

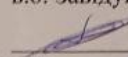
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

«На правах рукопису»
УДК 621.9.042

«До захисту допущено»

в.о. Завідувача кафедри

 Шевченко В.В.

«13» 12 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології у виробництві приладів»

на тему: «Система підвищення експлуатаційних характеристик
конічних шестерень з круговим зубом»

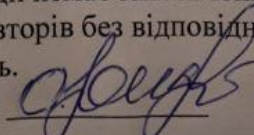
Виконав:
студент VI курсу, групи ПБ-71мп
Онкалюк Олег Ігорович

Керівник:
професор, д.т.н., професор
Антонюк В.С.

Консультант з розділу 5:
доцент, к.е.н., доцент
Прізвище, ініціали, Бояринова К.О.

Рецензент:
професор, д.т.н., професор
Киричук Ю.В.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент 

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**


**Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві приладів» («Комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві приладів»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. Завідувача кафедри

 Шевченко В.В.

«05» 11 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Онкалюку Олегу Ігоровичу

1. Тема дисертації «Система підвищення експлуатаційних характеристик конічних шестерень з круговим зубом», затверджена наказом по університету від «05» 11 2018 р. № 4078-с
2. Термін здачі оформленої дисертації «17» грудня 2018 р.
3. Об'єкт дослідження – конічна шестерня з круговим зубом.
4. Вихідні дані: креслення конічної шестерні з круговим зубом, технічні вимоги щодо розмірів плями контакту.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1.1 Провести аналіз існуючих методів підвищення експлуатаційних характеристик конічних зубчастих коліс з круговим зубом.
 - 5.1.2 Визначити основні методи розрахунку площадки контакту зубчастого зачеплення конічних коліс з круговим зубом.
 - 5.1.3 Створити 3D-моделі зубчастого колеса і шестерні з круговим зубом та їх зачеплення за допомогою системи автоматизованого проектування.

5.1.4 Провести розрахунок миттєвої плями контакту та визначення напрямку сумарної плями контакту зубчастого зачеплення з круговим зубом.

5.1.5 Створити програму, яка систематизує відомі похибки розміщення плям контакту зубчастих коліс з круговим зубом та визначить рекомендації щодо їх усунення.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6.1 Класифікація зубчастих передач.

6.2 Методологія процесу виготовлення зубчастої пари на базі 3D-моделювання.

6.3 Параметри зони контакту зубчастої конічної пари.

6.4 Степінь точності в залежності від розміру зони дотику.

6.5 Розміщення миттєвої площадки контакту на поверхні зубців.

6.6 Види напрямків розміщення сумарної плями контакту (зображення).

6.7 Конічна шестерня з плямою контакту.

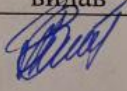
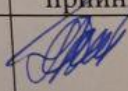
6.8 Технологічна схема припрацювання зубчастого колеса для забезпечення високих показників плями контакту.

6.9 Вікна розробленої програми.

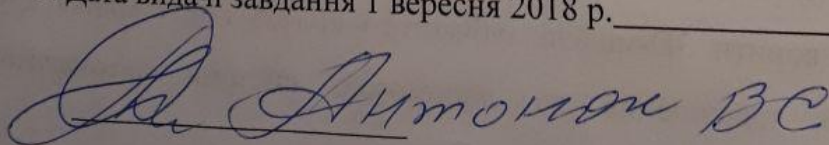
7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1 Подання та опублікування однієї статті в науковому журналі.


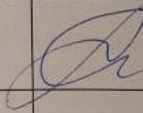
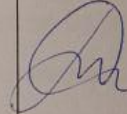
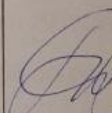
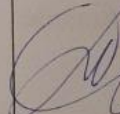
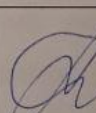
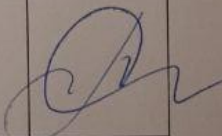
8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 5. Стартап проект «Програмне забезпечення для підвищення експлуатаційних характеристик зубчастих конічних зачеплень з круговим зубом»	Бояринова К.О., кандидат економічних наук, доцент		

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2018 р. _____

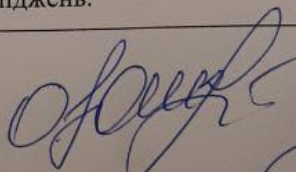
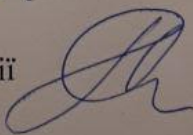
 С. Антонов ВС

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Проведення аналізу вітчизняних і зарубіжних літературних джерел згідно теми дослідження.	15.09.2018	
2	Огляд методики розрахунку зубчастих конічних передач з круговим зубом.	25.09.2018	
3	Огляд методики розрахунку миттєвої площадки контакту та сумарної плями контакту зубчастих конічних передач з круговим зубом.	01.10.2018	
4	Розрахунок миттєвої площадки контакту і сумарної плями контакту згідно обраних методик.	15.10.2018	
5	Створення програми, що систематизує відомі похибки розміщення плям контакту зубчастих коліс з круговим зубом та визначить рекомендації щодо їх усунення.	01.11.2018	
6	Створення та опис технологічної схеми припрацювання зубчастого колеса для забезпечення високих показників плями контакту.	15.11.2018	
7	Написання пояснювальної записки до магістерської дисертації на основі проведених досліджень.	10.12.2018	

Студент

Науковий керівник дисертації

Онкалюк О.І.

Антонюк В.С.

Анотація

Метою дисертаційного дослідження є розробка системи підвищення експлуатаційних характеристик зубчастої конічної шестерні з круговим зубом шляхом визначення місця та напрямку розташування плями контакту.

Дослідження магістерської дисертації базуються на методичному та математичному забезпеченні, яке використовується при розрахунку миттєвої площадки контакту та напрямку розміщення сумарної плями контакту, методах контролю зубчастого зачеплення конічних передач з круговим профілем зуба та методиці визначення похибок розміщення плями контакту і способів їх усунення.

В ході виконання дослідження проведено аналіз існуючих методів підвищення експлуатаційних характеристик конічних зубчастих коліс з круговим зубом. Аналіз літературних джерел показав, що пляма контакту є важливим показником якості зачеплення зубчастої пари коліс з круговим профілем зуба, оскільки збільшення розмірів плями контакту підвищує здатність передачі до роботи під значним навантаженням та покращує її плавність роботи.

Результатом проведеної роботи є: програма з графічним інтерфейсом для визначення геометричних розмірів миттєвої площадки контакту; програма, яка вміщує в себе рекомендації щодо виправлення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом; технологічна схема припрацювання зубчастих коліс для забезпечення високих показників плями контакту.

Abstract

The purpose of the dissertation research is to develop a system for improving the performance characteristics of the geared tapered gear with a circular tooth by determining the location and direction of the location of the contact spot.

Researches of the master's dissertation are based on methodical and mathematical support, which is used in the calculation of the instantaneous contact area and the direction of placement of the total contact spot, the methods of checking the dentinal engagement of tapered gears with a circular tooth profile and the method of determining the errors of placement of the contact spot and the methods of their elimination.

During the study, an analysis of existing methods for improving the performance characteristics of conical gear wheels with a circular tooth was carried out. An analysis of literary sources has shown that the contact spot is an important indicator of the impact of a toothed pair of wheels with a circular tooth profile, since increasing the size of the contact spot increases the ability to transfer to work under considerable stress and improves its smoothness.

The result of the work is: a program with a graphical interface to determine the geometric dimensions of the instantaneous contact area; a program that includes recommendations for correcting the errors of placing the contact spot on the surface of the teeth with a tapered gear with a circular tooth; technological scheme of working of gear wheels for providing high parameters of spot contact.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.	12
1.1. Зубчасті передачі та способи їх утворення. Аналіз експлуатаційних характеристик.....	12
1.2. Зубчасті конічні передачі з круговим зубом.....	19
1.3. Пляма контакту як показник якості зубчастого зачеплення.....	23
Висновки до розділу.....	26
Постановка задачі досліджень.....	27
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗУБЧАСТИХ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ З КРУГОВИМ ЗУБОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЛЯМИ КОНТАКТУ НА ПОВЕРХНІ ЗУБЦІВ.....	28
2.1. Об'єкт дослідження.....	28
2.2. Методика розрахунку зубчастих конічних передач з круговим зубом.....	28
2.3. Методика розрахунку умов зубчастого зачеплення в заданій точці контакту.....	32
2.4. Методичні рекомендації щодо усунення похибок розміщення плями контакту зубчастого зачеплення з круговим зубом.....	35
Висновки до розділу.....	43
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МИТТЄВОЇ ПЛОЩАДКИ КОНТАКТУ І НАПРЯМУ ПЛЯМИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА З КРУГОВИМ ЗУБОМ.....	44
3.1 Розрахунок миттєвої площадки контакту зубчастої конічної передачі з круговим зубом.....	44
3.2.Визначення напрямку сумарної плями контакту зубчастого зачеплення.....	47
Висновки до розділу.....	49
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛЯМИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ З КРУГОВИМ ЗУБОМ.....	50
4.1. Програма для визначення миттєвої площадки контакту.....	50
4.2. Програмна реалізація системи рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту.....	52

4.3. Технологічна схема припрацювання зубців зубчастого колеса з круговим зубом для забезпечення необхідної плями контакту	55
Висновки до розділу	57
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАСТИХ КОНІЧНИХ ЗАЧЕПЛЕНЬ З КРУГОВИМ ЗУБОМ»	58
5.1. Опис ідеї проекту	58
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	60
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	61
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	66
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	68
Висновки по розділу	72
Загальні Висновки.....	73
Список використаної літератури	74
Додатки	
Додаток А Текст програми для визначення миттєвої площадки контакту	
Додаток Б Алгоритм програми для визначення миттєвої площадки контакту	
Додаток В Текст програми рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту	

ВСТУП

Актуальність.

Зубчасті конічні колеса з круговим зубом мають властивість передають великі навантаження при високих швидкостях зберігаючи при цьому плавність і безшумність роботи. Саме тому, вони використовуються в авіаційній та автомобільній промисловості.

Як показав досвід, виготовлення та експлуатація редукторів з конічними передачами, які використовуються у трансмісії транспортних засобів, важливим фактором для отримання високих показників надійності конічних коліс з круговим зубом є забезпечення необхідної площі плями контакту зубчатого зачеплення .

Пляма контакту є комплексним показником повноти контакту зубчастих коліс при їх зачепленні. При незадовільному вирішенні питання локалізації плями контакту можливі раптові поломки зубців, а також удари при надмірному спряженні, що викликають підвищений шум. Корекція геометрії зубців і конічної передачі з круговим зубом в цілому сприяє покращенню передачі навантаження в редукторі за рахунок зміни плями контакту та форми зубців.

Пляма контакту зубчастого зачеплення є важливим фактором, що впливає на якість передачі крутного моменту та розподілення навантажень в механізмах та редукторах трансмісій транспортних засобів різного призначення.

Локалізація площадки контакту по висоті зубчастого колеса з круговим зубом зменшує надмірне спряження зубців і забезпечує малу ймовірність виникнення похибок при складанні зубчастої пари.

При незадовільному вирішенні питання локалізації плями контакту можливі раптові поломки зубів, а також удари при надмірному спряженні, що викликають підвищений шум. Однак правильна локалізація, застерігає від

цих проблем та призводить до зниження надмірного навантаження на зубчасту передачу.

З метою отримання високих показників якості зубчастої конічної пари із круговим зубом необхідно забезпечити високий відсоток плями контакту на бічній поверхні зубців.

Оцінка характеру контакту бічних поверхонь зубців здійснюється на спеціальному верстаті під час контрольної операції.

Забезпечення необхідної плями контакту пари коліс з круговим зубом по ширині та по висоті на поверхнях зубців є актуальним і вимагає детального дослідження.

Метою дисертаційного дослідження є розробка системи підвищення експлуатаційних характеристик зубчастої конічної шестерні з круговим зубом шляхом визначення місця та напряму розташування плями контакту.

Об'єктом дослідження є конічна шестерня з круговим зубом.

Предметом дослідження є пляма контакту, що утворюється при контролі зачеплення конічної зубчастої пари з круговим профілем зуба.

Методи дослідження.

Дослідження базуються на методах контролю зубчастого зачеплення конічних передач з круговим профілем зуба та методичного забезпечення щодо визначення контактних характеристик зубчастої пари з круговим зубом та площадки контакту при її контролі.

Для створення 3D моделей зубчастої конічної пари з круговим зубом використовувалась система автоматизованого проектування Autodesk Inventor 2018 Pro. Програма для розрахунку миттєвої площадки контакту та напряму плями контакту написана мовою програмування Python 3.6.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Досліджено та систематизовано види похибок утворення плями контакту конічного зубчастого зачеплення з круговим профілем зуба.

2. Створено методику, виправлення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом.
3. Запропоновано алгоритм розрахунку миттєвої площадки контакту бічної поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом.
4. Розроблено технологічну схему припрацювання зубчастих коліс для забезпечення параметрів плями контакту.

Практична новизна отриманих результатів.

Створено програму визначення миттєвої площадки контакту та напряму сумарної плями контакту зубчастого конічного зачеплення з круговим зубом яка дозволяє спрогнозувати на етапі проектування відповідність зубчастого зачеплення технічним вимогам.

Розроблена програма аналізу та вибору способів усунення різних видів похибок розміщення сумарної плями контакту, яка дозволяє оцінити результату контролю зубчастого зачеплення.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зубчасті конічні колеса з круговими зубами відносяться до наближених зачеплень. До задач, які складають основу теорії наближених зачеплень входять:

- узгодження форми бокових поверхонь контактуючих зубів із законом обертової передачі зубчастих коліс;
- визначення плями контакту на поверхні зубців;
- забезпечення відсутності інтерференції поверхонь;

Основною задачею дослідження є визначення локалізації плями контакту на бічних поверхнях зубців конічної зубчастої передачі з круговим зубом, а також з'ясувати способи уникнення різних видів похибок її розміщення, що виникають в процесі контролю зубчастої пари.

1.1. Зубчасті передачі та способи їх утворення. Аналіз експлуатаційних характеристик.

Існують різноманітні типи зубчастих передач. Вони відрізняються характером виконуваних рухів, конструкцією і формою елементів вищої кінематичної пари. Зубчасті передачі класифікують за певними ознаками, що наведені на рисунку 1.1:

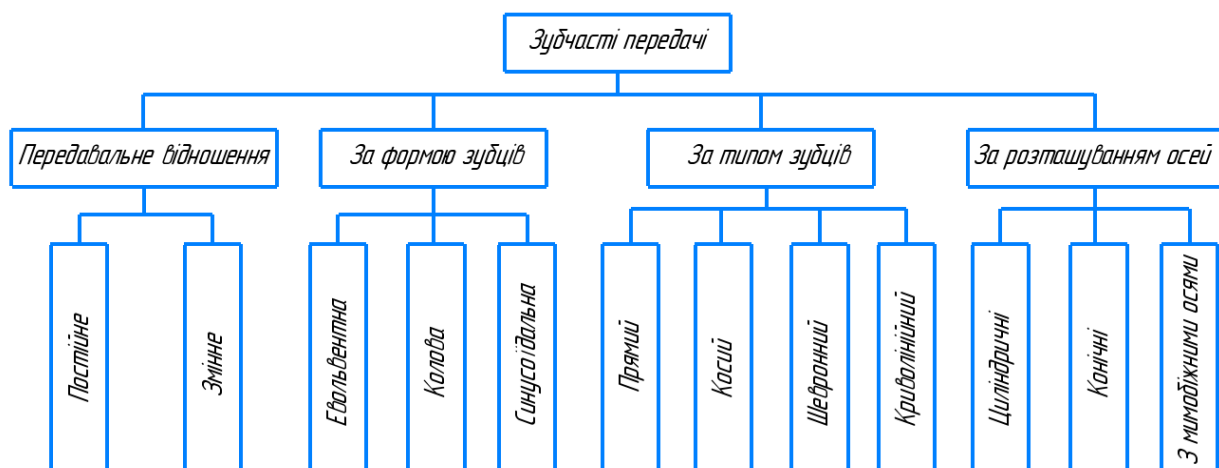


Рис.1.1 Класифікація зубчастих передач

Зубчасті передачі бувають з постійним та змінним передавальним відношенням. Передавальне відношення – це одна із вагомих характеристик механічної передачі обертового характеру, що знаходиться як відношення кутових швидкостей ведучого і відомого елементів [1,2].

Зубчасті колеса за формою зубців поділяються на: евольвентні, колові і синусоїдальні.

За типом зубців зубчасті передачі поділяються на: прямозубі, косозубі, шевронні та криволінійними зубцями (Рис.1.2).

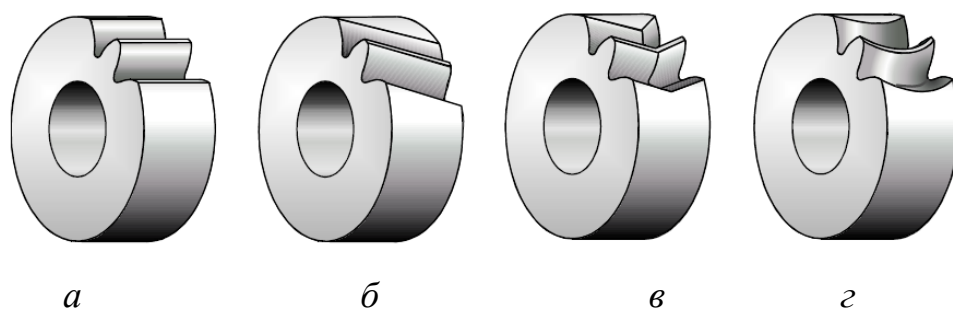


Рис.1.2 Типи зубчастих коліс за формою зубців: а) прямозубі; б) косозубі; в) шевронні; 4) з криволінійними зубцями.

Зубчасті колеса, також, можна класифікувати за взаємним розташуванням осей, а саме: циліндричні, конічні і з мимобіжними осями (Рис.1.3).

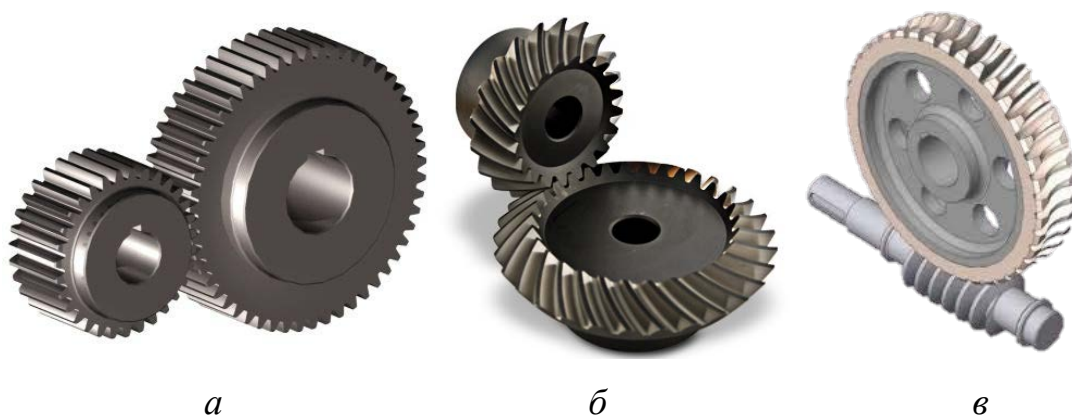


Рис.1.3 Класифікація зубчастих передач за взаємним розташуванням осей: а) циліндрична; б) конічна; в) з мимобіжними осями

Важливим елементом зубчастих коліс є профіль зубців. Від методу та якості виготовлення даного профілю залежать експлуатаційні характеристики і загалом надійність і якість зачеплення [3].

