

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальні верстати та системи

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка теоретичних та експериментальних основ проектування та технології формоутворення профілю зуборізних довбачів

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-219м

Спеціальності Галузеве машинобудування

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

Красковський А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Циганов К.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний факультет

Кафедра Металорізальні верстати та системи

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) _____

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ШВ.О.У

Фролов М.В.
 « 17 » 12 2020 року

**ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Красковського Артема Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка теоретичних та експериментальних основ проектування та технології формоутворення профілю зуборізних довбачів

керівник проекту (роботи) Фролов Михайло Володимирович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « ___ » _____ 2020 року № _____

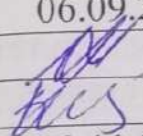
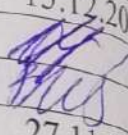
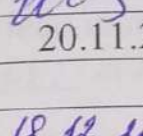
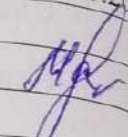
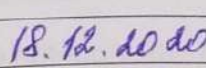

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Науково-посібникова література з теми виготовлення зуборізного інструменту та методів формоутворення евольвентних поверхонь

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Узагальнити та систематизувати теоретичні та експериментальні основи проектування зуборізних довбачів. Виконати аналіз методів формоутворення евольвентного профілю зуборізного інструменту. На основі отриманих даних розробити програму по формуванню евольвентного профілю зуборізного інструменту – довбача для верстата з ЧПК.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

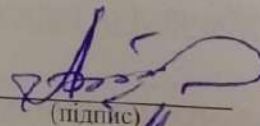
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-2	Фролов М.В. - завідувач кафедри метало-різальних верстатів та інструменту, к.т.н.	06.09.2020 	15.12.2020 
3	Шмирко В.І. – доцент кафедри «Охорони праці і навколишнього середовища», к.т.н.	20.11.2020 	27.11.2020 
	Нормоконтроль	18.12.2020 	

7. Дата видачі завдання «06» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

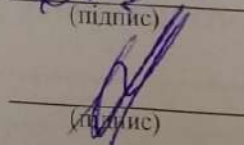
№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Основні відомості про зуборізні довбачі. Методи формування евольвентного	20.10.2020	
2	Проектування технології формування евольвентного профілю.	15.11.2020	
3	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.2020	
	Нормоконтроль		

Студент(ка)


(підпис)

Красковський А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

Фролов М.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дисертацію виконано на 91 аркушах, вона містить 33 рисунка, 6 таблиць, перелік посилань на 30 використаних джерел та 7 додатків.

Актуальність теми. Висока якість ріжучого інструменту є однією з основних вимог сучасного виробництва. Особливу увагу у моторобудуванні, верстатобудуванні, авіаційній техніці та виробництві надточних машин та механізмів надають точності формоутворення різних поверхонь деталі. Важливе місце серед машинобудівної продукції займають зубчасті колеса, які мають складний процес виготовлення, при якому потрібно забезпечити підвищену точність складних поверхонь, стабільні параметри якості поверхневого шару, високу втомну міцність та надійність деталей, що оброблюються. Виконання цих умов потребує використання нових сучасних матеріалів та методів обробки. Що стосується матеріалів, на даний час у машинобудуванні широко використовуються жароміцні та титанові сплави, які в свою чергу є складними для лезвійної обробки. А єдиним інструментом, наприклад, для нарізання внутрішніх шліцевих отворів на дисках авіаційних двигунів є довбач. Метод нарізання зубів, шліців довбачами характеризується високою продуктивністю та точністю обробки, можливістю нарізання блоків зубчастих коліс, зубчастих венців внутрішнього зачеплення, прямозубих, косозубих та шевронних коліс.

Для успішного вирішення проблеми обробки важко обробляємих матеріалів довбачами необхідно підвищити точність виготовлення довбачів по кроку та профілю, розробити технологію виготовлення високоточних довбачів. Представлена робота спрямована на розробку удосконаленої технології виготовлення зубонарізного інструменту – довбача, методом обкату центроїди на прецензійних верстатах з ЧПК.

