; Под ред. Е.Я.Юдина, С.В.Белова. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 48.Охрана труда: Обзорная информация/ВЦСПС. Всесоюзный центр науч.-исслед. институт охраны труда. – М.: ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1986. – 102 с
- 49.Подураев В.Н., Валиков В.И., Жидеев Ю.Я. Переходные процессы при резании фасонным инструментом // Станки и инструмент. – 1982. – № 7. – С.22 – 25.
- 50.Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учеб. пособие для втузов / О.В.Таратынов, Г.Г.Земсков, Ю.П.Тарамыкин и др.; Под ред. О.В.Таратынова, Ю.П.Тарамыкина. – М.: Высш.шк., 1991. – 423 с.

51. Производство зубчатых колес: Справочник. Под общ. ред. Б.А.Тайца. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 678 с.
52. Равская Н.С., Грицай И.Е. Червячные фрезы для высокопроизводительного нарезания зубчатых колес. // Автомобильный транспорт. Сб. науч.тр. Харьков. нац. автомобильно-дорожного ун-та.– Харьков, 2001. – Вып.7-8. – С.220 – 222.
53. Радзевич С.П. Разработка конструкций и исследование червячных фрез для обработки закаленных зубчатых колес. Дис. на соискание ученой степени канд.техн.наук К., 1981. – 286 с.
54. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
55. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – К.: Вища школа, 1986. – 456 с.
56. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Вища шк., 1990. – 424 с.
57. Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. – К.: Техніка, 1968. – 358 с.
58. Родин П.Р. Технология изготовления зубонарезного инструмента / П.Р. Родин, В.И. Климов, С.Б. Якубсон. – К.: Техніка, 1982. – 208 с.
59. Родин П.Р., Климов В.И., Якубсон С.Б. Технология изготовления зуборезного инструмента. – К.: Техніка, 1982. – 206 с.
60. Сахаров Г.Н., Кубрак В.В. Силовые зависимости при зубофрезеровании методом обкатки // Станки и інструмент – 1972. – № 7. – С.33 – 37.
61. Семенченко Д.И., Шевченко А.И. Вопросы повышения точности червячных зуборезных фрез (Руководящие материалы).–М.:ВНИИинструмент, 1968. – 93с.
62. Сидоренко А.К. Расчет параметров слоя, срезаемого кромками червячной фрезы. // Станки и инструмент. – 1986. – №9. – С.24-26.
63. Смирнов Н.Н. Многозаходные червячные фрезы с новыми схемами резания. Прогрессивные процессы машиностроения. – Волгоград, 1982. – С.8 – 15.
64. Спосіб визначення сили різання та параметрів зрізів при зубофрезеруванні в умовах обкочування: Пат. 30961А України, В23 F5/04 / І.Є.Грицай (Україна). № 98063301; Заявл. 24.06.98; опубл.15.12.2000, Бюл. № 7, ч. 2. – С.1.102.

- 65.Спосіб нарізання циліндричних зубчастих коліс. Пат. 51736 України, В23 F21 / 16 / І.Є. Грицай, Г.Й. Євдокименко, М.О. Павлишин (Україна). № 99052508; Заявл. 05.05.99; опубл.15.11.2000, Бюл. № 6, ч. 1. – С.2.20.
- 66.Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др. –Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
- 67.Справочник по охране труда в машиностроении / [Г.В.Бектобеков и др.]; Под общ. ред. О.К.Русака. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. – 540 с.
- 68.Троянин В.А. К оценке долговечности червячных передач с локализованным пятном контакта по данным испытаний и эксплуатации. – Вестник машиностроения, 1977, № 2, С.16–18.
- 69.Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 156 с.
- 70.Черв'ячна фреза: Пат.25515А України, В23 F21 / 16 / І.Є. Грицай (Україна). № 97031039; Заявл. 11.03.97; опубл.25.12.98, Бюл. № 6,ч.1. – С.3.1.111.
- 71.Черв'ячна фреза: Пат.25574А України, В23 F21 / 16 / І.Є. Грицай (Україна).- 97031462; Заявл.28.03.97; опубл.25.12.98, Бюл. № 6,ч.1. – С.3.1.111.
- 72.Червячные редукторы: Справочник / ЮВ.Левитан, В.П.Обморнов, В.И.Васильев. – Л.: Машиностроение, 1985. – 1986 с.
- 73.Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
- 74.Hrytsaj I. The theoretical and experimental research of the screw type hobs for two-way cutting of cylindrical cogwheels of large modules // Transactions of the Universities of Košice. – 2001, №3. – P. 27 – 31.