Нарізання є основним способом виготовлення зубчастих коліс на сьогодні. Відомі два найбільш використовувані методи створення сучасних зубчастих зачеплень: *копіювання* і *обкочування*. В якості обладнання використовуються спеціальні зуборізальні верстати.

Метод копіювання полягає у формуванні бічних профілів зубців за допомогою спеціальних пальцевих або дискових фрез. Цей метод потребує значного запасу зуборізного інструменту, тому його застосовують рідко. Він менш продуктивний і недостатньо точний, якщо порівнювати з іншими методами.

Метод обкочування полягає в тому, що однією твірною поверхнею нарізаються дві спряжені поверхні зубців зубчастих коліс, яка відрізняється від необхідних спряжених поверхонь. Рух різання, рух обкочування та рух подачі – це три основні рухи інструмента і заготовки, що виникають у процесі нарізання коліс методом обкочування [4].

Найбільш поширеними є передачі з евольвентним профілем зубців. Евольвентне зачеплення має суттєві технологічні та експлуатаційні переваги [5]:

1. евольвентні профілі зубців прості для побудови;
2. евольвентні зубці можуть бути точно нарізані простим інструментом рейкового типу;
3. колеса з різним числом зубців можна нарізати одним інструментом;
4. евольвентне зачеплення допускає виправлення робочого профілю зубців, що забезпечує кращу роботоздатність, коефіцієнт корисної дії, та інші характеристики передачі.

Недоліками евольвентних передач можна вважати:

1. високі вимоги до точності монтажу та виготовлення;

2. виникнення шуму при роботі на великих швидкостях;
3. поява тертя кочення і ковзання сприяє низькій несучій здатності;
4. перекіс осей коліс, що спричинений лінійним контактом зубців.
5. віднести малу поверхню контакту зубців при зачепленні в передачі і пов'язану з цим передачу малих крутних моментів,
6. заїдання та енергетичні втрати.

Для одержання точного евольвентного, чи іншого профілю вимагається висока точність зубообробки при використанні високоточних спеціальних верстатів і інструментів. Внаслідок взаємодії випуклих робочих поверхонь зубців площадка контакту має форму вузької лінії, що суттєво обмежує контактну міцність і концентрує навантаження по краю зубців

Існують зубчасті передачі з коловим профілем зубців (зачеплення Новікова), які використовують у важконавантажених передачах.

У зачепленні Новікова лінійний контакт зубців замінено точковим. Точка дотикання даної пари зубців переміщається паралельно полюсній лінії (вісьям зубчастих коліс).

Використання передач Новікова почалося з передач з однією лінією зачеплення, а в даний час використовують передачі з двома лініями зачеплення. Одностороннє зачеплення Новікова має одну лінію зачеплення при цьому, як правило, у шестерні зубці мають випуклий профіль, а у колеса – ввігнутий.

Якщо ведучим є зубчасте колесо з випуклим профілем, то точка контакту розташована за полюсом і передачу називають заполюсною. Якщо ведене колесо з ввігнутим профілем, то передача стає дозаполюсною. Для нарізування зубчастих коліс з випуклими і ввігнутими зубцями одного і того ж модуля, необхідно мати дві фрези, виконані в відповідності з контурами випуклого і ввігнутого зубців. Передачі з зачепленням Новікова можливі тільки в косозубому виконанні. Їх несуча здатність обмежується міцністю робочих поверхонь зубців [6].

Особливістю виготовлення синусоїдальної зубчастої передачі є нарізання профілів зубців, що окреслені синусоїдальними кривими. Така передача має задовільний коефіцієнт перекриття і відповідає умовам збереження основного закону зачеплення – постійності передавального відношення [7]:

До особливостей синусоїдальних передач можна віднести:

1. відсутність високого рівня шуму, внаслідок низької швидкості удару в зачепленні;
2. низький питомий тиск на поверхнях зубців, що контактують;
3. велика зносостійкість зубців, що спричинена нульове значення коефіцієнта ковзання в полюсі та в крайніх точках активного профілю зубців.

Редуктори та коробки передач синусоїдальних трансмісій на 20 – 30% можуть мати меншу масу завдяки своїм меншим габаритам. Проте, синусоїдальна передача здатна передати більшу потужність при однакових з евольвентною передачею модулем та габаритах [8].

Умови контакту в зачепленні та будова синусоїдальних зубців зумовлюють такі переваги синусоїдальної передачі над евольвентною:

1. зменшення концентрації напружень в основі зубця, внаслідок ніжки зуба у вигляді синусоїди;
2. вища міцність синусоїдальних зубців при випробуваннях на згинання, оскільки товщина синусоїдальних зубців від головки зубця до його западин монотонно збільшується;
3. здатність до передачі більших обертових моментів.

Зубчасті передачі з синусоїдальним профілем зубців мають більший коефіцієнт перекриття, що збільшує навантажувальну здатність передачі, менший питомий тиск на робочих поверхнях зубців за рахунок заміни контакту по лінії на контакт по площині, в полюсі відсутнє ковзання що підвищує коефіцієнт корисної дії, а також зменшує спрацювання робочих поверхонь зубців і рівень шуму, при роботі [9].

Одним із основних напрямів вдосконалення зубчастих коліс є збільшення їх точності. Відомі різні технічні рішення зубчастих передач, що мають прості та складні поверхні зачеплення.

При вдосконаленні циліндричних зубчастих передач перспективним напрямком є застосування аркових зубців, які мають підвищену плавність ходу, просту локалізацію контактну робочих поверхонь, відсутність осьових сил в зачепленні [10].

Аналіз літературних джерел показав, що розрахунки деформацій початкових точкових контактів і напружень, що виникають при контакті поверхонь, на основі класичної теорії Герца не підтверджувалися на практиці і призводили до великої розбіжності результатів.

Результати досліджень і статичних випробувань навантаженого контакту циліндричного і бочкоподібного роликів підтвердили результати розрахунків розміру плями контакту за теорією, розробленою О. П. Поповим.

Ресурсні випробування редуктора, проведені з модифікованою шестернею, показали, що дослідна конструкція володіє високою здатністю навантаження при нижчому рівні вібрації порівняно зі стандартною конструкцією редуктора [11].

Як висновок експериментально підтверджено і вперше доведено наступне:

- евольвентні зубчасті передачі з просторовою точковою системою зачеплення зубів за своїми за масогабаритними показниками, а також віброакустичними і навантажувальними характеристиками, значно виграють у традиційних зубчастих передачах з лінійним контактом зубців;
- навантажувальна здатність зазначених передач за напруженнями згину і контактними напруженнями перевищують навантажувальну здатність відомих передач;
- для передач з точковим контактом зубів характерна стабілізація форми плями контакту, сприяє зменшенню кромкового контакту зубців;

- передачі з точковим контактом менш чутливі до похибок складання редукторів.

Конічні зубчасті колеса виконують з прямими, косими і круговими зубцями. Прямозубі циліндричні колеса мають найменшу навантажувальну здатність. Їх застосовують у невідповідальних передачах з круговими швидкостями до 10 м/с при попередньому припрацюванні зубців і до 3 м/с, якщо зубці колеса не попередньо не припрацьовані. При змінних навантаженнях застосовують циліндричні прямозубі з бочкоподібними зубами і локалізованою плямою контакту.

Косозубі колеса мають велику навантажувальну здатність в порівнянні з прямозубими конічними передачами, проте вони складні у виготовленні і у зв'язку з цим використовуються рідко. Їх застосовують, зазвичай, для великих відповідальних передач при індивідуальному і дрібносерійному виробництві.

Зміна навантажувально-кінематичних параметрів конічного зачеплення коліс з евольвентним прямим зубом призводить до нерівномірного зношування форми профілю зубця. Це характеризує ненадійність працездатних показників зубчастих передач за вихідними даними геометрії зубців евольвентного профілю

У зв'язку з цим, в роботі [12] було проведено дослідження конічної передачі із двоопукловгнутим профілем зубців.

За основу даної роботи було взято визначення координат точок поверхні зношеного зубця. Для цього використовувався метод лазерного сканування. Головна мета лазерного сканування – визначення просторових координат точок, розміщених на поверхні об'єкта. Як результат роботи, були створені математичні моделі зубчастих коліс зі зношеними зубцями і це дозволило визначити усі необхідні характеристики зачеплення.

Показники контакту зубів в передачі мають вагоме значення для силових передач, так як недостатня величина контакту приводить до інтенсивного зносу і виходу з ладу передачі.

Згідно ГОСТ 1643-81 показниками, що визначають контакт зубів можуть бути:

- для зубчастого колеса – похибка направлення зуба, що характеризує контакт по довжині зуба і похибка по профілю зуба, що характеризує контакт по висоті зуба;
- для зубчастої пари – відхилення відносних розмірів сумарної зони дотику;
- для зубчастої передачі – відхилення відносних розмірів сумарної плями контакту.

1.2. Зубчасті конічні передачі з круговим зубом

Зубчасті конічні колеса з круговими зубами відносяться до наближених зачеплень. Значний внесок у розвиток теорії "наближених" зубчастих зачеплень зробив видатний американський інженер Е. Вільдгабер [13].

Він розробив метод кругового протягування. Даний метод процес об'єктивно залишається найпродуктивнішим методом виготовлення зубчастих коліс з круговим профілем зуба. Створені ним передачі принципово не можуть передавати обертання з постійним передатним відношенням. Проте, шляхом правильного підбору значень технологічних параметрів процесів зубонарізання ступінь відхилення передатного відношення від константи може бути приведений до мінімуму. Такий підхід до проектування зубчастих зачеплень відкрив нові можливості створення продуктивних процесів обробки зубців зубчастих коліс [13].

Зубчасті колеса з круговим профілем зуба більш технологічні і мають високу несучу здатність. Водночас, вони володіють меншою чутливістю до динамічних навантажень. Їх застосовують для відповідальних важко

навантажених передач, що працюють при постійних і змінних навантаженнях [14].

Виникнення дефектів авіаційних конічних зубчастих коліс з круговим зубом в порівнянні з конічними зубчастими колесами загального машинобудування має деяку специфіку. Встановлено, що основною причиною руйнування авіаційних конічних зубчастих коліс є виникнення резонансних коливань ободу зубчастого колеса внаслідок попадання його власних форм коливань по вузловим діаметрам в робочий діапазон частот обертання передачі [15].

В процесі дослідження було розроблено модель, що дозволяє досліджувати вплив параметрів модифікації робочої поверхні зубчастих коліс на функцію кінематичної похибки передачі при різній величині переданого крутного моменту.

Також, розроблена скорочена динамічна модель конічної зубчастої передачі, яка, з урахуванням різних параметрів модифікації робочого профілю, дозволила створити математичну модель, що відображала вібронапруженість конічних зубчастих коліс.

Номінально зубчасті колеса мають початково-лінійний дотик, а контактна міцність, в основному, залежить від напружень в зоні контакту. По величині радіуси кривизни контактуючих тіл доволі часто перевищують довжину полоси контакту, тому умови контактної взаємодії багатьох деталей машин і механізмів моделюють контактом пружних нескінченно довгих циліндрів з паралельними осями, а в основі їх розрахунків на міцність лежить вирішення плоскої контактної задачі Герца [16].

Для вирішення головних завдань синтезу зубчастої конічної передачі з круговим зубом, а саме: узгодження закону обертання передачі відповідно до форми бічних поверхонь зубців, локалізації зони контакту на поверхнях зубців, забезпечення відсутності інтерференції поверхонь, - необхідним є

розроблення загальною структурну схему виробництва зубчастих коліс. Однак, при цьому здійснюється заміна поняття деталей на 3D-модель [17].

Розглядається процес нарізання конічних зубчастих коліс з круговим зубом по методу обкатування на зубообробному верстаті, при якому відбувається процес зачеплення двох поверхонь - твірної і оброблюваної. Такий процес називається верстатним зачепленням (Рис.1.4).

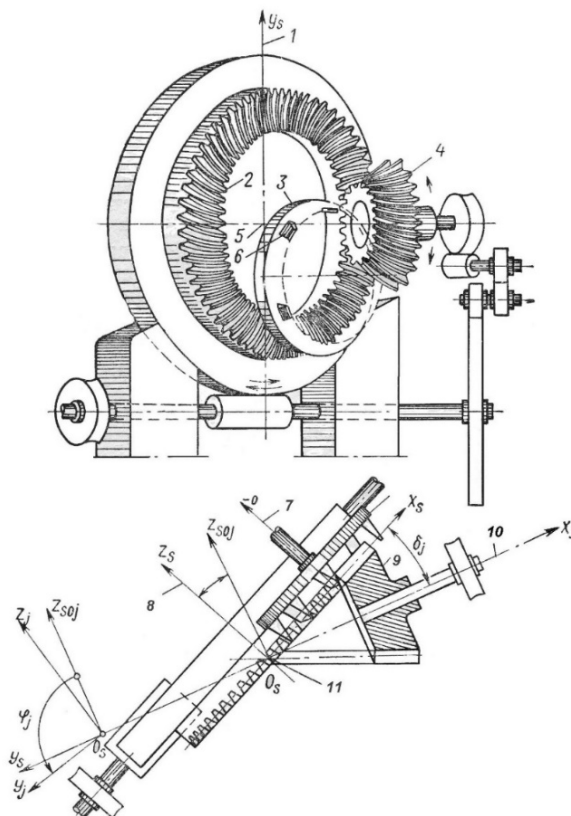


Рис.1.4 Верстатне зачеплення при нарізанні зубчастого колеса з круговим зубом методом обкатування:

1 - вертикальна вісь верстату; 2 - плосковершинне плоске твірне колесо; 3 - зубонарізна головка; 4 - заготовка; 5 – центр плосковершинного плоского твірного колеса; 6 – зуб зубонарізної головки; 7 – вісь зубонарізної головки; 8 – горизонтальна вісь верстату; 9 – заготовка; 10 – вісь заготовки; 11 – центр верстату.

В якості одного компонента зубчастої пари виступає зуб твірного колеса, а в якості другого - профільований зуб колеса, що нарізується. Верстатне зачеплення, як і робоче, відповідає закону просторового зачеплення.

У кожен момент верстатного зачеплення виникає лінія миттєвого контакту між твірною поверхнею і поверхнею зуба, що нарізується. Сукупність цих ліній в нерухомому просторі утворює поверхню зачеплення, а їх сукупність в рухомій системі координат, що належить колесу яке нарізується, - бічну поверхню зуба.

Пропонується методологія процесу виготовлення конічної зубчастої пари з круговим зубом на базі 3D-моделювання представлена схемою на рисунку 1.5:

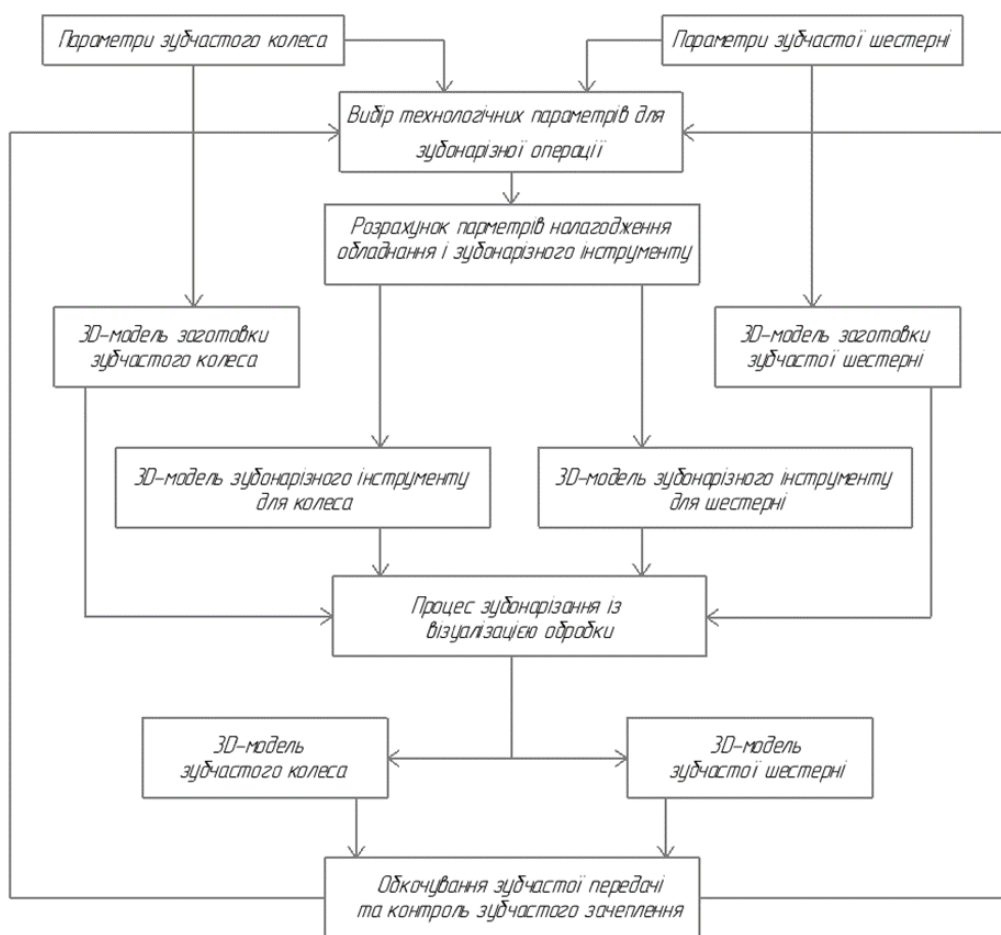


Рис.1.5 Методологія процесу виготовлення зубчастої пари на базі 3D-моделювання

На базі даної методології, було створено 3D-моделі зубчастого конічного колеса, конічної шестерні та зубчастого зачеплення з круговим зубом, що представлені на рисунку 1.6.

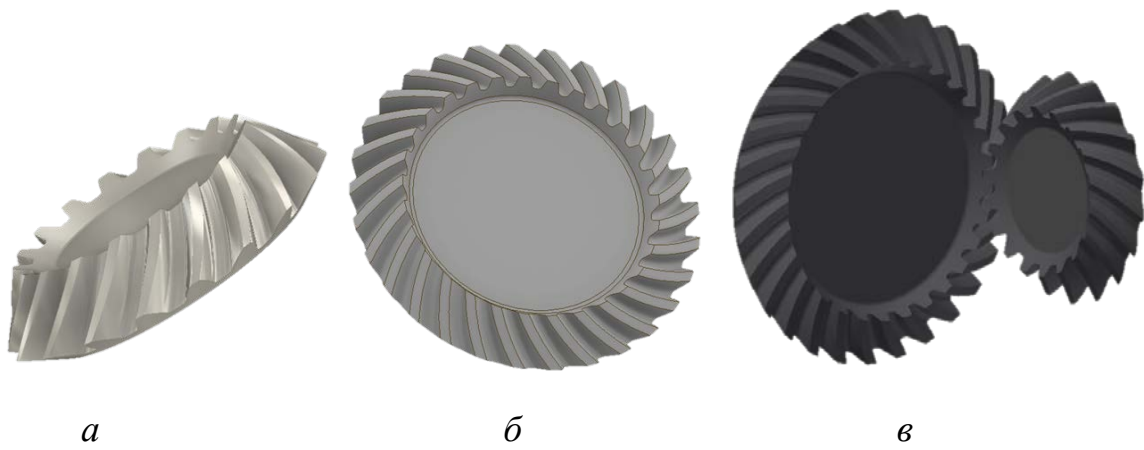


Рис.1.6 3D-моделі конічної шестерні (а) конічного зубчастого колеса (б) та конічного зубчастого зачеплення з круговим зубом (в)

1.3. Пляма контакту як показник якості зубчастого зачеплення.