Мета і задачі дослідження. Розробити нові основи проектування та формоутворення евольвентного профілю зуборізних довбачів на обладнанні з числовим програмним керуванням. Перевірити експериментально розроблені положення. Задачі полягають у вивченні теоретичних та експериментальних основ проектування зуборізного довбача, а саме:

- у ознайомленні зі способами формоутворення його евольвентних поверхонь;
- у розробці спрощеної методики розрахунку точок евольвентного профілю;
- у розробленій програмі для моделювання процесу виготовлення інструменту;
- у розроблені універсальної програми по отриманню евольвентного профілю довбача для верстатів з ЧПК.

Методика дослідження. Для проведення дослідження використовувались розділи математики з лінійної та векторної алгебри, основні положення теорії зачеплення, теоретичної механіки, методів диференціальної та аналітичної геометрії, з розробкою програмного забезпечення на базі системи Fanuc. Значна частина роботи базується на експериментальних даних, які були отримані шляхом моделювання системи верстата з ЧПК у спеціалізованій програмі на EOM, з використанням пакету прикладних програм Компас 3D V8, MS Office 2010, VeriCut 2019, Autodesk AutoCAD 2020.

Наукова новизна полягає у:

- у розроблені універсальної програми по отриманню евольвентного профілю довбача для верстатів з ЧПК;
- у розробленій програмі для моделювання процесу виготовлення інструменту;
- в удосконаленні методики розрахунку точок евольвентного профілю;
- у розробленій, експериментально змодельованій та реалізованій на виробництві новій технології отримання високоточного евольвентного профілю зуборізного інструменту – довбача.

Основні положення, які виносяться на захист:

- модель формоутворення евольвентних поверхонь довбача при шліфуванні його поверхонь тарільчатим кругом;
- удосконалення методу програмного розрахунку координат переміщення шліфувальних кругів та точок, які утворюють евольвентний профіль інструменту.

Практична цінність роботи полягає у:

- створеній та перевірній на практиці програмі по виготовленню довбача наявному у виробництві обладнанні з ЧПК;
- простоті використання створеної програми;
- можливості моделювання будь-якого обладнання у спеціалізованій програмі на ЕОМ, для подальшого налагодження програми по шліфуванню евольвентного профілю тарільчатими кругами.

У якості реалізації результатів роботи на інструментальному виробництві впроваджено дану технологію формування евольвентного профілю на прецизійних верстатах з ЧПК.

Ключові слова: довбач, фасонна поверхня, профілювання, зубошліфування, верстат, операція, розмір, інструмент, програмування, обробка.

ABSTRACT

The thesis is presented in 91 pages. It contains 7 appendixes and bibliography of 30 references. 33 figures and 6 table are given in the thesis.

Topic relevance. High quality cutting tools are one of the main requirements of modern production. Particular attention in engine building, machine tool building, aviation equipment and the production of high-precision machines and mechanisms is paid to the accuracy of shaping the various surfaces of the part. An important place among machine-building products is occupied by gears, which have a complex manufacturing process, which requires increased accuracy of complex surfaces, stable surface quality parameters, high fatigue strength and reliability of machined parts. Fulfillment of these conditions requires the use of new modern materials and processing methods. In terms of materials, heat-resistant and titanium alloys are currently widely used in mechanical engineering, which in turn are difficult to blade. And the only tool, for example, for cutting internal slotted holes on the disks of aircraft engines is a ram. The method of cutting teeth, slots with chisels is characterized by high productivity and accuracy of processing, the ability to cut blocks of gears, internal gears, straight teeth, helical and chevron wheels.

To successfully solve the problem of processing hard-to-process materials with chisels, it is necessary to increase the accuracy of making chisels step by step and profile, to develop the technology of making high-precision chisels. The presented work is aimed at the development of advanced technology for the manufacture of gear cutting tools - grooving, the method of rolling centroids on precision machines with CNC.