ДОДАТКИ

Програмне забезпечення за варіантом розрахунку №1

```

%1.Дослідження величини огранювання зуба черв'ячного колеса
%Введення початкових даних
n=1;
m=3;
alfa0=20*(pi/180);
z0=[9 10 11 12];
z2=43;
rf2=121.8/2;
ram2=140/2;
%Розрахунки
nrx=(ram2-rf2)/0.1;
for j=1:1:4
for i=1:1:nrx
    Rx(i)=rf2+(i-1)*0.1;
    df2(i)=(1/2)*(((4*Rx(i))^2-(m*z2*cos(alfa0))^2)^(1/2))*((1/cos((pi*n)/(z0(j)*z2)))-
1);
end
if j==1
    df21=df2;
end
if j==2
    df22=df2;
end
if j==3
    df23=df2;
end
if j==4
    df24=df2;
end
end
%Побудування графіків
plot(df21*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 відомою фрезою (z0=9)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df22*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=10)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df23*1000,Rx,'ko-')

```

```

grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=11)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df24*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=12)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df21*1000,Rx,df22*1000,Rx,df23*1000,Rx,df24*1000,Rx)
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 фрезами (z0=9...12)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
%2.Визначення мінімального числа зубців черв'чної фрези
%Введення початкових даних
ff2=[0.018 0.013 0.009 0.007 0.0053 0.004 0.003 0.0024];
%Розрахунки
for i=1:1:8
    zmin0(i)=((pi*((3))^(1/2))/2)*(n/z2)*(((2*ram2*((1 -
((cos((m*z2*cos(alfa0))/(2*ram2)))^2))^(1/2)))/ff2(i))^(1/2)));
end
%Побудування графіків
plot(ff2*1000,zmin0,'ko-')
grid on
title('Управління точністю нарізання зубців черв'ячних коліс');
xlabel('ff2, мкм');
ylabel('z0');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');

```

Програмне забезпечення за варіантом розрахунку №2

```

%1.Дослідження величини огранювання зуба черв'ячного колеса
%Введення початкових даних
n=1;
m=3;
alfa0=20*(pi/180);
z0=[9 10 11 12];
z2=96;
rf2=280.8/2;
ram2=300/2;
%Розрахунки
nrx=(ram2-rf2)/0.1;
for j=1:1:4
for i=1:1:nrx
    Rx(i)=rf2+(i-1)*0.1;
    df2(i)=(1/2)*(((4*Rx(i))^2-(m*z2*cos(alfa0))^2)^(1/2))*((1/cos((pi*n)/(z0(j)*z2)))-
1);
end
if j==1
    df21=df2;
end
if j==2
    df22=df2;
end
if j==3
    df23=df2;
end
if j==4
    df24=df2;
end
end
%Побудування графіків
plot(df21*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 відомою фрезою (z0=9)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df22*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=10)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df23*1000,Rx,'ko-')

```

```

grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=11)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df24*1000,Rx,'ko-')
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 новою фрезою (z0=12)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
plot(df21*1000,Rx,df22*1000,Rx,df23*1000,Rx,df24*1000,Rx)
grid on
title('Величина огранювання зубця від Rf2 до Ram2 фрезами (z0=9...12)');
xlabel('f2, мкм');
ylabel('Rx, мм');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');
%2.Визначення мінімального числа зубців черв'чної фрези
%Введення початкових даних
ff2=[0.018 0.013 0.009 0.007 0.0053 0.004 0.003 0.0024];
%Розрахунки
for i=1:1:8
    zmin0(i)=((pi*((3))^(1/2))/2)*(n/z2)*(((2*ram2*((1 -
((cos((m*z2*cos(alfa0))/(2*ram2))))^2))^(1/2)))/ff2(i))^(1/2));
end
%Побудування графіків
plot(ff2*1000,zmin0,'ko-')
grid on
title('Управління точністю нарізання зубців черв'ячних коліс');
xlabel('ff2, мкм');
ylabel('z0');
input('Для побудування наступного графіку натисніть Enter');

```