Пляма контакту є комплексним показником повноти контакту зубчастих коліс при їх зачепленні. При незадовільному вирішенні питання локалізації плями контакту можливі раптові поломки зубців, а також удари при надмірному спряженні, що викликають підвищений шум. Однак правильне її розташування призводить до зниження навантаження на передачі та забезпечує довговічність роботи механізму.

На рисунку 1.7 представлена класифікація зони контакту зубчастої конічної пари.

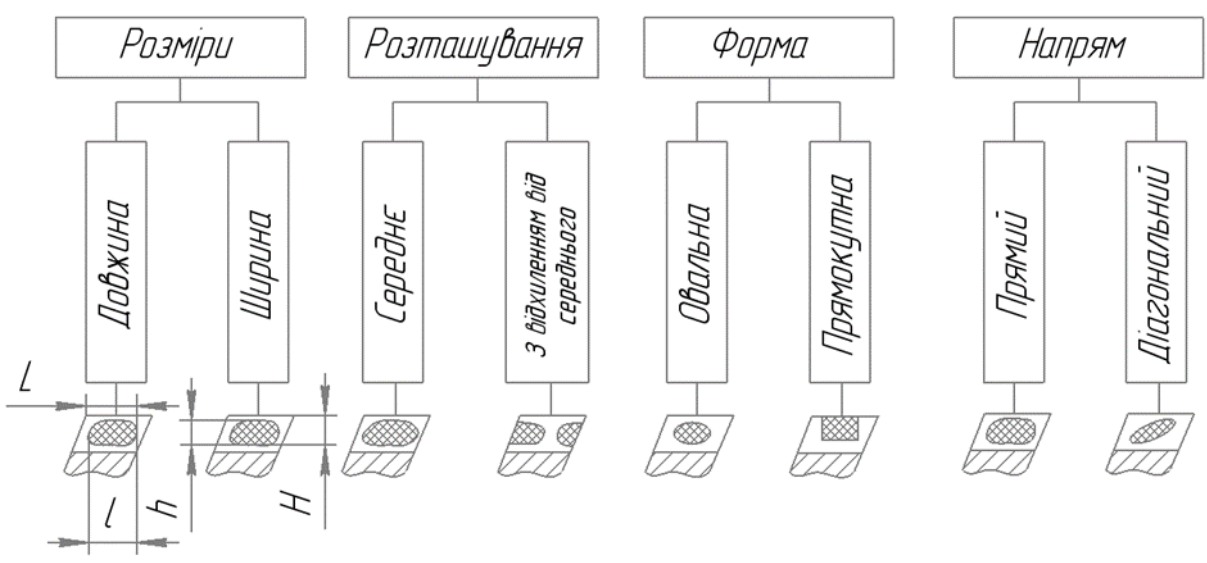


Рис.1.7 Параметри зони контакту зубчастої конічної пари

Сумарна пляма контакту є частиною активної бокової поверхні зуба зубчастого колеса, на якій розташовуються сліди прилягання парного зубчастого колеса в зібраній передачі після обертання під навантаженням. [7]

Для отримання якісного зачеплення зубчастих конічних коліс з круговим зубом необхідно забезпечити необхідну за величиною і розміщенням пляму контакту (Рис1.7).

Термін «зона дотику» використовується для оцінки характеру контакту бічних поверхонь зубів при контролі зубчастої пари на контрольно-обкатані верстаті при легкому навантаженні. Зона дотику характеризується розміщенням, формою, розмірами по довжині і висоті зуба і напрямком. Для кожного етапу технологічного процесу параметри зони дотику можуть відрізнятися.

Таблиця 1.1. Степінь точності в залежності від розміру зони дотику

<i>Степінь точності</i>	<i>Відносні розміри зони дотику</i>	
	<i>$f = l/L$</i>	<i>$f = h/H$</i>
<i>4-5</i>	<i>0.65-0.80</i>	<i>0.75-0.90</i>
<i>6-7</i>	<i>0.60-0.75</i>	<i>0.75-0.90</i>
<i>8-9</i>	<i>0.50-0.70</i>	<i>0.70-0.85</i>
<i>10-12</i>	<i>0.40-0.65</i>	<i>0.60-0.80</i>

Забезпечення правильного місця її розташування є однією із перших вимог, що висувається до якості зони торкання. Зазвичай, в конічній зубчастій парі прагнуть здобути зони дотику, розташування якої буде дещо зміщене до внутрішнього торця зуба. Проте, великі зміщення зони дотику, що призводять до виходу її на кромку зуба, підлягають виправленню.

Розміри зони дотику по довжині і висоті зуба впливають на навантажувальну здатність, плавність передачі обертання, чутливість передач до похибок монтажу і зсувів коліс під навантаженням і на інші показники роботи передач.

Збільшення розмірів зони торкання підвищує плавність роботи передачі і збільшує її здатність навантаження. У той же час зростає чутливість передач до похибки монтажу і зсувів коліс під навантаженням. Величина зони торкання є вхідним параметром для визначення налагоджень обладнання, які і забезпечують якість зачеплення.

Термін пляма контакту слід використовувати для оцінки характеру контакту бічних поверхонь зубів передачі, зібраної в редукторі і працює під навантаженням [15].

Розробкою методів синтезу зубчастих зачеплень займалися вчені, які заклали основи синтезу: загальні положення, застосовні до будь-яких зубчастих передач з точковим контактом, і конкретні для певних видів передач [20–22].

Запропоновані принципи синтезу зачеплень з точковим контактом засновані на методиці за заданими умовами контакту в одній розрахунковій точці і її диференціальної околиці [20, 23].

До характеристик контакту в розрахунковій точці відноситься передавальне відношення і його похідні, розміри і орієнтація миттєвої контактної площадки, швидкість і прискорення центру миттєвої контактної площадки, як в нерухомому просторі, так і під час руху по поверхнях контактуючих зубів. Така методика гарантує задані умови контакту не на всьому робочому ділянці роботи однієї пари зубів, а лише на невеликій його частині.

Розроблені методи синтезу та аналізу зубчастих передач дозволяють визначити бічний зазор, пляму контакту і її розташування. Для визначення миттєвої контактної площадки зубці колеса розміщують в положення дотику їх бічних поверхонь, а аплікати бічних поверхонь зубців шестерні змінюються так, щоб це відповідало зміні по нормалі на одну і ту ж величину, що дорівнює товщині шару фарби. Миттєва контактна площадка складається з усіх точок, в яких будуть контактувати спряжені поверхні [23].

Центральне місце в синтезі наближених зачеплень займає розрахунок величин налагоджень верстату, параметрів зубонарізних інструментів і закону його руху відповідно до заготовки. Від цих величин залежить форма бічних поверхонь зубців, що визначає вихідні характеристики зачеплення, а саме, закон передачі обертання та пляму контакту.

Після аналізу літературних джерел можна сказати, що більшість авторів займалися вирішенням питання локалізації плями контакту по довжині зуба. Було встановлено зв'язок між головними нормальними кривизнами зубчастих коліс в розрахунковій точці контакту і формою миттєвої контактної площадки. Таким чином, визначалась орієнтація головної осі контактної еліпса в розрахунковій точці. Питання про рух контактної площадки вперше був поставлений Ф.Л. Литвином. Він визначив кінематичним методом швидкість руху центру контактної площадки в розрахунковому положенні коліс [8]. Пізніше методом розкладання в степеневі ряди було знайдено прискорення цього центру [24].

Однак, локалізувати пляму контакту можна не тільки по довжині зуба, але і по висоті. В разі такого підходу до вирішення питання, вже не постає питання приведення до нуля похідної від передатного відношення в розрахунковій точці контакту [25, 26].

Висновки до розділу

Аналіз літературних джерел показав, що пляма контакту є важливим показником якості зачеплення зубчастої пари коліс з круговим профілем зуба.

Розміри плями контакту по довжині зуба впливають на навантажувальну здатність та плавність передачі обертання. Збільшення розмірів плями контакту підвищує здатність передачі до роботи під значним навантаженням та покращує її плавність роботи.

Розроблені методи аналізу та синтезу розміщення площадки контакту кінчних зубчастих передач з круговим зубом не дозволяють отримати

повної відповіді щодо якості зачеплення та підвищення експлуатаційних характеристик зубчастих коліс.

Тому, питання визначення місця розташування плями контакту зубастого конічного зачеплення з круговим зубом є актуальним.

Постановка задачі досліджень

Метою дисертаційного дослідження є розробка системи підвищення експлуатаційних характеристик зубчастої конічної шестерні з круговим зубом шляхом визначення місця та напряму розташування плями контакту.

У відповідності з поставленою метою вирішуються такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів підвищення експлуатаційних характеристик конічних зубчастих коліс з круговим зубом.
2. Визначити основні методи розрахунку площадки контакту зубчастого зачеплення конічних коліс з круговим зубом.
3. Створити 3D-моделі зубчастого колеса і шестерні з круговим зубом та їх зачеплення за допомогою системи автоматизованого проектування.
4. Провести розрахунок миттєвої плями контакту та визначення напряму сумарної плями контакту зубчастого зачеплення з круговим зубом
5. Створити програму систематизації похибок розміщення плям контакту зубчастих коліс з круговим зубом та визначить рекомендації щодо їх усунення.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗУБЧАСТИХ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ З КРУГОВИМ ЗУБОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЛЯМИ КОНТАКТУ НА ПОВЕРХНІ ЗУБЦІВ

2.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є конічна шестерня з круговим зубом. Матеріал шестерні Сталь 20Х2Н2ВФМА-Ш. Маса деталі – 97г. Основні характеристики конічної шестерні наведені в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики об'єкту дослідження

Модуль	2,25
Число зубців	18
Тип зуба	Круговий
Осьова форма зуба	Згідно ГОСТ 19325-73
Зовнішня висота зуба	4,316 Н14
Напрямок зуба	Правий
Робоча сторона зуба	Ввігнута
Степінь точності по ГОСТ 1758-81	8-А
Міжосьовий кут передачі	90°

2.2. Методика розрахунку зубчастих конічних передач з круговим зубом

Для розрахунку геометричних параметрів конічного зубчастого зачеплення з круговим зубом та забезпечення вимогам щодо експлуатаційних характеристик на етапі проектування зубчастої передачі розглянемо наступну методику [14].

Конічні зубчасті колеса використовуються в передачах, осі валів яких перетинаються під міжосьовим кутом $\Sigma = 10^\circ..170^\circ$.

Найбільш поширеними є ортогональні передачі з $\Sigma = 90^\circ$. Розглянемо зубчасту передачу з круговим зубом представлену на рисунку 2.1.

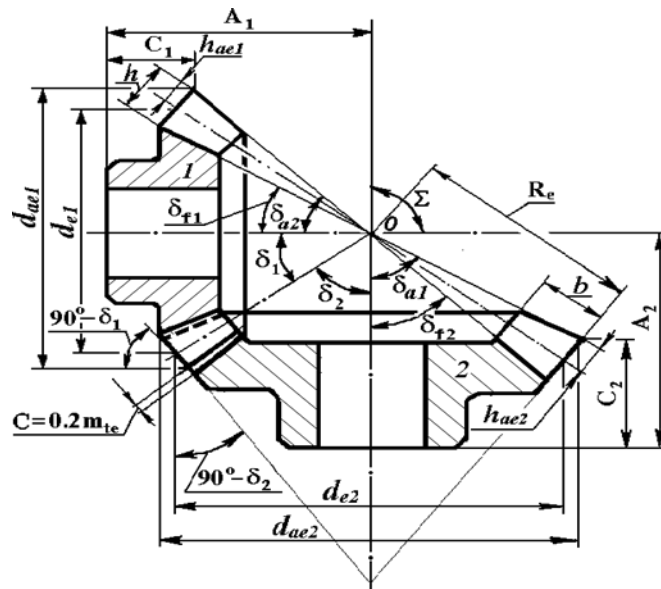


Рис 2.1. Конічна зубчаста передача з круговим зубом

d_e – діаметр зовнішнього ділительного кола;

d_{ae} – зовнішній діаметр вершин;

h_e – найбільша висота зубців (біля торця);

h_{ae} – найбільша висота головки зубців (біля торця);

R_e – зовнішня конусна відстань;

b – ширина вінця;

δ – кут ділительного конусу;

δ_a – кут конуса вершин;

δ_f – кут конуса впадин;

θ_f – кут ніжки зубців;

A – базова розрахункова відстань.

З метою спрощення позначень в процесі розрахунку зубчастої передачі, присвоїмо шестерні індекс 1, а зубчастому колесу – індекс 2.

Конічні зубчасті зачеплення з круговим зубом виконуються тільки в закритому виді.

Проектний розрахунок закритої конічної передачі з круговим профілем зуба по контактним навантаженням представлений в [14].

Вихідними даними для розрахунку є :

- Тип передачі (відкрита або закрита). У випадку конічних коліс з круговим зубом варіант один – закрита.
- Міжосьовий кут Σ
- Передатне число i
- Частота обертів валу-шестерні n (хв^{-1})
- Крутний момент на колесі M ($\text{Н} \times \text{м}$)
- Режим роботи
- Необхідний робочий ресурс T (год)

Етап №1: вибір матеріалу та способу термообробки зубчастих коліс.

В залежності від технології виробництва, призначення передачі, а також її габаритів обирається матеріал коліс і спосіб їх термообробки. У редукторах використовують нормалізовані покращені колеса із твердістю ≤ 350 НВ, при невеликій потужності та відсутності високих вимог до розмірів.

Внаслідок більшої частоти навантаження, твердість шестерні повинна перевищувати твердість зубчастого колеса на 25...30 НВ. Досить часто використовуються колеса з поверхневим зміцненням зубців для того, щоб зрівняти твердість поверхонь зубців шестерні і колеса [14].

Етап №2: визначення степені точності передачі.

Точність виготовлення зубчастих коліс вибирають в залежності від можливостей технології виготовлення та призначення зубчастої передачі. Для визначення степені точності зубчастого зачеплення при використанні в редукторі дозволено користуватись рекомендаціями, що наведені в [14]. Середнє значення швидкості руху по колу зубчастого колеса визначають за наступною формулою:

$$V_m \approx \frac{n_1}{c_v} \sqrt{\frac{T_2}{u^2}}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.1)$$

c_v – коефіцієнт, що залежить від способу термообробки шестерні і колеса.

Етап №3: вибір коефіцієнта відносної ширини K_{be} .

Коефіцієнт K_{be} використовують для обмеження нерівномірності розподілу навантаження по ширині вінця зубчастого конічного колеса. Його приймають в межах 0,25...0,3. Рекомендується приймати значення близькі 0,3, для забезпечення високої степені точності.

Етап №4: вибір середнього кута нахилу зуба β_m .

Згідно ГОСТ 19326-73 куту β_m рекомендовано надавати значення в межах $0^\circ..45^\circ$. Значення повинні бути кратними 5° . Досить часто значення β_m приймають рівним 35° .

Етап №5: визначення кутів ділительних конусів δ_1 і δ_2 .

При $\Sigma = 90^\circ$ ділительні кути шестерні і колеса визначаються як:

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2; \quad \delta_2 = \arctg u \quad (2.2)$$

Етап №6: визначення коефіцієнтів навантаження K_H і K_f .

В залежності від виду навантаження (контактного або згинального) розрахунки K_H і K_f можуть відрізнитись. Детальний огляд і методи визначення даних коефіцієнтів наведено в [14].

Етап №7: визначення коефіцієнтів u_H і u_f .

Визначення коефіцієнтів u_H і u_f проводять із врахуванням виду зубчастої конічної передачі. Рекомендовані значення коефіцієнтів u_H і u_f приймаються в залежності від термообробки коліс та передатного відношення зубчастої передачі.

Етап №7: визначення допустимих контактних навантажень σ_H .

Важливим показником при розрахунку конічної зубчастої передачі з круговим профілем зуба є кількість робочих циклів, які будуть здійснені зубчастою передачею впродовж періоду її експлуатації.

Даний показник для шестерні і зубчастого колеса визначається за формулою 2.3.

$$N_{\Sigma 1} = 60 \times n \times T; \quad N_{\Sigma 2} = N_{\Sigma 1} / i; \quad (2.3)$$

n - частота обертів валу-шестерні (хв^{-1});

T - робочий ресурс в годинах;

i – передатне відношення.

N_{Σ} – сумарне число циклів за період експлуатації.

Коефіцієнт режиму роботи при $n = \text{const}$:

$$\mu_H = \mu_Z = \sum \frac{t_i}{t_{\text{бл}}} \left(\frac{T_i}{T_{\text{max}}} \right)^3; \quad \mu_F = \mu_{6,9} = \sum \frac{t_i}{t_{\text{бл}}} \left(\frac{T_i}{T_{\text{max}}} \right)^{qF} \quad (2.4)$$

2.3. Методика розрахунку умов зубчастого зачеплення в заданій точці контакту

При синтезі наближених конічних зубчастих зачеплень розглядаються наступні питання, які потребують відповіді:

- Поверхні зубців зубчастого колеса і шестерні повинні контактувати між собою в певній розрахунковій точці, в той час як миттєве передатне відношення повинне дорівнювати заданому;
- Похідна передатного відношення коліс по куту повороту в заданій розрахунковій точці повинна дорівнювати нулеві. Разом з цим, на даному етапі аналізується напрям дотичної до робочої лінії в розрахунковій точці. Саме цей напрям і визначається розташування плями контакту на поверхні зубців.
- Не допущення інтерференції в точці контакту шляхом аналізу відношення кривизн зубчастих коліс. Забезпечення достатніх розмірів плями контакту.

Умову контакту поверхонь зубців Σ_1 і Σ_2 в розрахунковій точці можна представити наступними рівняннями [20]:

$$r^{(1)} = r^{(2)}; \quad e^{(1)} = e^{(2)} \quad (2.5)$$

тут, $r^{(k)}$ і $e^{(k)}$ ($k = 1,2$) – радіус-вектор і орт нормалі поверхні в деякій нерухомій системі S_0 (Рис.2.2). Площина $y=0$ містить осі z_1 і z_2 коліс.

Розрахунок наладок верстату при нарізанні конічної шестерні з круговим зубом для забезпечення необхідного контакту в розрахунковій точці полягає в наступному.