Research goal and objectives. Develop new basics of designing and forming the involute profile of gear cutters equipped with numerical program control. Check experimentally developed provisions. The tasks are to study the theoretical and experimental foundations of the design of the gear cutter, namely:

- in acquaintance with ways of formation of its involute surfaces;
- in the development of a simplified method for calculating the points of the involute profile;
- in the developed program for modeling the tool manufacturing process;

- in the development of a universal program for obtaining an involute profile of the ram for CNC machines.

Methods of research. To solve the task, the following methods were used: sections of mathematics in linear and vector algebra, the basic provisions of the theory of engagement, theoretical mechanics, methods of differential and analytical geometry, with the development of software based on the Fanuc system. Much of the work is based on experimental data obtained by modeling a CNC machine system in a specialized computer program, using the application package Compass 3D V8, MS Office 2010, VeriCut 2019, Autodesk AutoCAD 2020.

Scientific contribution consists of the following:

- in the development of a universal program for obtaining an involute profile of the ram for CNC machines;
- in the developed program for modeling the tool manufacturing process;
- in improved methods of calculating the points of the involute profile;
- in the developed, experimentally modeled and implemented in production new technology for obtaining a high-precision involute profile of a gear cutting tool - a ram.

The main provisions to be defended:

- model of formation of involute surfaces of a digger at grinding of its surfaces by a plate circle;
- improvement of the method of program calculation of coordinates of movement of grinding wheels and points which form an involute profile of the tool.

Practical value of obtained results.

- created and tested in practice the program for the manufacture of ram in the production of CNC equipment;
- simplification of using created program;
- possibilities of modeling of any equipment in the specialized program on the computer, for the further adjustment of the program on grinding of an involute profile by plate circles.

Approbation of the thesis results. Basic ideas and results were tested on tool production, this technology of forming an involute profile on precision CNC machines has been introduced.

Keywords: ram, shaped surface, profiling, grinding, machine, operation, size, tool, programming, processing.

ЗМІСТ

Завдання.....	2
Реферат.....	4
Вступ.....	11
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗУБОРІЗНІ ДОВБАЧІ.....	13
1.1 Призначення зуборізних довбачів.....	13
1.2 Конструктивні особливості.....	14
1.3 Схема обробки та основні рухи при нарізанні зубчастих коліс довбачами.....	20
1.4 Вплив геометричних параметрів.....	21
1.5 Теорія евольвентного зачеплення.....	26
1.6 Евольвентний профіль.....	28
1.7 Вимір елементів прямозубого довбача.....	29
1.8 Методи формування евольвентного профілю.....	33
1.8.1 Метод копіювання.....	35
1.8.2 Метод обкату.....	36
1.8.3 Метод огинання.....	41
1.9 Схеми правки абразивних шліфувальних кругів.....	44
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФІЛЮ.....	48
2.1 Компоновка обладнання.....	48
2.2 Установка інструменту та деталі.....	52
2.3 Основні параметри програми та позиціонування.....	53
2.4 Моделювання програми обробки евольвентних поверхонь.....	63
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	66
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	
Додаток Г.1	
Додаток Г.2	
Додаток Г.3	
Додаток Г.4	

ВСТУП

В даний час сучасні технології обробки матеріалів різанням надають можливість досягнення нанометричних показників точності деталей. Створено нове обладнання і ріжучий інструмент, що дозволяють радикально збільшити швидкості різання, вести процеси обробки на високих і надвисоких швидкостях різання без застосування мастильно-охолоджуючих технологічних засобів. Розвиток ріжучого інструменту, що є одним з найважливіших елементів технологічної системи, в основному визначається необхідністю забезпечення технологічних процесів, спрямованих на досягнення все більш зростаючих показників якості продукції, що виготовляється. Наприклад, в авіаційній промисловості ККД, потужність і термін служби двигунів підвищується за рахунок поліпшеного аеродинаміки, високих температур згорання і високих механічних навантажень, при цьому потенціал поліпшення класичних застосовуваних матеріалів обмежений. Для цього необхідно покращувати якість поверхонь деталей. Основними експлуатаційними характеристиками ріжучого інструмента є експлуатаційна надійність, стійкість (зносостійкість), продуктивність, які в основі своїй визначаються геометрією ріжучої частини і, головним чином, властивостями інструментальних матеріалів. Для забезпечення точної геометрії ріжучого інструменту, в наш час розроблено новітнє обладнання з числовим програмним забезпеченням, яке, при наявності кваліфікованого спеціаліста, гарантує якість виготовляемого інструменту.