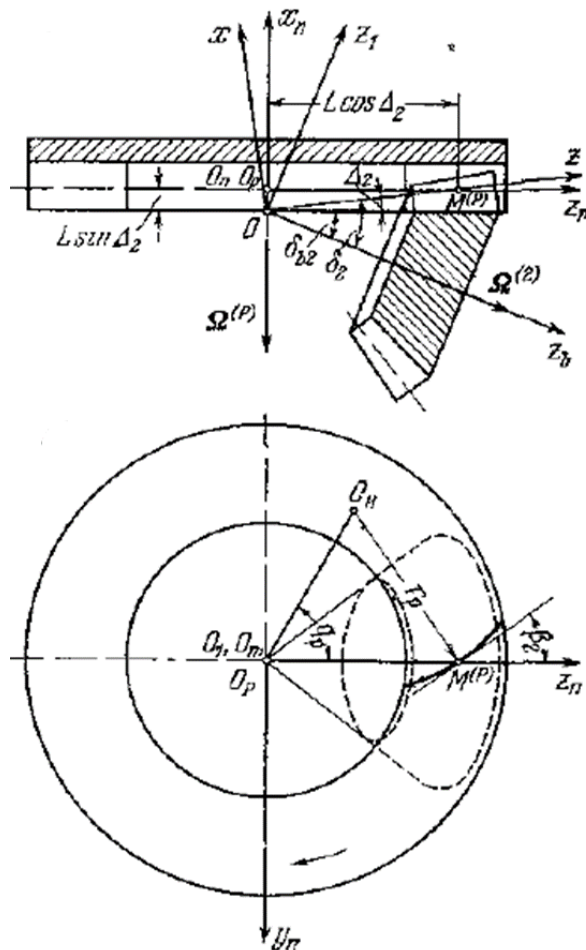


Рис 2.2. Нерухома система координат S

Вводиться нерухома система координат S. Розраховуються стовбці-матриці радіуса вектору $r^{(p)}$ і орта нормалі $e^{(p)}$ твірної поверхні P за формулами:

$$r^{(p)} = M_{0n} r_n^{(p)}, \quad e^{(p)} = L_{0n} e_n^{(p)} \quad (2.6)$$

Для визначення матриці M_{0n} користуємось наступним рівнянням:

$$M_{0n} = \begin{vmatrix} \cos \Delta_2 & 0 & -\sin \Delta_2 & L \sin \Delta_2 \cos \Delta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \Delta_2 & 0 & \cos \Delta_2 & L \sin^2 \Delta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

Для визначення матриці L_{0n} потрібно в (3.3) закреслити останній стовпчик і рядок.

Визначення радіуса-вектору і орту нормалі в нерухомій системі координат S здійснюється:

$$r_n = \begin{vmatrix} r_p \operatorname{ctg} \alpha_p - u_p \operatorname{ctg} \alpha_p \\ u_p \sin \alpha_p \sin \tau_p - b_p \sin(q_p - \psi_p) \\ u_p \sin \alpha_p \sin \tau_p + b_p \cos(q_p - \psi_p) \end{vmatrix}, \quad e_n = \begin{vmatrix} \sin \alpha_p \\ \cos \alpha_p \sin \tau_p \\ \cos \alpha_p \cos \tau_p \end{vmatrix} \quad (2.8)$$

Після відповідних перетворень отримаємо наступні вирази для розрахунку значень $r^{(p)}$ і $e^{(p)}$:

$$\begin{cases} x^{(p)} = (r_p \operatorname{ctg} \alpha_p - u_p \cos \alpha_p) \cos \Delta_2 - [u_p \sin \alpha_p \cos \tau_p + b_p \cos(q_p - \psi_p)] \sin \Delta_2 + \\ \quad + L \sin \Delta_2 \cos \Delta_2 \\ y^{(p)} = u_p \sin \alpha_p \sin \tau_p - b_p \sin(q_p - \psi_p) \\ z^{(p)} = (r_p \operatorname{ctg} \alpha_p - u_p \cos \alpha_p) \sin \Delta_2 + [u_p \sin \alpha_p \cos \tau_p + b_p \cos(q_p - \psi_p)] \cos \Delta_2 + \\ \quad + L \sin^2 \Delta_2 \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\begin{cases} e_x^{(p)} = \sin \alpha_p \cos \Delta_2 - \cos \alpha_p \cos \tau_p \sin \Delta_2 \\ e_y^{(p)} = \cos \alpha_p \sin \tau_p \\ e_z^{(p)} = \sin \alpha_p \sin \Delta_2 + \cos \alpha_p \cos \tau_p \cos \Delta_2 \end{cases} \quad (2.10)$$

В наведених вище система рівнянь $\tau_p = \nu_p - q_p + \psi_p$. Δ_2 – кут ніжки зубців. Так як робоча сторона об'єкту дослідження, кінчної зубчастої шестерні з круговим зубом, є ввігнутою, то в рівняннях (2.9) і (2.10) потрібно прийняти $\alpha_p = 180^\circ - \alpha_1$, де α_1 – кут профілю різців при обробки випуклої сторони шестерні.

Розглядаючи точку $M^{(P)}$ в нерухомій системі координат $S (0; 0; L)$, що належить осі z , є моментальною віссю обертання твірного колеса P і шестерні при передатному відношенні

$$i_{P2} = \frac{\Omega^{(P)}}{\Omega^{(2)}} = \frac{\sin \delta_2}{\cos \Delta_2} \quad (2.11)$$

З цього випливає, що точка $M^{(P)}$ є точкою контакту поверхонь P і Σ_2 .

2.4. Методичні рекомендації щодо усунення похибок розміщення плями контакту зубчастого зачеплення з круговим зубом

Правильність зачеплення зубчастої конічної пари з круговим зубом визначають за величиною показників величини і розміщення зони дотику або плями контакту по довжині і по висоті зубців. Ці показники мають і другу назву, а саме: по довжині – поздовжній дотик, а по висоті – профільний дотик.[17,26]

По довжині зуба пляма контакту повинна становити приблизно 0,5-0,7 довжини зуба, а по профілю – 0,6 висоти (Рис.2.3) і розташовуватись симетрично відносно початково кола у циліндричних і черв'ячних передачах та симетрично відносно утворюючої початкового конуса у конічних передачах, в тому числі з круговим профілем зуба.

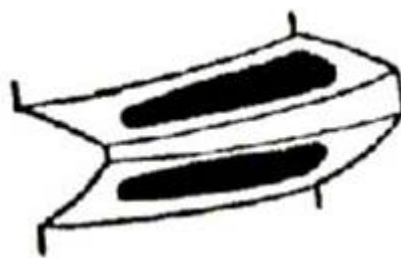


Рисунок 2.3 Пляма контакту з невеликим відривом від зовнішнього та внутрішнього торця та рівномірною відстанню від головки та ніжки зуба

На обкатному верстаті проводять випробовування на шум вводючи в зачеплення з зубчастим колесом еталонну шестерню і обертаючи під навантаженням, яке створюється шляхом натискання на ручний тормоз. При

такому виді контролю допускаються лише незначні прояви однотонного шуму, сила якого залежить від степені точності шестерні.

Факторами, що характеризують розміщення плями контакту і характер шуму при обкатці при контролі пари зубчастого зачеплення, є:

1. Точність зубчастого зачеплення;
2. Якість обробки бічних поверхонь зубців;
3. Величина робочих поверхонь зони дотику на поверхні зубців.

Загалом до похибок розміщення плями контакту, що виявляються після проведення контрольних робіт з перевірки якості зачеплення зубчастої конічної пари з круговим зубом, можна віднести:

- А. неправильне розміщення плями контакту по довжині зуба;
- В. неправильне розміщення плями контакту по висоті зуба;
- С. неправильний діагональний напрям плями контакту на поверхні зуба;
- Д. невірна ширина плями контакту;
- Е. невірна довжина плями контакту.

А. До похибок неправильного розміщення плями контакту по довжині зуба відносяться зони дотику, що розміщені біля внутрішнього (*a*) або зовнішнього (*б*) торця зуба (Рис.2.4).



Рис.2.4 Пляма контакту біля внутрішнього (*a*) і зовнішнього (*б*) торця зуба

Рекомендація щодо виправлення похибки розміщення плями контакту по довжині зуба:

- 1) Змінити кут спіралі верстату.
- 2) Для випуклої сторони зуба шестерні збільшити радіальну установку або кут ексцентрика Δe (для ввігнутої сторони - зменшити):

$$\Delta e = -\Delta\beta_n \cdot \frac{C \cdot R \cdot \sin q}{3440 \cdot \cos\left(\frac{e_2}{2}\right)} \quad (2.12)$$

$\Delta\beta_n$ – найменша величина зміни нахилу лінії зуба;

C – постійна верстату;

R – середня конусна відстань;

q – кут базової установки різцевої головки на верстаті.

Виправлення плями контакту по довжині зуба здійснюється зміною двох установок.

В таблиці 2.2 представлені способи здійснення даних установок, які можуть бути застосовані для зубчастих конічних коліс з круговим зубом з лівим напрямом спіралі:

Таблиця 2.2 Виправлення похибок розміщення плями контакту по довжині зуба для коліс з лівим напрямом спіралі зубців

Установка верстата	Пляма контакту біля внутрішнього торця		Пляма контакту біля зовнішнього торця	
	Сторона поверхні зуба			
	Ввігнута	Випукла	Ввігнута	Випукла
Радіальна установка або кут ексцентрика	+	-	-	+
Кут люльки верстата	-	+	-	-

При аналізі зубчастої конічної передачі з круговим зубом і правим напрямом спіралі, то виправлення установок верстату потрібно виконати обернено-пропорційно до наведеної вище таблиці 2.2.

Б. До похибок неправильного розміщення плями контакту по висоті профілю зуба шестерні відносяться: зона дотику біля ніжки зуба колеса (біля головки зуба шестерні) (а); зона дотику біля ніжки зуба шестерні (біля головки зуба колеса) (б) (Рис.2.5).



Рис.2.5. Пляма контакту біля ніжки (а) та біля головки (б) зуба колеса

Таблиця 2.3. Виправлення похибок розміщення плями контакту по довжині зуба для коліс з лівим напрямом спіралі зубців

Установка верстата	Пляма контакту біля ніжки зуба колеса	Пляма контакту біля ніжки зуба шестерні
Розміщення заготовки	Приблизити до центру верстату. Тим самим, зменшити монтажну відстань.	Віддалити від центру верстату. Тим самим, збільшити монтажну відстань.
Розміщення столу	Змістити вперед	Змістити назад

Рекомендації щодо виправлення похибки розміщення плями контакту по довжині зуба:

- 1) Змістити зону дотику на головку (на ніжку) зуба шестерні;
- 2) Задати розрахункову величину зміни середньої ділильної конусної відстані:

$$\Delta R = 0,002R \quad (2.13)$$

- 3) Поправка осьової установки верстату:

$$\Delta A = \frac{\Delta R}{\cos \delta_j} \quad (2.14)$$

- 4) Внести поправки до установки столу:

$$\Delta B = -\Delta R \cdot \operatorname{tg} \delta_j \quad (2.15)$$

- 5) Задати величину і напрям зміни кута ексцентрика на верстаті у хвилинах згідно розрахункової формули:

$$\alpha_{\beta R} = \operatorname{ctg} q - 0,5 \sin \beta_n,$$

$$\Delta e = \Delta R \cdot C \cdot \frac{\alpha_{\beta R} \cdot \sin q}{\cos\left(\frac{e_2}{2}\right)} \quad (2.16)$$

С. До похибок неправильного діагонального напрямку плями контакту відносяться: «нормальна» діагональність зони дотику на ввігнутій поверхні зуба (а); «обернена» діагональність зони дотику на випуклій поверхні зуба (б). (Рис.2.6)



Рис.2.6. «Нормальна» (а) та «обернена» (б) діагональність плями контакту
Регулювання діагональності напрямку плями контакту здійснюється:

1) Зміною гіподного зміщення (правий напрям лінії зуба вниз, лівий - вверх):

$$\Delta E = -0,01R \quad (2.17)$$

2) Поправкою осьової установки верстату:

$$\Delta A = -\Delta E \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta_n}{\cos \delta_j} \quad (2.18)$$

3) Поправкою установки столу:

$$\Delta B = \Delta E \cdot \operatorname{tg} \beta_n \cdot \operatorname{tg} \delta_j \quad (2.19)$$

4) Зміною кута ексцентрика на верстаті:

$$\Delta e = \Delta E \cdot C \cdot \frac{\sin(q - \beta_n)}{\cos \beta_n \cdot \cos\left(\frac{e_2}{2}\right)} \quad (2.20)$$

Незалежно від напрямку спіралі зуба при перекосі у всередину пляма контакту завжди розташовується від головки переднього торця зуба до ніжки його внутрішнього торця на увігнутій стороні зуба, на опуклій стороні - навпаки.

При перекосі назовні пляма контакту розташовується від ніжки внутрішнього торця до головки зовнішнього торця зуба на увігнутій стороні зуба, на опуклій стороні - навпаки.

Виправлення діагонального напрямку розміщення плями контакту здійснюється зміною п'яти установок верстата (Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4. Виправлення похибок діагонального напрямку розміщення плями контакту

Установка верстата	Діагональ напрямку			
	«Нормальна» (рис.2.6 а)		«Обернена» (рис.2.6 б)	
	Сторона поверхні зуба			
	Ввігнута	Випукла	Ввігнута	Випукла
Відношення обкату	-	-	+	+
Радіальна установка або кут ексцентрика	-	-	+	+
Кут люльки верстата	-	-	+	+
Розташування столу	Назад	Вперед	Вперед	Назад
Розташування заготовки	Вперед	Назад	Назад	Вперед

Знак «+» відповідає за зміну значення відповідного параметру наладки верстату в сторону збільшення, а знак «-» - в сторону зменшення.

Д. До похибок неправильної ширини розміщення плями контакту відносять: вузьку зону дотику; широку зону дотику; зону дотику з розривом по висоті зуба (Рис.2.7).

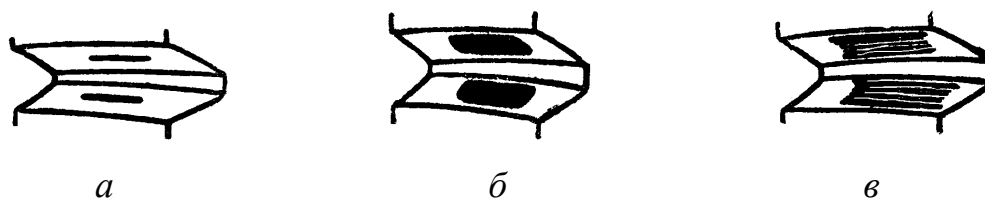


Рис.2.7. Вузька (а), широка (б) та з розривом по висоті (в) пляма контакту

Рекомендаціями для усунення похибок розміщення ширини плями контакту по висоті профілю зуба можуть бути:

1) змінити кривизну профілю випуклої сторони шестерні;

2) зміна гіпоїдного зміщення (правий напрям лінії зуба вниз, лівий – ввверх):

$$\Delta E = 0,02R \quad (2.21)$$

3)здійснити поправку установки столу:

$$\Delta B = -\Delta A \cdot \sin \delta_j \quad (2.22)$$

4)здійснити поправку осьової установки:

$$\Delta A = -\Delta E \cdot \left(\operatorname{tg} \beta_n - \frac{\operatorname{ctg} q}{\cos^2 \beta_n} \right) \frac{1}{\cos \delta_j} \quad (2.23)$$

5)змінюю кута ексцентрика на верстаті:

$$\Delta e = C \cdot \frac{\Delta E \cdot \sin q + \Delta A \cdot \cos \delta_j \cdot \cos q}{\cos\left(\frac{e_2}{2}\right)} \quad (2.24)$$

Виправлення розміщення плями контакту можна здійснити шляхом зміни чотирьох установок верстата (Таблиця 2.5.):

Таблиця 2.5. Виправлення похибок розміщення ширини плями контакту по висоті профілю зуба

Установка верстата	Вузький контакт (рис.2.7 а)		Широкий контакт (рис.2.7 б)	
	Сторона поверхні зуба			
	Ввігнута	Випукла	Ввігнута	Випукла
Гіпоїдне зміщення столу	+	+	-	-
Радіальна установка або кут ексцентрика	+	+	-	-
Кут люльки верстата	-	+	+	-
Відношення об'єкта	+	-	-	+

Знак «+» відповідає за зміну значення відповідного параметру наладки верстату в сторону збільшення, а знак «-» - в сторону зменшення.

Збільшення гіпоїдного зміщення вниз є доцільним для зубчастого колеса з лівою спіраллю зубців, а вгору – для зубців з правою спіраллю. При зменшенні значення гіпоїдного зміщення все відбувається навпаки.

Е. До похибок неправильної довжини розміщення плями контакту відносять: коротку зону дотику; довга зона дотику; зона дотику з розривом по довжині зуба. (Рис.2.8)

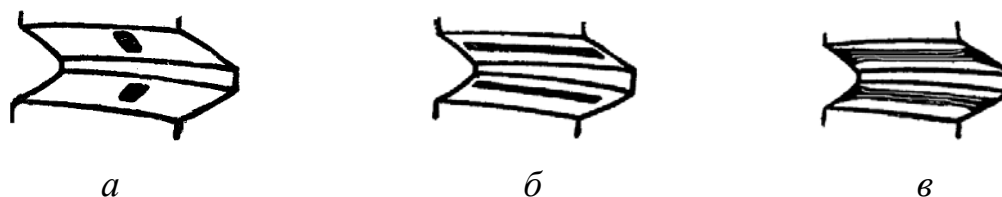


Рис.2.8. Коротка (а), довга (б) та з розривом по довжині (в) пляма контакту

Рекомендаціями щодо усунення похибки розміщення плями контакту по довжині поверхні зуба є:

1) зміна довжини плями контакту приблизно на 20 % (при короткій зоні дотику (рис.2.8 а));

2) зміна радіусу односторонньої зубонарізної головки:

$$\Delta r_0 = 0,04 \cdot m_n \cdot \left(\frac{r_0 \cdot \cos \beta_n}{b} \right)^2 \quad (2.24)$$

3) зміна кута ексцентрика на верстаті, хв:

$$\Delta e = \Delta r_0 \cdot C \cdot \frac{\sin(q - \beta_n)}{\cos\left(\frac{e_2}{2}\right)} \quad (2.25)$$

Для збільшення довжини зони контакту на увігнутій стороні зуба слід зменшити діаметр різцевої головки, а на опуклій стороні зуба - діаметр головки збільшити. Для зменшення довжини зони контакту зазначені зміни слід проводити в зворотному напрямку. При збільшенні діаметра різцевої головки змінюються дві установки верстата.

Виправлення розміщення довжини плями контакту по висоті профілю зуба можна здійснити шляхом двох змін установок верстата (Таблиця 2.6):

Таблиця 2.6. Виправлення похибок розміщення довжини плями контакту по висоті профілю зуба

Установка верстата	Права спіраль		Ліва спіраль	
	Сторона поверхні зуба			
	Ввігнута	Випукла	Ввігнута	Випукла
Кут люльки верстата	+	+	+	+
Радіальна установка або кут ексцентрика	+	+	-	-

Знак «+» відповідає за зміну значення відповідного параметру наладки верстату в сторону збільшення, а знак «-» - в сторону зменшення.

Вище наведені способи установки верстату змінюються в зворотному напрямку, в разі зменшення значення діаметру різцевої головки.

Висновки до розділу

В розділі представлено методичне забезпечення для розрахунку геометричних параметрів конічного зубчастого зачеплення з круговим зубом на етапі проектування для забезпечення вимогам щодо експлуатаційних характеристик (розділ 2.2).

Синтез конічних зубчастих передач з круговим зубом передбачає забезпечення початкового точкового контакту поверхонь зубців. Похідна передатного відношення коліс по куту повороту в заданій розрахунковій точці повинна дорівнювати нулеві напрям плями контакту визначається шляхом аналізу напрямку дотичної до робочої лінії в розрахунковій точці.

Методичне забезпечення, що наведене в розділі 2.4 є необхідним для створення програми рекомендацій виправлення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом.

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МИТТЄВОЇ ПЛОЩАДКИ КОНТАКТУ І НАПРЯМУ ПЛЯМИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА З КРУГОВИМ ЗУБОМ

3.1 Розрахунок миттєвої площадки контакту зубчастої конічної передачі з круговим зубом

Поверхні зубців зубчастої конічної передачі дотикаються одна з одною в певній вибраній точці контакту. Під час зачеплення в результаті пружних деформацій, що виникають на поверхнях зубців, поверхні зубчастого колеса і шестерні починають контактувати по деякій площадці, яка утворюється як результат щільного розміщення точок контакту вздовж робочої лінії. Дана площадка контакту називається *плямою контакту*.

Робоча лінія – це сукупність всіх точок на бічній поверхні одного зубчастого колеса в яких воно дотикається із спряженою бічною поверхнею другого зубчастого колеса перебуваючи в зачепленні. Робочі бічні поверхні зубчастого колеса і шестерні позначаються Σ_1 і Σ_2 відповідно.

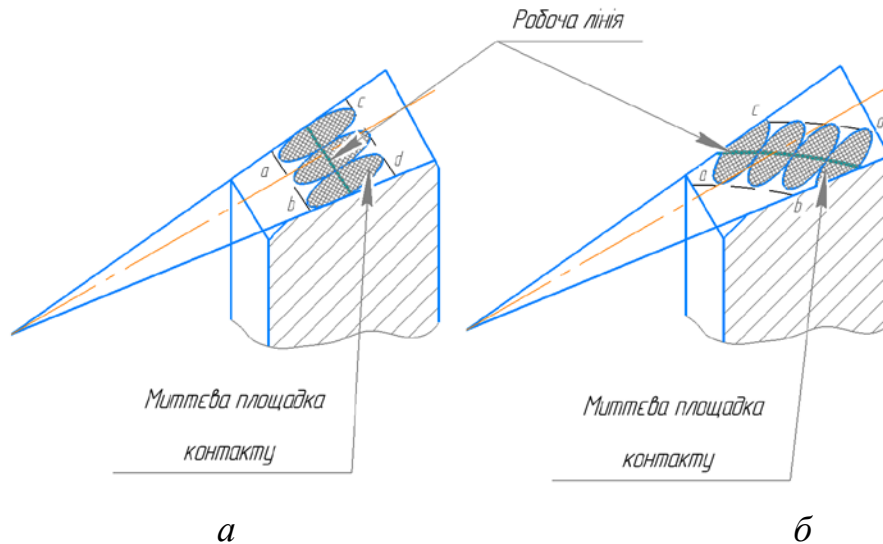


Рисунок 3.1. Розміщення миттєвої площадки контакту на поверхні зубців
На рисунку 1 зображено поверхні зубці конічного зубчастого колеса з круговим зубом із вказаними: робочою лінією контакту, миттєвою площадкою контакту та сумарною плямою контакту зубчастого зачеплення у вигляді контуру *abcd*.

Напрямок робочої лінії значним чином визначає форму і напрям сумарної плями контакту зубчастого зачеплення, в той час як розміри миттєвих площадок контакту впливають на її величину.

Форма і розташування плями контакту зображеної на Рис.3.1.б має діагональний вид і є небажаною, оскільки утворилась внаслідок зміни відстані між силою тиску та опорами зубчастого колеса в процесі зачеплення зубчастої конічної пари.

Вирішення задачі щодо визначення форми і розмірів миттєвої площадки контакту можна здійснити в результаті розв'язання контактної задачі Герца [20]. Дана задача вирішує проблему стиску двох пружних тіл, що контактують в точці.

Вихідними даними для вирішення даної задачі є:

1. відомі головні радіуси кривизни обох поверхонь, що дотикаються між собою Σ_1 і Σ_2 ;
2. відомий кут, що утворюється головним напрямом на поверхні Σ_1 з головним напрямом на поверхні Σ_2 ;
3. задані величина прикладеного навантаження та сталі величини пружності заданих матеріалів тіл.

Поверхні тіл в околі початкової точки контакту не перетинаються. Допускається, що сили тиску нормальні до поверхонь дотику, деформації в зоні контакту є тільки пружними такими, що підпорядковуються закону Гука, площадка контакту зовсім мала в порівнянні з поверхнями, що дотикаються. В результаті вирішення контактної задачі визначаються:

1. зближення тіл, що викликане їх деформацією;
2. величина і розподіл тиску, що передається через площадку контакту;
3. форма і розміри площадки контакту.

В даній роботі обмежимося визначенням розмірів і форми площадки контакту, вважаючи наближення і пружні переміщення відомими.

Тоді задача щодо визначення площадки контакту є чисто геометричною задачею. Відомо, що при заданні радіусів головок різців для нарізання конічних коліс з круговим зубом, задаються величини, так званого, відводу контактуючих поверхонь в межах точки контакту. Величина відводу забезпечує зазор між поверхнями, який після пружних деформацій стане рівним нулю в точках, що належать контуру пружної площадки контакту.

В теорії пружності доказано, що якщо в рівнянні (3.1) для відхилення від дотичної площини обмежитись тільки членами другого порядку, проекція площадки контакту на дотичну площину є еліпсом.

Аналітичне розміщення площадки контакту наведено в роботі [20].

$$l = \frac{d^2 r}{ds^2} e \frac{(\Delta s)^2}{2!} + \frac{d^3 r}{ds^3} e \frac{(\Delta s)^3}{3!} + \dots \quad (3.1)$$

Півосями даного еліпса a і b якого слугують η і ζ . Півосі визначають наступними рівняннями:

$$a = \sqrt{\left| \frac{\delta}{A} \right|} \quad ; \quad b = \sqrt{\left| \frac{\delta}{B} \right|} \quad (3.2)$$

δ – величина зміщення поверхонь колеса і шестерні після деформації внаслідок навантаження.

Коефіцієнти A і B визначаються за наступними формулами:

$$A = \frac{1}{4} \left(x_{\Sigma}^{(1)} - x_{\Sigma}^{(2)} - \sqrt{g_1^2 - 2g_1g_2 \cos 2\sigma + g_2^2} \right) \quad (3.3)$$

$$B = \frac{1}{4} \left(x_{\Sigma}^{(1)} - x_{\Sigma}^{(2)} + \sqrt{g_1^2 - 2g_1g_2 \cos 2\sigma + g_2^2} \right), \quad (3.4)$$

де $x_{\Sigma}^{(i)} = x_1^{(i)} + x_2^{(i)}$ і $g_i = x_1^{(i)} - x_2^{(i)}$ ($i = 1, 2$).

Піввісь b і головний напрям з кривизною $x_1^{(1)}$ поверхні Σ_1 утворюють кут σ_1 , що знаходиться шляхом вирішення рівняння:

$$\operatorname{tg} 2\sigma_1 = \frac{g_2 \sin 2\sigma}{g_1 - \cos 2\sigma} \quad (3.5)$$

σ – кут між головними напрямими с величинами кривизни $\chi_1^{(1)}$ і $\chi_2^{(2)}$:

$$\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 \quad (3.6)$$

Напрями осей еліпса співпадають з напрямими, що визначають найбільший і найменший зазори між Σ_1 і Σ_2 на відстані r від точки контакту [20].

3.2.Визначення напрямку сумарної плями контакту зубчастого зачеплення

Сукупність миттєвих площадок контакту між спряженими поверхнями конічних зубчастих коліс з круговим зубом розміщених вздовж робочої лінії називають сумарною плямою контакту.

Напрямок сумарної плями контакту в розрахунковій точці можна здійснити за допомогою визначення кута ν , що утворюється між дотичною проведеною до робочої лінії і середньою лінією зуба [20].

Якщо кут ν значно відрізняється від значення 90° , контакт поверхонь є діагональним (рис.3.2), в той час як при $\nu \approx 180^\circ$, або $\nu \approx 0^\circ$ - контакт поверхонь має напрям вздовж осі лінії зубця (рис.3.3).

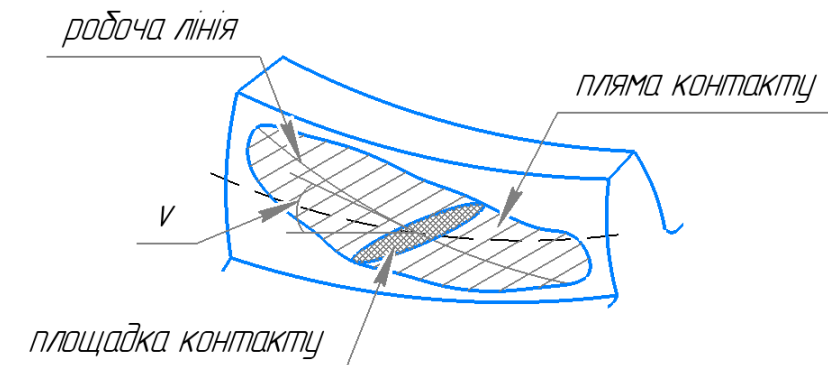


Рис.3.2 Кут напрямку плями контакту приблизно 45°

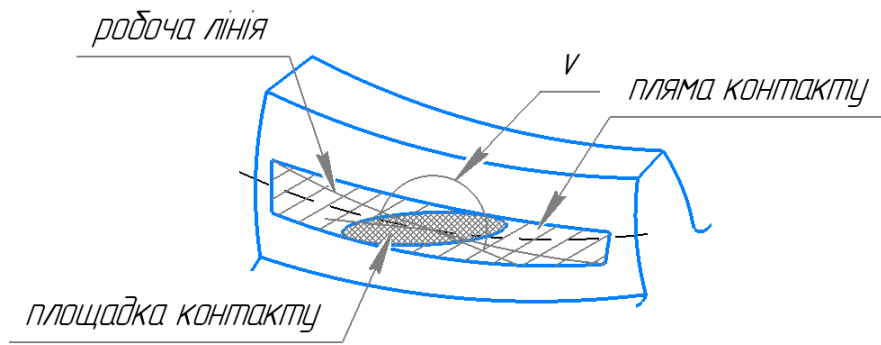


Рис.3.3 Кут напрямку плями контакту приблизно 180° (0°)

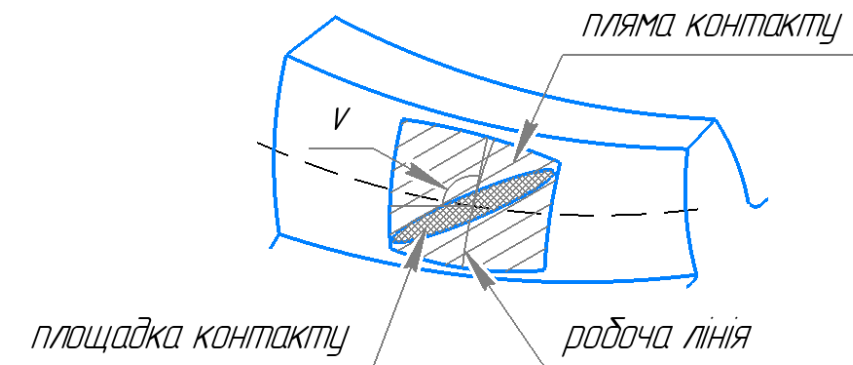


Рис.3.4 Кут напрямку плями контакту приблизно 90°

Дотична до робочої лінії на поверхні Σ_i визначається вектором $v_r^{(i)}$ ($i=1,2$) переміщення точки контакту вздовж цієї поверхні. Для проведення подальших математичних розрахунків позначимо одиничний вектор дотичної до робочої лінії як t .

Середня лінія зубця знаходиться як лінія перетину бічної поверхні зуба з початковим конусом. Дотична до цієї лінії повинна належати дотичній площині Π_1 до поверхні зуба i , крім того, належати площині Π_2 дотичній до поверхні початкового конусу. В розрахунковій точці контакту M площина Π_2 співпадає з площиною $x=0$.

Вектор t можна визначити шляхом вирішення наступних рівнянь:

$$e^{(p)}t = 0; \quad ti = 0 \quad (3.7)$$

Як результат отримаємо наступні математичні вирази:

$$t_x = 0; \quad t_y = -\frac{e_z^{(p)}}{\sqrt{1 - e_x^{(p)2}}}; \quad t_z = -\frac{e_y^{(p)}}{\sqrt{1 - e_x^{(p)2}}} \quad (3.8)$$

$e^{(p)}$ – орт нормалі у вибраній системі координат для розгляду зубчастого зачеплення.

Кут ν між векторами $v_r^{(i)}$ ($i=1,2$) і t визначається як:

$$\cos \nu = \frac{v_r^{(i)} t}{|v_r^{(i)}|} \quad (3.9)$$

В розрахунковій точці контакту, що належить моментальній осі обертання зубчастих коліс, $v_r^{(1)} = v_r^{(2)}$.

На рисунках 3.2, 3.3, 3.4 зображені три види розміщення дотичних до робочих ліній і середньої лінії зубців, що виникають при розрахунку установок виробничої поверхні F :

- a) кут ν значно відрізняється від значення 90° , контакт поверхонь є діагональним (Рис.3.2);
- b) кут ν практично рівний значенню 90° , пляма контакту має перпендикулярний напрям щодо середньої лінії зуба (Рис.3.4);
- c) кут ν практично рівний значенню 180° (або 0°), пляма контакту розміщена вздовж середньої лінії зуба (Рис.3.3);

Висновки до розділу

Даний розділ містить необхідне математичне забезпечення та опис алгоритму визначення миттєвої площадки контакту та сумарної плями контакту, що утворюється при зачепленні зубчастої кінчної пари з круговим зубом.

Миттєва площадка контакту є результатом пружних деформацій, що виникають на поверхнях зубців, поверхні зубчастого колеса і шестерні при контакті. Сумарна пляма контакту утворюється як результат щільного розміщення точок контакту вздовж робочої лінії.

РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛЯМИ КОНТАКТУ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ З КРУГОВИМ ЗУБОМ

4.1. Програма для визначення миттєвої площадки контакту

Згідно методики (розділ 3.1) розроблено програму для визначення геометричних розмірів миттєвої площадки контакту, що утворюється при зубчастому зачепленні конічної пари з круговим профілем зуба.

Програма написана на мові програмування Python 3.6 із використанням набору бібліотек PyQt5 для створення графічного інтерфейсу.

Виконання розрахунків геометричних розмірів миттєвої площадки контакту здійснюється при дотриманні наступного алгоритму дій.

Для початку, запускається вихідний файл програми під назвою «Program.py» в папці проекту. Після запуску відкривається головне вікно програми представлене на рисунку 4.1:

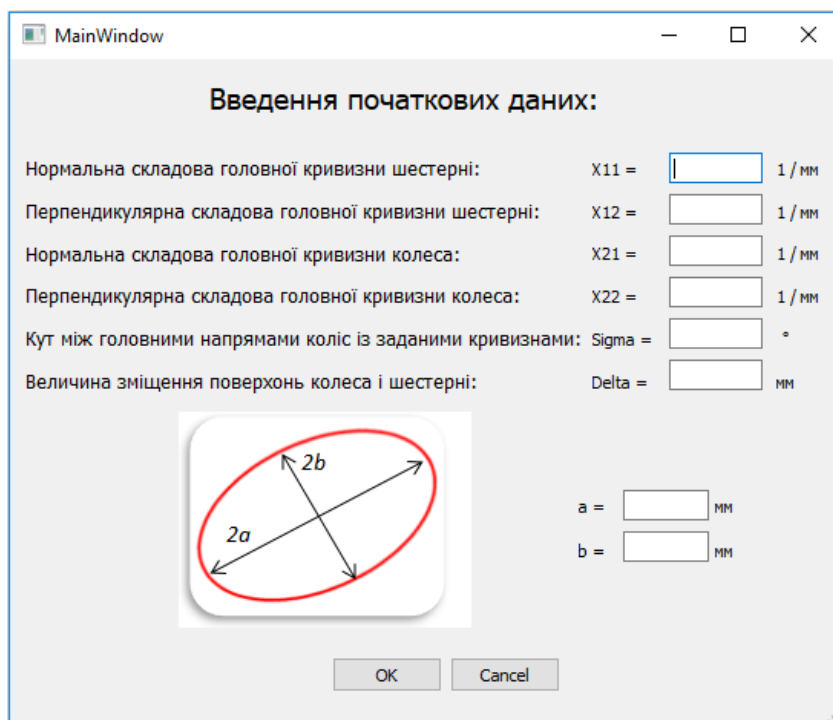


Рис.4.1. Стартове вікно програми після її запуску

Здійснюємо введення вхідних даних (Рис.4.2), що є геометричними параметрами та характеристиками зубчастого колеса і шестерні та їх зачеплення:

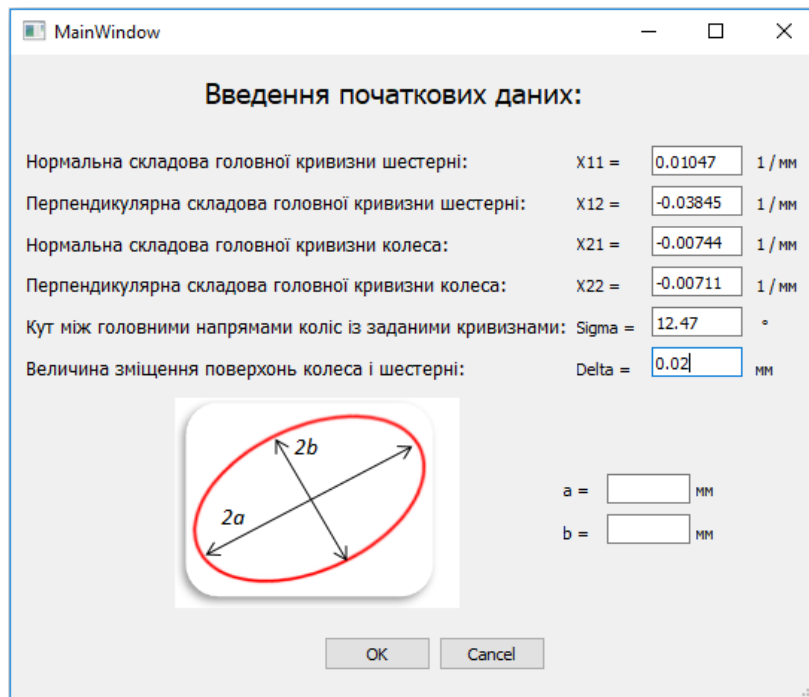


Рис.4.2. Введення початкових даних

Після введення початкових даних натискаємо кнопку «ОК» і, таким чином, розраховуємо півосі еліпса a і b (Рис.4.3). Даний еліпс є геометричним зображенням миттєвої площадки контакту зубчастого конічного зачеплення з круговим зубом з осями рівними за значенням $2a$ і $2b$.

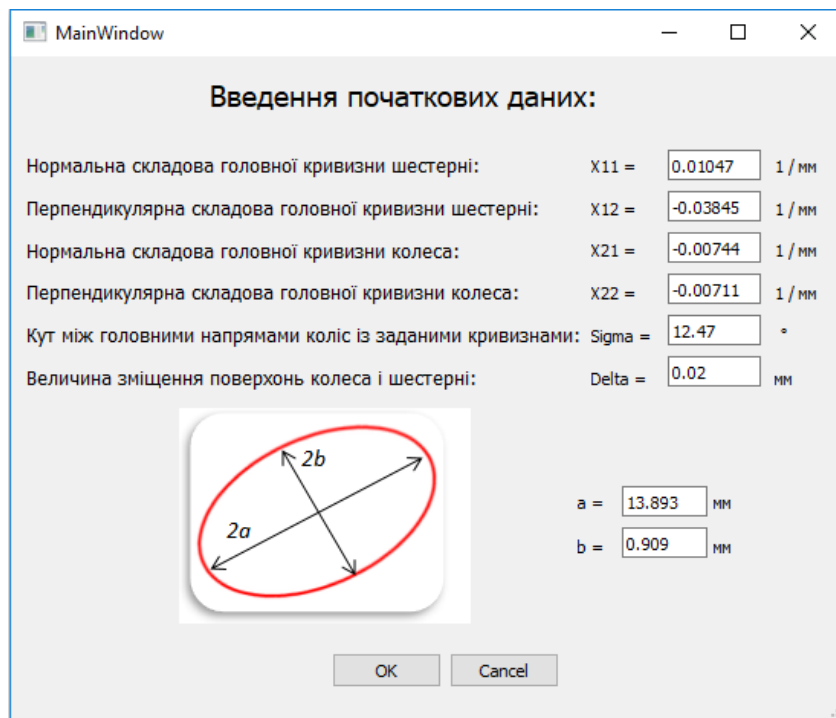


Рис.4.3 Результати виконання програми

4.2. Програмна реалізація системи рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту

На основі методики [2.5] розроблено програму, яка являє собою систему рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту на бічних поверхнях зубців конічного зубчастого зачеплення з круговим зубом.