Висока економічна ефективність ЧПК верстатів обумовлює їх широке застосування у всіх галузях. Автоматизація не оминула й підприємства важкої промисловості, до якої відносяться металургія, машинобудування, металообробка, інструментальне виробництво. Завдяки комп'ютерному управлінню верстати з ЧПК забезпечують більш швидко і якісну обробку деталей. При цьому скорочуються виробничі витрати і терміни виготовлення продукції. ЧПК верстати - це оптимальне рішення як для виготовлення штучних деталей, так і для серійного виробництва. У них ефективно поєднуються технологічні та цифрові можливості, що сприяє збільшенню гнучкості виробничого процесу.

ЧПК верстати і технологічні комплекси на їх основі застосовуються на підприємствах унікального машинобудування, які виконують замовлення для космічної, атомної, енергетичної промисловості. Складність конструкції, вагові характеристики, вимоги до якості та геометричної точності не є перешкодою для сучасного обладнання. На машинобудівних підприємствах широко використовуються сучасні обробні центри з комп'ютерним управлінням. Керований комп'ютером верстат виконує безліч різнопланових операцій і дозволяє отримувати стабільно високі якісні характеристики – точність форми і взаємного розташування поверхонь.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗУБОРІЗНІ ДОВБАЧІ

1.1 Призначення зуборізних довбачів

Зуборізні довбачі – це ріжучі інструменти, працюючі за методом обкатного огинання та призначені для нарізання зубів циліндричних прямозубих та косозубих коліс внутрішнього та зовнішнього зачеплення. Довбачі незамінні при нарізанні зубів коліс «в упор», наприклад, блочних коліс, коліс з фланцями, шевронних коліс, а також при нарізанні зубів коліс внутрішнього зачеплення, зубчатих рейок та секторів.

У машинобудуванні використовують три типи конструкції довбачів (рис. 1.1):

- дискові – використовують при нарізанні зубів коліс зовнішнього зачеплення, зубчатих рейок та секторів;
- чашкові – використовують при роботі «в упор»;
- хвостові – мають невеликий зовнішній діаметр та використовуються при нарізанні зубів внутрішнього зачеплення та мілко модульних коліс.