Стартове вікно програми представлено на рисунку 4.4:



Рис.4.4. Приклад стартового вікна програми

Користувачеві представлено 12 видів похибок розміщення плями контакту, які зображено на відповідних картинках (рис.4.4). При наведенні на одну з них виникає надпис, який є назвою даного виду похибки розміщення (Рис.4.5) .

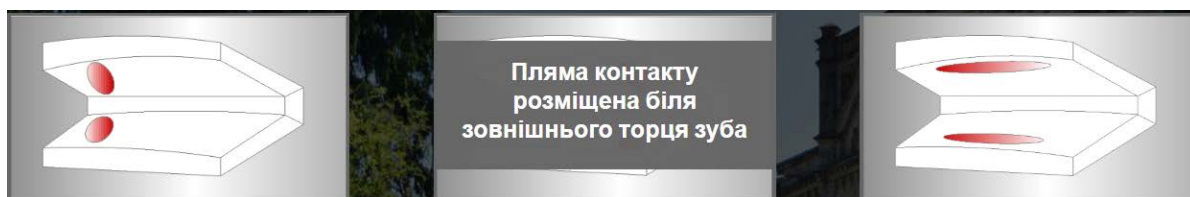


Рис.4.5. Типи похибки розміщення плями контакту

У випадку відповідності похибки на виробництві похибці зображеній у програмі користувач повинен натиснути на зображення. Саме зображення є посиланням на відповідний йому адрес в пам'яті програми. Тому, при натисканні відкриється нова вкладка програми, яка буде мати наступний вигляд (Рис.4.6):

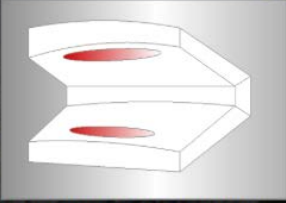
Похибка неправильного розміщення плями контакту по висоті профілю зуба

Даний тип похибки належить до похибок розміщення плями контакту по висоті профілю зуба.

Він є доволі небезпечним, оскільки напруження в цій зоні контакту будуть критичними, що може призвести до поломки зубців при експлуатації.

Задля її усунення рекомендовано заготовку розмістити ближче до центру верстату. Це сприятиме зменшенню можливої відстані.

Також, рекомендовано розміщення столу змістити вперед.



Пляма контакту біля ніжки зуба колеса (біля головки зуба шестерні)

Таблиця 3. Виправлення похибок розміщення плями контакту по довжині зуба для коліс з лівим напрямом спіралі зубців

Установка верстата	Пляма контакту біля ніжки зуба колеса	Пляма контакту біля ніжки зуба шестерні
Розміщення заготовки	Приблизити до центру верстату. Тим самим, зменшити монтажну відстань.	Віддалити від центру верстату. Тим самим, збільшити монтажну відстань.
Розміщення столу	Змістити вперед	Змістити назад

Переглянути формули для розрахунку наведених параметрів +

[Повернутись назад](#)

Рис.4.6 Сторінка програми після натиснення на обране зображення

На даній сторінці (рис.4.6) представлена вся необхідна інформація щодо визначення способів виправлення, або уникнення похибки розміщення плями контакту відповідної до номера зображення.

У верху програмного вікна написано вид похибки розміщення плями контакту. Для кожного типу похибки створена таблиця, в якій вказано зміни налагоджень верстату, які необхідно виконати, щоб уникнути даної похибки.

Формули, які будуть використовуватись при зміні цих налагоджень можна переглянути у впливаючому вікні після натискання відповідної кнопки, що розміщена під таблицею (Рис.4.8).

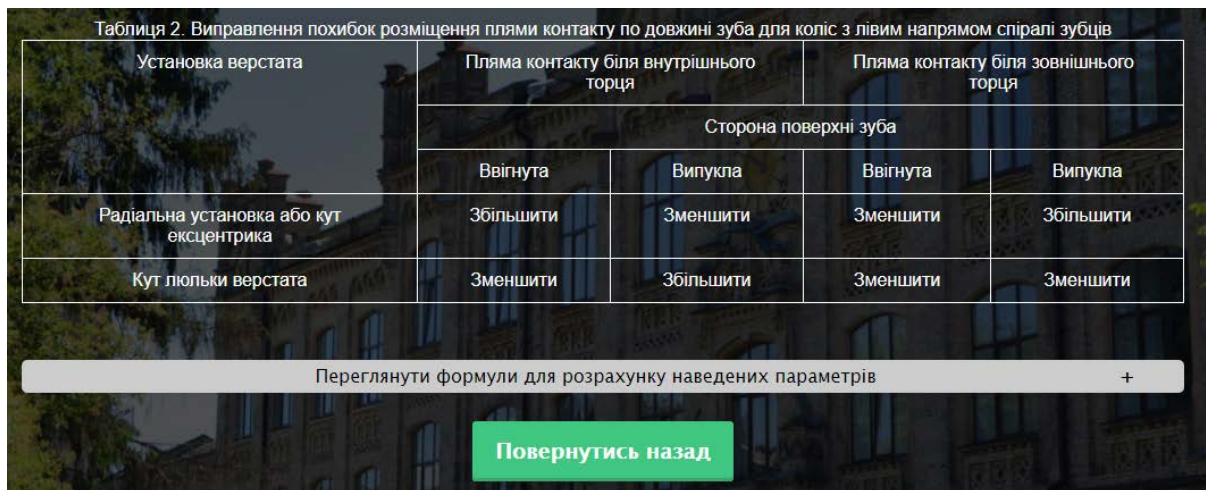


Рис.4.7 Вікно програми до натиснення кнопки перегляду формул

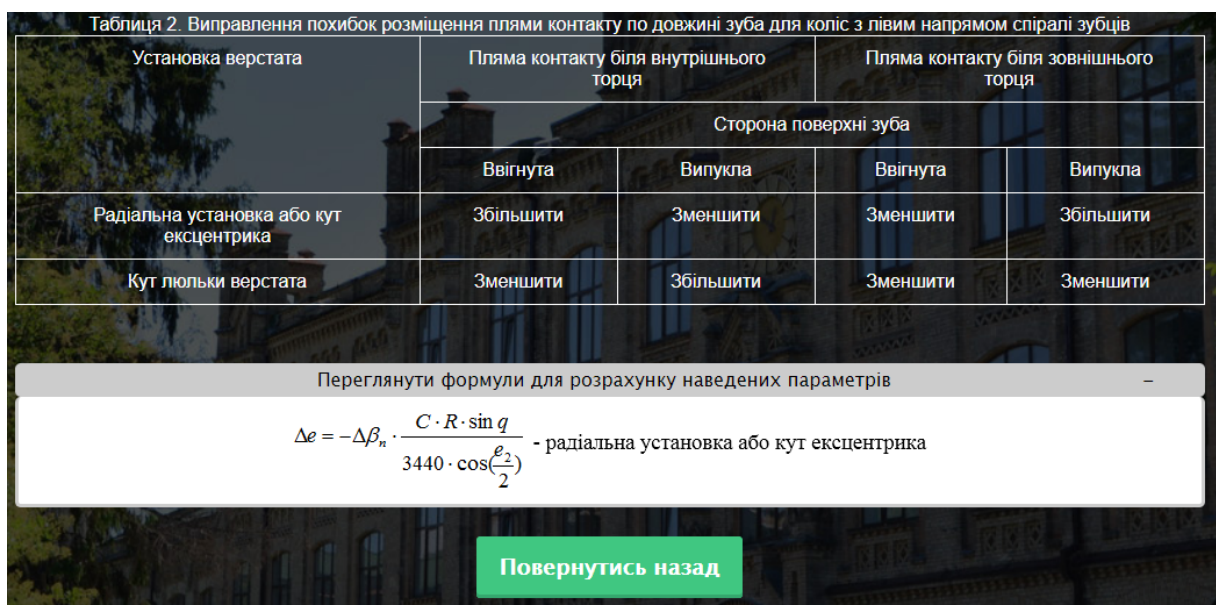


Рис.4.8 Вікно програми після натиснення кнопки перегляду формул

Після завершення діагностики обраного типу похибки розміщення плями контакту, можна повернутись на стартову сторінку для здійснення наступного контролю. За це відповідає кнопка «Повернутись назад» (Рис.4.9):

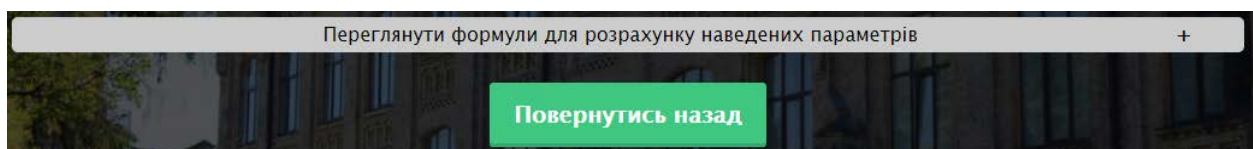


Рис.4.9. Кнопка для повернення на стартову сторінку вибору

4.3. Технологічна схема припрацювання зубців зубчастого колеса з круговим зубом для забезпечення необхідної плями контакту

Для підвищення несучої здатності та зниження рівня шуму при роботі редуктора, до складу якого входять зубчасті зачеплення з круговим зубом, здійснюють фінішну обробку на контрольно-обкатному верстаті шляхом притирання.

Розробка технологічної схеми припрацювання зубців зубчатих коліс з круговим зубом, для забезпечення високої точності розміщення плями контакту (близько 90% від площі поверхні зубця) була однією із основних завдань даного дослідження (Рис.4.10).

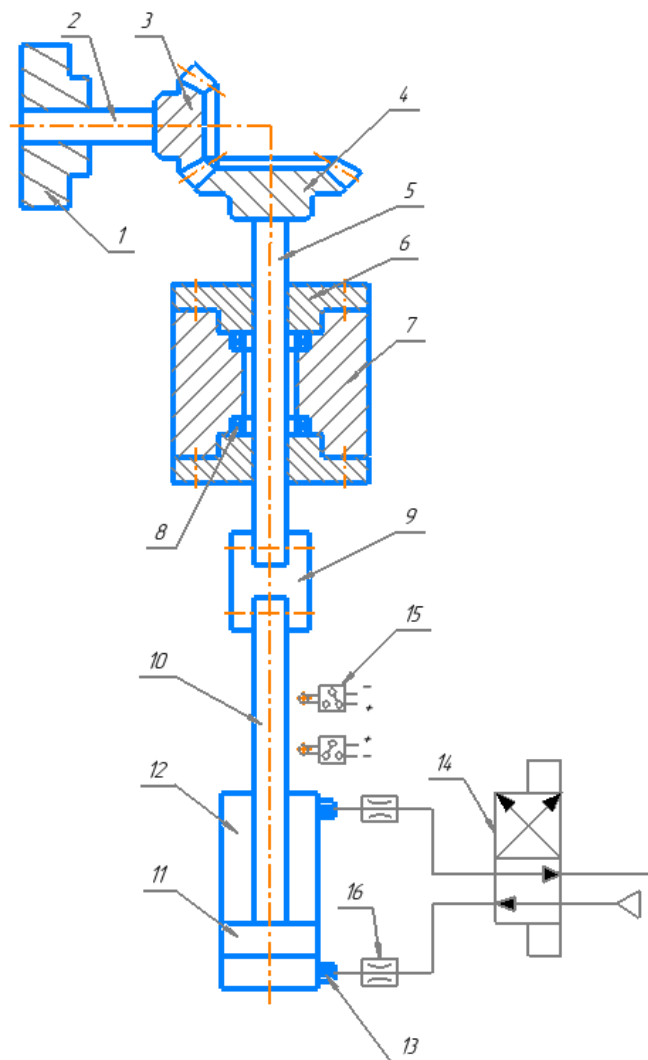


Рис.4.10 Технологічна схема припрацювання зубчастого колеса для забезпечення високих показників плями контакту

Для проведення фінішної обробки запропоновано розміщувати шестерню поз.3 на валу поз.2, закріпленому в патроні поз.1 і надавати їй обертовий рух в зачепленні з зубчастим колесом поз.4, яке в свою чергу буде слугувати інструментом для припрацювання зубців шестерні.

При цьому, зубчасте колесо обертатиметься на валу поз.5 з підшипниками поз.8, які розміщені в корпусі поз.7. До корпусу поз.7 симетрично з обох сторін кріпляться кришки поз.6 для надійної фіксації підшипників поз.8.

Зворотно-поступовий рух зубчастого колеса забезпечуватиметься пневмоциліндром поз.12 двосторонньої дії поршневого типу, тим самим забезпечуючи притирання по всій довжині зубців шестерні поз.3.

Висота переміщення штоку поз.10 пневмоциліндра поз.12 керуватиметься за допомогою двох електричних датчиків положення поз.15, які фіксуватимуть початкову і кінцеву координату переміщення передаючи сигнал про це на мікроконтролер.

Внаслідок сигналу, що передається на мікроконтролер, буде змінюватись напрям робочого ходу пневмоциліндра поз.12, за який відповідає розподільчий клапан поз.14.

Прямий хід пневмоциліндра, хід при якому рух штоку спричинений подачею стиснутого повітря в поршневу порожнину, буде здійснюватися від найнижчого положення штоку поз.10 до найвищого.

Швидкість подачі повітря може регулюватись дроселями поз.16. Шток поз.10 жорстко закріплений з валом поз.5 за допомогою муфти поз.9.

При досягненні найвищого, попередньо заданого, положення штоку спрацює розподільчий клапан і розпочнеться обернений хід пневмоциліндра, що спричинений подачею стиснутого повітря в штокову порожнину. Робочий хід штоку поз.10 визначатиметься з огляду на довжину поверхні зуба шестерні поз.3.

При проведенні припрацювання зубчастої пари необхідною складовою є подача абразиву в зону зачеплення.

В разі виконання даної операції згідно розробленої технологічної схеми (рис.4.10) рекомендованим є використання абразивної пасти КТ (порошку карбиду титану).

На початку обробки доцільно використовувати зерно (60...40 мкм), а на фінішній операції замінити його на більш дрібне (6...4 мкм).

Для отримання відбитка плями контакту бічні поверхні зубців конічного колеса потрібно змастити тонким шаром фарби (барвником з невеликою кількістю рідкого мінерального мастила) (Рис.4.11).



Рис.4.11 Конічна шестерня з плямою контакту

По закінченню циклу припрацювання шестерні з круговим зубом, виконується контроль величини плями контакту.

Висновки до розділу

Створено програмний продукт, яка являє собою систему рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту на бічних поверхнях зубців конічного зубчастого зачеплення з круговим зубом.

Розроблено технологічна схему припрацювання зубчастих коліс для забезпечення високих показників плями контакту.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАСТИХ КОНІЧНИХ ЗАЧЕПЛЕНЬ З КРУГОВИМ ЗУБОМ»

5.1. Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив розміщення плями контакту на експлуатаційні характеристики зубчастого зачеплення з круговим зубом було розроблено систему рекомендацій щодо усунення різних видів похибок розміщення плями контакту у вигляді програми.

Даний розділ буде містити результати аналізу стартап проекту, метою якого є визначення змоги розробленого продукту вийти на ринок і конкурувати з іншими продуктами.

У таблиці 5.1 зображено ідеї, зміст та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати потенційних клієнтів [27].

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрями застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Розробка системи рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту зубчастого конічного зачеплення з круговим зубом	Підприємства, що займаються виготовленням зубчастих коліс	<ol style="list-style-type: none"> 1. Покращення якості продукту 2. Збільшення попиту на продукт 3. Прискорення розрахунків при проектуванні
	Авіабудування, вертольотобудування, автомобілебудування, приладобудування, машинобудування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення довговічності і надійності зубчастої передачі 2. Збільшення крутного моменту 3. Зменшення контактних навантажень на поверхнях зубців 4. Зменшення ризику поломки зубців при експлуатації зубчастої пари

Отже, пропонується вдосконалена методика щодо визначення та усунення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців зубчастого кінцевого зачеплення з круговим зубом, яка реалізована шляхом розробки комп'ютерної програми, що прискорює процес контролю зубчастої пари на підприємстві чи заводі.

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначимо перелік характеристик ідеї та техніко-економічних властивостей;
- визначимо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведемо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку та ідеї власного проекту;
- проведемо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) кращі значення (S, сильні); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) гірші значення (W, слабкі) (табл. 5.2) [27].

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/ п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Редуктор	АктаВір	Дельта- Груп			
1.	Торгівельна марка	немає	є	є	є	+		
2.	Показник взаємодії програми з користувачем	Висока	Середня	Середня	Середня			+
3.	Показник точності рекомендовани х параметрів	Висока	Висока	Висока	Середня		+	
4.	Патенти на продукти	немає	є	є	є	-		
5.	Економічність	Середня	Середня	Висока	Висока			+

		ціна	ціна	ціна	ціна			
--	--	------	------	------	------	--	--	--

Порівняльний аналіз характеристик проекту з конкурентами показав сильні, слабкі та нейтральні сторони ідеї потенційного товару, що є основою для формування його конкурентоспроможності.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, що вказані в таблиці 5.3 [27].

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Зміна параметрів налагодження верстату	Технологія виготовлення зубчастого зачеплення	Наявні	Доступні
2	Розрахунок параметрів налагодження верстату	Технологія виготовлення зубчастого зачеплення	Наявні	Доступні
3	Візуальний контроль за допомогою програми	Технологія виготовлення зубчастого зачеплення	Наявні	Доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект можна реалізувати будь якою з існуючих технологій виготовлення зубчастої пари з круговим зубом, але серед всіх представлених саме зміна та розрахунок параметрів налагодження верстату та спрощення візуального контроль шляхом узагальнення видів похибок в програмі призведе до кращих результатів.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові загрози та ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту на ринок, які можуть зашкодити його реалізації.

Даний аналіз дозволяє спланувати напрями розвитку проекту огляду на ринкове середовище, потреби потенційних клієнтів та рівня пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4) [27].

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних, так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	41%

Згідно проведеного оцінювання, можна стверджувати, що ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт. Також, можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження.

Продукт є конкурентоспроможними за рахунок введеної нової інтерактивної технології, незважаючи на те, що на ньому вже існують фірми, вітчизняні та іноземні, які працюють багато років в даній сфері та роблять продукцію хорошої якості.

Наступним кроком, визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5) [27].

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Якісне програмне забезпечення для проведення контролю зубчастого зачеплення	Авіа-, вертольото-, автомобіле-, приладо- та машинобудівні підприємства	Точність визначення похибки розміщення плями контакту та методи вирішення даного питання.	1) Правильність методики розрахунків. 2) Підтримка програмного продукту при експлуатації.

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати підприємства авіа-, вертольото-, автомобіле, приладо- та машинобудівного спрямування.

При застосуванні даної технології загрози практично відсутні. Проте, для попередження небажаних ситуацій дамо прогноз одних з можливих (таблиця 5.6) [27].

Таблиця 5.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Розвиток ринку в даній галузі сприяє виникненню конкуренції	Вдосконалення програмного продукту та технології
2	Брак необхідного обладнання на підприємствах	Недостатня кількість сучасного обладнання на вітчизняних підприємствах	Розвиток галузей промисловості і країни загалом ³
3	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію	Реклама. Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту на продукт.

В таблиці 5.6 визначено фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню проекту, а також можливу реакцію на дані фактори у випадку їх виникнення.

Проте, поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7) [27].

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Науково-технічні	Зміниться технологія контролю виробу	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Поява нової роздрібно мережі	Увійти до числа постачальників нової мережі	Зробити акцент на якості продукції
3	Попит	Потреба збільшення надійності і довговічності інструменту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 5.7 визначено фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, та вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в різних галузях виробництва (таблиця 5.8) [27].

Таблиця 5.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	ТОВ «Дельта-Груп»,	<i>Великий асортимент товарів у конкурентів.</i>	<i>Значення розміру поставок, Диференціація витрат</i>	<i>Розмір закупівель, торговельні знаки</i>	<i>Ціна, марки конкурентів.</i>
<i>Висновки :</i>	Інтенсивність конкуренції прийнятна. Більшість фірм отримують цілком	Присутні можливості входу в ринок за рахунок нової технології та інвестицій.	Існує залежність від постачальників в якості продукції, так можливих	Диктують. Вимоги до ціни і якості продукту	Велика кількість товарів-замінників

	помірний прибуток.		обсягів її виробництва.		
--	-----------------------	--	----------------------------	--	--

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є споживачі і постачальники. Також, все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Згідно таблиці 5.8 [27], де визначено структурний підхід до аналізу конкуренції, робимо висновок, що тип конкуренції – внутрішньогалузева.

Після проведеного аналізу обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Оцінку конкурентоспроможності можна дати лише попередньо, оскільки проект не впроваджено в життя.

Таблиця 5.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Простота використання	Програмний продукт не є складним у використанні за рахунок вдалого інтерфейсу програми
3	Час роботи	Необмежений
4	Якість	Висока якість, оскільки рекомендації підтверджені експериментально
5	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості зниження ціни на продукт.
6	Новизна	Програмний продукт немає аналогів в плані візуалізації

В таблиці 5.9 на основі аналізу проведеного в таблиці 5.8 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту [27].

Таблиця 5.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Простота використання	18								+
2	Час роботи	20								+
3	Якість	16							+	
4	Ціна	15				+				
5	Новизна	16					+			

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що простота використання, якість та час роботи, за таку ж саму ціну на продукт, дає перевагу над іншими продуктами. Тому, проект може стати конкурентоспроможним на ринку.

Таблиця 5.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - необмежений час роботи програмного продукту; - зручний інтерфейс; - висота якість продукту; - невисока ціна (нижча ніж у конкурентів); 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - відсутність патенту на продукт; - необхідність впровадження реклами продукту, що вимагає значних коштів.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - бути лідером з розробки програмного забезпечення для контролю зубчастих коліс;; - отримання нових замовлень на продукт; - збільшення продаж; - отримання державних замовлень на отримання послуг; - розширення ринку за рахунок іноземних замовників. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - широкий асортимент продукції конкурентів; - поява нових технологій у конкурентів; - не бажання споживачів переходити на запропоновану технологію;

В таблиці 5.10 проведений перелік сильних та слабких сторін проекту. Він базується на ринкових загрозах та можливостях, що були проаналізовані раніше.

На основі SWOT-аналізу (таблиця 5.11) розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. [27].

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору термінів та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	0,5 року
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

Проведений аналіз альтернатив ринкового впровадження показав, що найоптимальнішим варіантом є стратегія компенсація слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями, оскільки із зазначених альтернатив вона має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. [27].

Таблиця 5.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Середня
2	Приватні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Складна
3	НДІ	Готові	Середній попит	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.					

Обрано цільові групи за результатами аналізу споживачів потенційних груп, для яких буде запропонований програмний продукт та визначено стратегію охоплення ринку, а саме стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку [27].

Таблиця 5.141. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	1)Простота використання 2)Час використання 3)Якість 4)Невисока ціна 5)Новизна	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.15) [27].

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики товару конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна підтримка і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект [27].

Таблиця 5.16. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні і позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	1)Простота використання 2)Висока якість 3)Час роботи	Стратегія диференціації	Невисока ціна (нижча ніж у конкурентів)	Простота Якість Швидкість

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

У таблиці 5.17 підсумовуємо результати проведеного аналізу конкурентоздатності товару [27].

Таблиця 5.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ n/n	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Потреба програмному забезпеченні для спрощення і прискорення проведення контролю зубчастих коліс з круговим зубом	Швидкість та якість проведення контролю зубчастих коліс. Зручний інтерфейс програми. Ціна нижча ніж у конкурентів.	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення програми шляхом додавання нових можливостей і методів розрахунків.

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту [27].

Таблиця 5.18. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Програма для контролю плями контакту зубчастого зачеплення. Можна виділити наступні вигоди використання: - спрощення процесу контролю; - підвищення швидкості розрахунків; - точні рекомендації для уникнення похибок.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Надійність	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	5. Транспортабельності	М	Тх
	6. Безпеки	М	Тх
	Якість: Відповідає нормам ГОСТ 19326-73 «Колеса зубчасті»		
	Пакування: відсутнє		
	Марка: назва організації-розробника + «Нульові напруження»		
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		
	Знижки довготривалим клієнтам		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

В таблиці 5.18 створено 3-рівневу модель нашого товару, що включає його вигоди та задум товару та, а також основі характеристики готового.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.19) [27].

Таблиця 5.19. Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	25 000 грн	22 000	Високий	18 000-20 000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа ціни на продукт [27].

Таблиця 5.20. Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає придбання дещо змінених товарів (послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : 1)Торгівля через магазини 2)Посилкова торгівля 3)Торгівля в роздріб

Керуючись специфікою закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар

клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в роздріб. Також, за глибину каналу збуту, було обрано канал нульового рівня тому, що компанія бажає мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі [27].

Таблиця 5.21. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Перегляд інформаційний ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	1)Сайт компанії, 2)Промислові виставки, 3)Рекламна в ЗМІ.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Простий контроль та швидке рішення

Простота роботи з програмним забезпеченням та якість результату є головною концепцією рекламного звернення для товару

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту.

Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна підтримка і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

Висновки по розділу

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Складнощами входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними дана програма є простою в користуванні, має високу якість, оскільки рекомендації наведені в програмі базуються на експериментальних дослідженнях.

Комерціалізація проекту на ринку опирається на наявний попит, рентабельність роботи в ринку та динаміку ринку. Клієнти на даному виді ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо видозмінених товарів, або зміну ціни на товар, на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої програми відбудеться покращення процесу контролю зубчастих коліс з круговим зубом.

За стратегію розвитку компанія обрала диференціацію. За цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але завдяки новій технології компанія буде реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги та перехоплювати клієнтів у конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів. Головною концепцією рекламного звернення для товару є простота роботи з програмним забезпеченням та якість результату

Підсумовуючи можна сказати, що вихід продукту на ринок є доцільним. Сприяє цьому попит на ринку та велика кількість сильних сторін в порівнянні з товарами-конкурентами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження була конічна шестерня з круговим зубом.

Метою дисертаційного дослідження була розробка системи підвищення експлуатаційних характеристик зубчастої конічної шестерні з круговим зубом шляхом визначення місця та напряму розташування плями контакту.

Результатом роботи є :

1. Проведений аналіз існуючих методів підвищення експлуатаційних характеристик конічних зубчастих коліс з круговим зубом
2. Досліджено та систематизовано види похибок утворення плями контакту конічного зубчастого зачеплення з круговим профілем зуба.
3. Представлено методичне забезпечення для розрахунку геометричних параметрів конічного зубчастого зачеплення та забезпечення вимогам щодо експлуатаційних характеристик.
4. Досліджено механізм утворення сумарної плями контакту при конічному зачепленні зубчастої пари з круговим зубом. Наведено математичне забезпечення для її визначення.
5. Розроблено програму для розрахунку миттєвої площадки контакту на бічній поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом. Наведений приклад виконання програми.
6. Створено програму, яка вміщує в себе рекомендації щодо виправлення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом. Наведена методика користування програмою.
7. Розроблено технологічну схему припрацювання зубчастих коліс для забезпечення високих показників плями контакту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальов В. Д. Новітні технології виготовлення зубчастих коліс для важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О. Клочко, С. В. Рябченко // Оборудование и инструмент для профессионалов 2017. №3 –С.76-77.
2. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень/ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К: НТУУ «КПІ»,2015 – 276с.
3. Заховайко О.П. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій для студентів спеціальності „Динаміка і міцність машин”/ О.П. Заховайко. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 243 с.
4. Ковальов В.Д. Впровадження інноваційних технологій виготовлення крупногабаритних редукторів важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О. Клочко, С. В. Рябченко // Промышленность в фокусе. Харьков – 2018 № 6 (67)– С. 40-41.
5. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. - 556 с.
6. Невдаха Ю.А. Аналіз навантажувальної здатності зубчастих передач з різним профілем зубців / Ю.А. Невдаха, Г.І. Маломуж, В.М. Лушніков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць- Кропивницький, КНТУ, 2009. – 380 С.
7. Аникин Ю.В. "Синусоидальное зацепление". – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1975. – 56с.

8. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М. Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення. Зб.: Вісник Національного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Харків: НТУ «ХПІ». – 2009, №19. – 168 с. – с. 43 – 53.
9. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление. – Воронеж, 1974. – 64с.
10. Шабайкович В.А. Високоточні зубчасті колеса / В.А. Шабайкович // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2011. Випуск №32 С.483-488.
11. Попов О.П. Особливості проектування сучасних зубчастих передач / Попов О.П., Кіпрєєв Ю.М. // Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв , Машинознавство, 2011, №7-8 С.44-47.
12. Онищенко В. Вплив зносу двоопукловгнутих зубців конічних передач на параметри зачеплення/ В. Онищенко А. Кузнецова// Донецький національний технічний університет. - Машинознавство, 2011, №11-12 С.15-21.
13. Вильдгабер Э. Основы зацепления конических и гипоидных передач.- Машгиз, 1948
14. Лукьянов А.С. Расчет конических зубчатых передач с прямыми и круговыми зубьями / А.С. Лукьянов, С.А. Стародубцева // Методические указания к разделу курса «Детали машин и основы конструирования» - М.2001 – 28с.
15. Голованов В.В. Моделирование вибронапряжённости авиационных конических зубчатых колес / В.В. Голованов, Д.В. Калинин, Е.В. Кожаринов

// Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 05. С. 1–20.

16. Журавлев Г.А. Прогрессивные зубчатые передачи на базе фундаментальных эффектов прочности/Г.А. Журавлев, А.А. Кучинский, Р.В. Новиков// Журнал наука и транспорт – 2007 – С.36-38.

17. Внуков Ю.Н., Павлюченко И.Н., Клименко В.Ю. Моделирование процесса обработки зубчатых конических колес с круговым зубом на ЭВМ // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука - виробництво. – Суми: СумДУ. – 2001. С.63-64

18. Антонюк В.Е. Особенности нормирования и контроля норм контакта зубчатых колес планетарных передач / В.Е. Антонюк, Поддубко С.Н., Вестник ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова №1, 2017, С.34-38.

19. Гохман Х.И. Теория зацеплений, обобщенная и развитая путем анализа- Одесса-1886.

20. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.:Наука, 1968.

21. Baxter, M.L. Basic Geometry and Tooth Contact of Hypoid Gears “Industrial Mathematics”, 1961, vol.11, p.19-42

22. Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел: Монография. – М.: Издательство «Станкин»,1999. – 494 с.

23. Шевелева Г.И., Гундаев С.А. Решение контактной задачи методом последовательного нагружения // Известия ВУЗов. Машиностроение.- 1986.- №9. - С.10-15.

24. Сегаль М.Г. Виды локализованного контакта в конических и гипоидных передачах // Машиноведение. – 1970. - №1. - С. 56-63.

25. Сегаль М.Г. Об определении границ пятна контакта зубьев конических и гипоидных передач // Машиноведение. – 1971. - №4.
26. Рябов С.А. Проверка зацеплений зубчатых колёс после ремонта / Электронный ресурс]/ С.А. Рябов, Г.М. Дубов, Д.Б. Шатько // Електронні дані. – [Кемерово, 2000]. – Режим доступу: <https://studfiles.net/> (дата звернення 23.10.18).– Назва з екрана.
27. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Додатки



АКТ
про впровадження результатів магістерської дисертації
студента гр. ПБ-71мп
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Онкалюка Олега Ігоровича

Комісія в складі голови – директора Бабченка Василя Васильовича і членів: головного конструктора Бабченка Олександра Васильовича і головного технолога Попова Євгена Віталійовича склали дійсний акт про те, що результати магістерської дисертації «Система підвищення експлуатаційних характеристик конічних шестерень з круговим зубом», зокрема:

- дослідження та систематизація видів похибок утворення плями контакту конічного зубчастого зачеплення з круговим профілем зуба;
- програма, яка вміщує в себе рекомендації щодо виправлення похибок розміщення плями контакту на поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом;
- програма для розрахунку миттєвої площадки контакту на бічній поверхні зубців конічної шестерні з круговим зубом;
- технологічна схема припрацювання зубчастих коліс для забезпечення високих показників плями контакту.

використані при контролі плями контакту конічного зубчастого зачеплення в службі головного технолога Попова Є.В.

Впровадження в технологічний процес обробки результатів магістерської роботи дозволило підвищити швидкість і якість контролю конічного зубчастого зачеплення за рахунок автоматизації розрахунку плями контакту та аналізу похибок її розміщення; технологічна схема припрацювання бічної поверхні зубців конічного зубчастого колеса з круговим зубом сприяла покращенню якості виготовлення деталей та зменшенню величини та кількості похибок розміщення плями контакту.

ГОЛОВА КОМІСІЇ:

Директор

ЧЛЕНИ КОМІСІЇ:

Головний конструктор

Головний технолог



Бабченко В.В.

Бабченко О.В.

Попов Є.В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан приладобудівного факультету

(підпис)

Г. С. Тимчик
(ініціали, прізвище)

« 13 » 12

2018р.

**АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ
РОБОТИ**

магістранта Онкалюка Олега Ігоровича

на тему

«Система підвищення експлуатаційних характеристик конічних шестерень з
круговим зубом»

Комісія у складі:

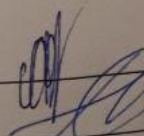
Голова комісії: заст. декана з навч.-метод. роботи, к.т.н., доцент Філіппова М.В.

Члени комісії: - д.т.н., професор Антонюк В.С.

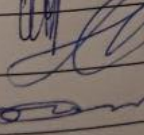
- к.т.н., доцент Вислоух С.П.

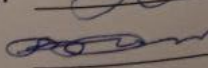
цим актом засвідчую те, що результати магістерської дисертаційної роботи Онкалюка Олега Ігоровича на тему «Система підвищення експлуатаційних характеристик конічних шестерень з круговим зубом», а саме розробка програмного забезпечення для визначення миттєвої площадки контакту та діагностики похибок розміщення плями контакту конічної шестерні з круговим зубом, використовується викладачами кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського при проведенні комп'ютерних практикумів з дисциплін «Оптимізація складних виробничих систем» та «Технології приладобудування».

Голова комісії:

 Філіппова М.В.

Члени комісії:

 Антонюк В.С.

 Вислоух С.П.

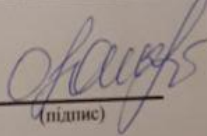
СПИСОК
наукових та навчально-методичних праць
Онкалюка Олега Ігоровича

№ п/п	Найменування праць	Рукописні або друківані	Назва видавництва, журналу (номер, рік), або номер диплома на винахід	Кількість друківаних аркушів або сторінок разом	Співавтори
1	2	3	4	5	6

1. Наукові статті

1	Формування зони контакту зубчастої конічної передачі з круговим зубом	Друк.	XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ» 4-5 грудня 2018р., м. Київ, Україна	4	Антонюк Віктор Степанович
---	---	-------	---	---	---------------------------

Студент



 (підпис)

Онкалюк О.І.
 (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

 (підпис)

Антонюк В.С.
 (ініціали, прізвище)

Додаток А

Додаток А: Текст програми розрахунку миттєвої площадки контакту

Код головної програми

```
import sys
import pyqtgraph as pg
from math import *
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt
from forma import *
from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets
from decimal import Decimal
class MyWin(QtWidgets.QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        QtWidgets.QWidget.__init__(self, parent)
        self.ui = Ui_MainWindow()
        self.ui.setupUi(self)
        self.ui.pushButton.clicked.connect(self.MyFunction)
    def MyFunction(self):
        x11 = float(self.ui.lineEdit_3.text())
        x12 = float(self.ui.lineEdit_4.text())
        x21 = float(self.ui.lineEdit_5.text())
        x22 = float(self.ui.lineEdit_6.text())
        sigma = float(self.ui.lineEdit_7.text())
        delta = float(self.ui.lineEdit_8.text())
        x1 = x11 + x21
        x2 = x12 + x22
        g1 = x11 - x21
        g2 = x12 - x22
        A = 1/4 * (x1 - x2 - sqrt(pow(g1,2) - 2*g1*g2*cos(2*radians(sigma)) + pow(g2,2)))
        B = 1/4 * (x1 - x2 + sqrt(pow(g1,2) - 2*g1*g2*cos(2*radians(sigma)) + pow(g2,2)))
        a = sqrt(abs(delta/A))
        b = sqrt(abs(delta/B))
        self.ui.lineEdit.setText(str(round(a,3)))
        self.ui.lineEdit_2.setText(str(round(b,3)))
if __name__=="__main__":
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
    myapp = MyWin()
    myapp.show()
    sys.exit(app.exec_())
```

Код інтерфейсу програми

```
from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets
class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName("MainWindow")
        MainWindow.resize(550, 468)
        MainWindow.setStyleSheet("")
        self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(MainWindow)
        self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
        self.label_9 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
        self.label_9.setGeometry(QtCore.QRect(130, 10, 261, 31))
```

```

self.label_9.setStyleSheet("font: 14pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_9.setObjectName("label_9")
self.For_image = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.For_image.setGeometry(QtCore.QRect(110, 230, 191, 141))
self.For_image.setText("")
self.For_image.setPixmap(QtGui.QPixmap("1.png"))
self.For_image.setObjectName("For_image")
self.layoutWidget = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget.setGeometry(QtCore.QRect(430, 60, 61, 161))
self.layoutWidget.setObjectName("layoutWidget")
self.verticalLayout = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget)
self.verticalLayout.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout.setObjectName("verticalLayout")
self.lineEdit_3 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_3.setObjectName("lineEdit_3")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_3)
self.lineEdit_4 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_4.setObjectName("lineEdit_4")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_4)
self.lineEdit_5 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_5.setObjectName("lineEdit_5")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_5)
self.lineEdit_6 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_6.setText("")
self.lineEdit_6.setObjectName("lineEdit_6")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_6)
self.lineEdit_7 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_7.setText("")
self.lineEdit_7.setObjectName("lineEdit_7")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_7)
self.lineEdit_8 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget)
self.lineEdit_8.setText("")
self.lineEdit_8.setObjectName("lineEdit_8")
self.verticalLayout.addWidget(self.lineEdit_8)
self.layoutWidget1 = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget1.setGeometry(QtCore.QRect(380, 60, 51, 161))
self.layoutWidget1.setObjectName("layoutWidget1")
self.verticalLayout_2 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget1)
self.verticalLayout_2.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_2.setObjectName("verticalLayout_2")
self.label_10 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_10.setObjectName("label_10")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_10)
self.label_11 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_11.setObjectName("label_11")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_11)
self.label_12 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_12.setObjectName("label_12")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_12)
self.label_13 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)

```

```

self.label_13.setObjectName("label_13")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_13)
self.label_14 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_14.setObjectName("label_14")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_14)
self.label_15 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_15.setObjectName("label_15")
self.verticalLayout_2.addWidget(self.label_15)
self.layoutWidget2 = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget2.setGeometry(QtCore.QRect(400, 280, 56, 51))
self.layoutWidget2.setObjectName("layoutWidget2")
self.verticalLayout_3 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget2)
self.verticalLayout_3.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_3.setObjectName("verticalLayout_3")
self.lineEdit = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget2)
self.lineEdit.setObjectName("lineEdit")
self.verticalLayout_3.addWidget(self.lineEdit)
self.lineEdit_2 = QtWidgets.QLineEdit(self.layoutWidget2)
self.lineEdit_2.setObjectName("lineEdit_2")
self.verticalLayout_3.addWidget(self.lineEdit_2)
self.layoutWidget3 = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget3.setGeometry(QtCore.QRect(371, 280, 22, 51))
self.layoutWidget3.setObjectName("layoutWidget3")
self.verticalLayout_4 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget3)
self.verticalLayout_4.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_4.setObjectName("verticalLayout_4")
self.label = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget3)
self.label.setObjectName("label")
self.verticalLayout_4.addWidget(self.label)
self.label_2 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget3)
self.label_2.setObjectName("label_2")
self.verticalLayout_4.addWidget(self.label_2)
self.layoutWidget4 = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget4.setGeometry(QtCore.QRect(460, 280, 21, 51))
self.layoutWidget4.setObjectName("layoutWidget4")
self.verticalLayout_5 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget4)
self.verticalLayout_5.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_5.setObjectName("verticalLayout_5")
self.label_16 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget4)
self.label_16.setObjectName("label_16")
self.verticalLayout_5.addWidget(self.label_16)
self.label_17 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget4)
self.label_17.setObjectName("label_17")
self.verticalLayout_5.addWidget(self.label_17)
self.layoutWidget5 = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.layoutWidget5.setGeometry(QtCore.QRect(10, 60, 373, 161))
self.layoutWidget5.setObjectName("layoutWidget5")
self.verticalLayout_6 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.layoutWidget5)
self.verticalLayout_6.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_6.setObjectName("verticalLayout_6")

```

```

self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_3.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_3.setObjectName("label_3")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_3)
self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_4.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_4.setObjectName("label_4")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_4)
self.label_5 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_5.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_5.setObjectName("label_5")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_5)
self.label_6 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_6.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_6.setObjectName("label_6")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_6)
self.label_7 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_7.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_7.setObjectName("label_7")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_7)
self.label_8 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget5)
self.label_8.setStyleSheet("font: 10pt \"MS Shell Dlg 2\";")
self.label_8.setObjectName("label_8")
self.verticalLayout_6.addWidget(self.label_8)
self.widget = QtWidgets.QWidget(self.centralwidget)
self.widget.setGeometry(QtCore.QRect(500, 60, 41, 161))
self.widget.setObjectName("widget")
self.verticalLayout_7 = QtWidgets.QVBoxLayout(self.widget)
self.verticalLayout_7.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.verticalLayout_7.setObjectName("verticalLayout_7")
self.label_18 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_18.setObjectName("label_18")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_18)
self.label_19 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_19.setObjectName("label_19")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_19)
self.label_20 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_20.setObjectName("label_20")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_20)
self.label_21 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_21.setObjectName("label_21")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_21)
self.label_22 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_22.setObjectName("label_22")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_22)
self.label_23 = QtWidgets.QLabel(self.widget)
self.label_23.setObjectName("label_23")
self.verticalLayout_7.addWidget(self.label_23)
self.splitter = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
self.splitter.setGeometry(QtCore.QRect(210, 390, 150, 23))

```

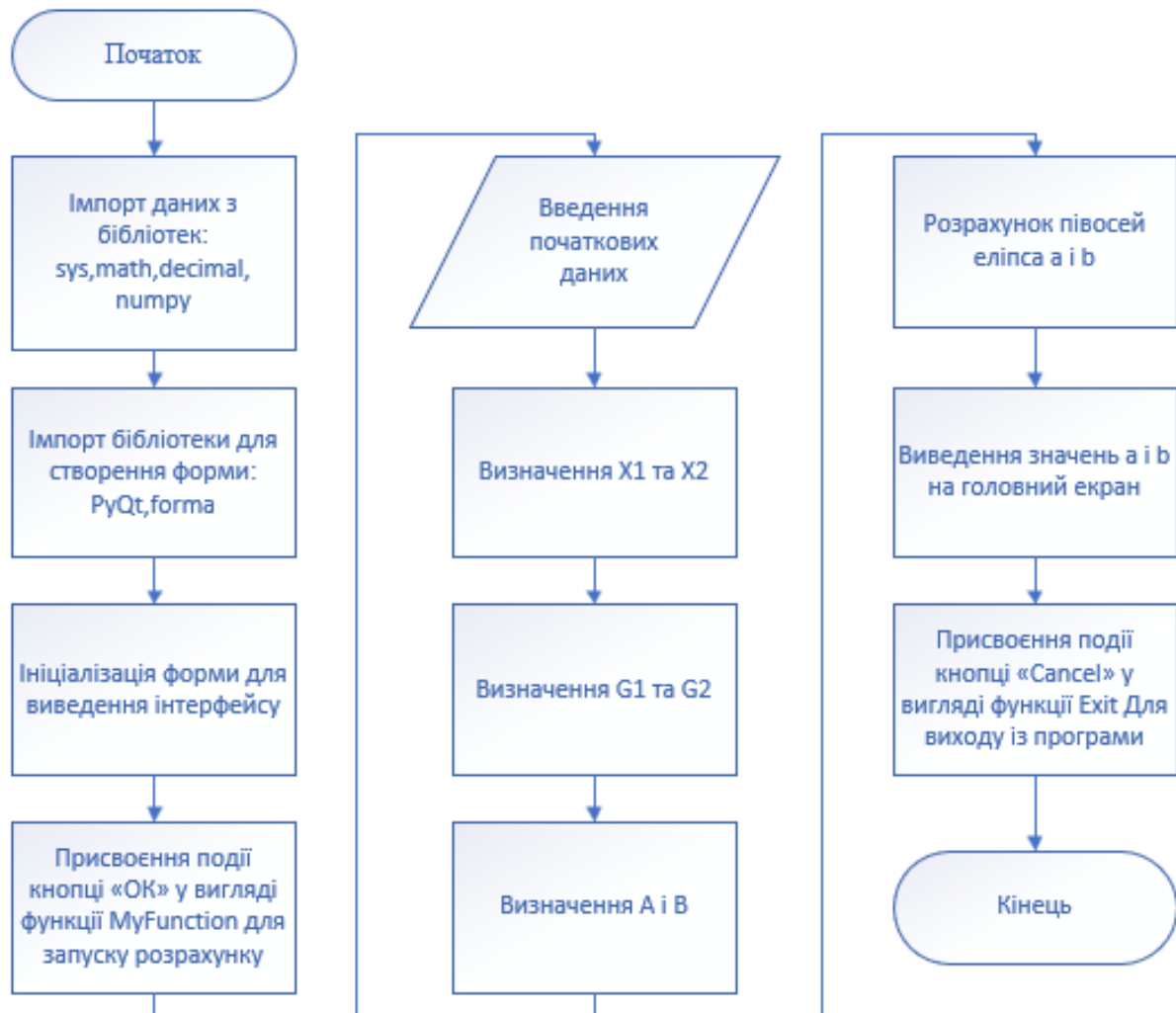
```

self.splitter.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter.setObjectName("splitter")
self.pushButton = QtWidgets.QPushButton(self.splitter)
self.pushButton.setObjectName("pushButton")
self.pushButton_2 = QtWidgets.QPushButton(self.splitter)
self.pushButton_2.setObjectName("pushButton_2")
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.menubar = QtWidgets.QMenuBar(MainWindow)
self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 550, 21))
self.menubar.setObjectName("menubar")
MainWindow.setMenuBar(self.menubar)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(MainWindow)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)
self.retranslateUi(MainWindow)
QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)
def retranslateUi(self, MainWindow):
    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    MainWindow.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "MainWindow"))
    self.label_9.setText(_translate("MainWindow", "Введення початкових даних:"))
    self.label_10.setText(_translate("MainWindow", "X11 ="))
    self.label_11.setText(_translate("MainWindow", "X12 ="))
    self.label_12.setText(_translate("MainWindow", "X21 ="))
    self.label_13.setText(_translate("MainWindow", "X22 ="))
    self.label_14.setText(_translate("MainWindow", "Sigma ="))
    self.label_15.setText(_translate("MainWindow", "Delta = "))
    self.label.setText(_translate("MainWindow", "a = "))
    self.label_2.setText(_translate("MainWindow", "b = "))
    self.label_16.setText(_translate("MainWindow", "мм"))
    self.label_17.setText(_translate("MainWindow", "мм"))
    self.label_3.setText(_translate("MainWindow", "Нормальна складова головної кривизни
шестерні:"))
    self.label_4.setText(_translate("MainWindow", "Перпендикулярна складова головної
кривизни шестерні:"))
    self.label_5.setText(_translate("MainWindow", "Нормальна складова головної кривизни
колеса: "))
    self.label_6.setText(_translate("MainWindow", "Перпендикулярна складова головної
кривизни колеса: "))
    self.label_7.setText(_translate("MainWindow", "Кут між головними напрямками коліс із
заданими кривизнами: "))
    self.label_8.setText(_translate("MainWindow", "Величина зміщення поверхонь колеса і
шестерні:"))
    self.label_18.setText(_translate("MainWindow", "1 / мм"))
    self.label_19.setText(_translate("MainWindow", "1 / мм"))
    self.label_20.setText(_translate("MainWindow", "1 / мм"))
    self.label_21.setText(_translate("MainWindow", "1 / мм"))
    self.label_22.setText(_translate("MainWindow", " °"))
    self.label_23.setText(_translate("MainWindow", "мм"))
    self.pushButton.setText(_translate("MainWindow", "OK"))
    self.pushButton_2.setText(_translate("MainWindow", "Cancel"))

```

Додаток Б

Додаток Б. Алгоритм програми розрахунку миттєвої площадки контакту



Додаток В

Додаток В. Текст програми рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту

Код головного файлу програми [index.html](#)

```
<!doctype html>
<html>
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title>Система рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту</title>
<link href="styles.css" rel="stylesheet">
<style>

header {
    position: relative;
    padding: 20px 0 0 10px;
    margin-top: 20px;
}

.badge {
    position: absolute;
    top: -20px;
    left: -90px;
    z-index: -1;
}

header nav {
    position: absolute;
    right: 0;
    top: 45px;
}

.gallery figure {
    display: inline-block;
    width: 200px;
    height: 110px;
    margin: 25px;
    position: relative;
}

.gallery figcaption {
    position: absolute;
    top: 15%;
    bottom: 15%;
    left: 1px;
    right: -3px;
    background-color: rgb(153,153,153);
    background-color: rgba(100,100,100,.97);
    padding: 10px;
    font-family: Titillium, Arial, sans-serif;
    font-size: .9em;
}
```

```

        font-weight: 400;
        color: white;
        opacity: 0;
        -webkit-transition: opacity .75s ease-out;
        -moz-transition: opacity .75s ease-out;
        -o-transition: opacity .75s ease-out;
        transition: opacity .75s ease-out;
        text-align: center;
    }
    figure:hover figcaption {
        opacity: 1;
    }
    footer {
        position: fixed;
        bottom: 0;
        left: 0;
        right: 0;
        padding: 10px;
        background-color: black;
        color: white;
    }
</style>
<!--[if lt IE 9]>
<script src="html5shiv.js"></script>
<![endif]-->
</head>
<body>
<header>
<h1>Система рекомендацій щодо усунення похибок розміщення плями контакту</h1>
</header>
<div class="gallery">
<figure>
<a href="index_1.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту розміщена біля внутрішнього торця зуба </strong>
</figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_2.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту розміщена біля зовнішнього торця зуба </strong>
</figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_3.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту біля ніжки зуба колеса (біля головки зуба шестерні)
</strong> </figcaption>
</a>
</figure>
</div>

```

```
<a href="index_4.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту біля ніжки зуба шестерні (біля головки зуба колеса)
</strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_5.html">
<figcaption><strong> «Нормальна» діагональність </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_6.html">
<figcaption><strong> «Обернена» діагональність </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_7.html">
<figcaption><strong> Вузька пляма контакту </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_8.html">
<figcaption><strong> Широка пляма контакту </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_9.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту з розривом по висоті зуба </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_10.html">
<figcaption><strong> Коротка пляма контакту </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_11.html">
<figcaption><strong> Довга пляма контакту </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
<figure>
<a href="index_12.html">
<figcaption><strong> Пляма контакту з розривом по довжині зуба </strong> </figcaption>
</a>
</figure>
</div>
</body>
</html>
```

Текст программного файла index_3.html

```
<!doctype html>
<html>
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title></title>
<link href="styles.css" rel="stylesheet">
<style>

header {
    position: relative;
    padding: 20px 0 0 10px;
    margin-top: 20px;
}

.badge {
    position: absolute;
    top: -20px;
    left: -90px;
    z-index: -1;
}

header nav {
    position: absolute;
    right: 0;
    top: 45px;
}

.gallery figure {
    display: inline-block;
    width: 300px;
    height: 210px;
    margin: 15px;
    position: relative;
}

.gallery .inside {
    float: right;
    width: 300px;
    height: 210px;
    margin: 0;
    position: relative;
}

.gallery p {
    font: 300 16px Russo One, Arial, sans-serif;
    color: #fff;
}

.gallery .inside p {
    font: 500 18px Russo One, Arial, sans-serif;
```

```

        color: #fff;
        text-align: center;
    }
    .gallery figcaption {
        position: absolute;
        top: 15%;
        bottom: 15%;
        left: 0;
        right: 0;
        background-color: rgb(153,153,153);
        background-color: rgba(153,153,153,.9);
        padding: 20px;
        font-family: Titillium, Arial, sans-serif;
        font-size: .9em;
        font-weight: 400;
        color: white;
        opacity: 0;
        -webkit-transition: opacity .75s ease-out;
        -moz-transition: opacity .75s ease-out;
        -o-transition: opacity .75s ease-out;
        transition: opacity .75s ease-out;
    }
    figure:hover figcaption {
        opacity: 1;
    }
    footer {
        position: fixed;
        bottom: 0;
        left: 0;
        right: 0;
        padding: 10px;
        background-color: black;
        color: white;
    }
    .table_class {
        margin-top: 220px;
        margin-bottom: 50px;
        text-align: center;
        z-index: 10
    }
    .table_style {
        font-family: "Lucida Sans Unicode", "Lucida Grande", Sans-Serif;
        font-size: 15px;
        border-collapse: collapse;
        text-align: center;
        margin: auto;
        border-style: solid;
        border-width: 1px 1px 1px 1px;
        border-color: white;
        position: absolute;

```

```

text-align: center;
}
th, td, tbody {
border-style: solid;
border-width: 1px 1px 1px 1px;
border-color: white;
color: white;
padding: 10px 20px;
}
th:first-child, td:first-child {
text-align: left;
}

.spoiler > input + label:after{
    content: "+";
    float:right;
    font-family:"Lucida Sans Unicode", "Lucida Grande", Sans-Serif;
    font-weight: bold;}
.spoiler > input:checked + label:after{
    content: "-";
    float: right;
    font-family: "Lucida Sans Unicode", "Lucida Grande", Sans-Serif;
    font-weight: bold;}
.spoiler > input{
    display:none;}
.spoiler > input + label , .spoiler > .spoiler_body{
    background:#CCC;
    cursor: pointer;
    font-family: "Lucida Sans Unicode", "Lucida Grande", Sans-Serif;
    text-align: center;
    padding:5px 44px;
    overflow:hidden;
    width:100%;
    box-sizing:border-box;
    border-radius: 5px 5px 5px 5px;
    display:block;}
.spoiler > input + label + .spoiler_body{display:none;}
.spoiler > input:checked + label + .spoiler_body{display: block;}
.spoiler > .spoiler_body{
    background: #FFF;
    border: 3px solid #CCC;
    border-top: none;
}

.button {
display: inline-block;
margin-top: 25px;
margin-bottom: 25px;
font-weight: 700;
color: white;
text-decoration: none;

```



```

padding: 15px 20px;
border-radius: 3px;
background: rgb(64,199,129);
box-shadow: 0 -3px rgb(53,167,110) inset;
transition: 0.2s;
font-family: "Lucida Sans Unicode", "Lucida Grande", Sans-Serif;
font-size: larger;
cursor: pointer;
}
.button_pos {
    text-align: center;
}
</style>
<!--[if lt IE 9]>
<script src="html5shiv.js"></script>
<![endif]-->
</head>
<body>
<header>
<h1> Похибка неправильного розміщення плями контакту по висоті профілю зуба </h1>
</header>
<div class="gallery">
<figure class="inside">

<p> Пляма контакту біля ніжки зуба колеса (біля головки зуба шестерні)</p>
</figure>
<p>Даний тип похибки належить до похибок розміщення плями контакту по висоті профілю зуба.
Задля її усунення рекомендовано заготовку розмістити ближче до центру верстату.
Це сприятиме зменшенню можливої відстані. Також, рекомендовано розміщення столу
змістити вперед.</p>
<div class="table_class">
<p>Таблиця 3. Виправлення похибок розміщення плями контакту по довжині зуба
для коліс з лівим напрямом спіралі зубців </p>
<table class="table_styles table table-responsive table-bordered table-hover">
<tbody>
<tr>
<td>
<p style="text-align: center; text-align: center;">Установка верстата
</p>
</td>
<td>
<p style="text-align: center; text-align: center;">Пляма контакту біля ніжки
зуба колеса
</p>
</td>
<td>
<p style="text-align: center; text-align: center;">Пляма контакту біля ніжки
зуба шестерні
</p>

```

```

        </td>
</tr>
<tr>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Розміщення заготовки
        </p>
    </td>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Приблизити до центру
        верстату. Тим самим, зменшити монтажну відстань.
        </p>
    </td>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Віддалити від центру верстату.
        Тим самим, збільшити монтажну відстань.
        </p>
    </td>
</tr>
<tr>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Розміщення столу
        </p>
    </td>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Змістити вперед
        </p>
    </td>
    <td>
        <p style="text-align: center; text-align: center;">Змістити назад
        </p>
    </td>
</tr>
</tbody>
</table>
</div>
<div class="spoiler">
<input type="checkbox" id="spoilerid_1"><label for="spoilerid_1">
Переглянути формули для розрахунку наведених параметрів
</label><div class="spoiler_body">
    
</div>
</div>
<div class="button_pos">
<a href="index.html" class="button">Повернутись назад</a>
</div>
</div>
</body>
</html>

```