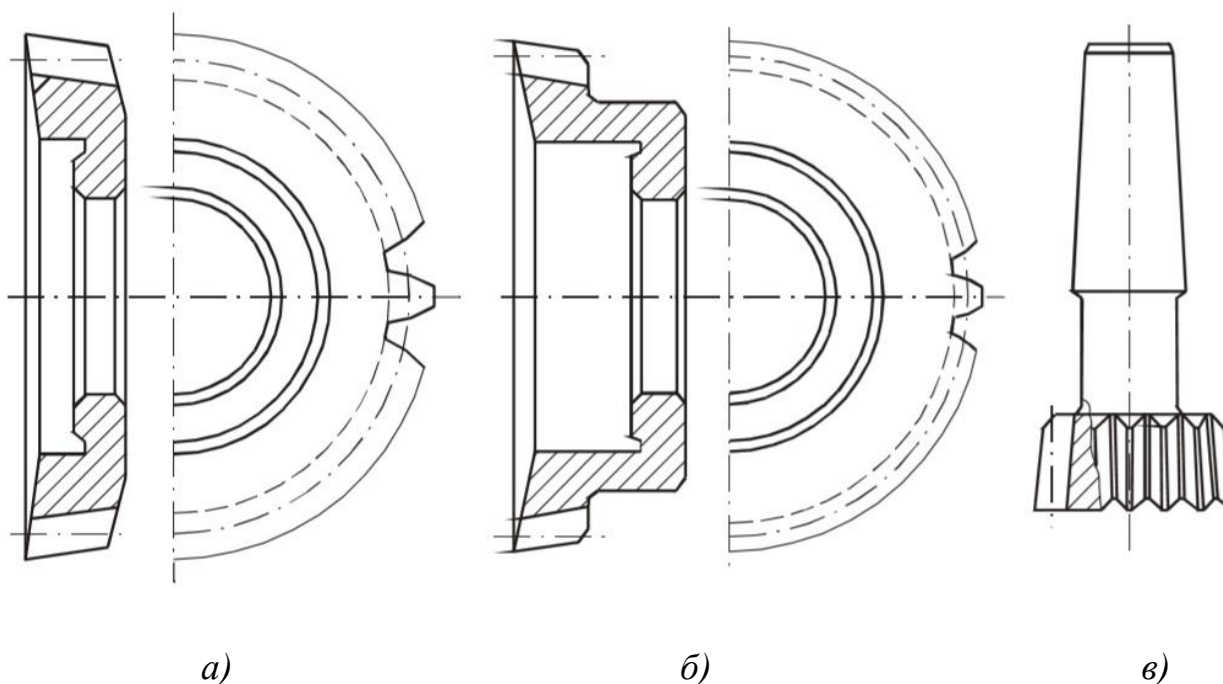


Рисунок 1.1 – Типи конструкцій довбачів: *a* – дисковий; *б* – чашковий;
в – хвостовий

Заготівкою для довбача служить прокат зі швидкорізальної сталі, наприклад зі сталі Р6М6Ф3-Ш. Отримана електрошлаковим переплавом, вона, як і сталь, виготовлена методом порошкової металургії, може мати бал карбідної неоднорідності не вище третього, тому не вимагає додаткової обробки пластичним деформуванням. Однак в разі виготовлення великорозмірних довбачів, заготовку з прокату піддають куванню для збільшення зовнішнього діаметра.

Найбільш високі технічні вимоги пред'являються до точності розмірів зубчатого профілю, точності базового отвору, відхилення зовнішнього і внутрішнього торців щодо отвору. Особливі вимоги по точності розмірів, якості поверхні і станом поверхневого шару пред'являються до зубчатому профілю довбача.

Відомі довбачі, які мають бокові поверхні зубів у виді циліндричної поверхні з утворюючими, які паралельні вісі довбача.

Довбачем можливо нарізати зубчаті колеса за методом зуботочіння, при якому вісі колеса та довбача є перехресними.

Стандартні чистові зуборізні довбачі виготовляють по ГОСТ 9323-79 п'яти типів та трьох класів точності. Основним матеріалом для виготовлення довбача є швидкоріжуча сталь. Стандартні довбачі класів точності АА, А та В призначені для нарізання коліс 6, 7 та 8 ступенів точності.

Вихідний контур коліс, що нарізуються, повинен відповідати параметрам по ГОСТ 13755-81.

Перевагою довбачів є їх висока технологічність, можливість досягнення високої точності при виготовленні та широка універсальність у застосуванні.

1.2 Конструктивні особливості

Зубонарізний довбач являє собою сукупність великої кількості елементарних зубчатих коліс з нескінченно малою шириною ободу, які мають відповідно позитивну, нульову та негативну корекцію, які закріплені на одній вісі та мають відповідні передні та задні кути. Кожне з цих елементарних коліс утворене огинаючим рухом рейки з профільним кутом α , тому будь який перетин довбача, перпендикулярний до його вісі, має один й той же евольвентний профіль.

При виготовленні довбача діаметри його початкового та основного циліндрів у різних перетинах однакові, внаслідок чого діаметри ділільних та основних окружностей у різних перетинах довбача теж однакові. Кут профілю бокових сторін зубів довбача на ділільній окружності у різних перетинах однаковий, але через позитивні задні та передні кути довбача, він виконується більше за кут профілю зубів обробляємих коліс настільки, що кут профілю проекції бокових ріжучих кромки зубів довбача на торець обробляемого колеса та заданий кут профілю зубів колеса, що обробляється на їх ділільних окружностях були однакові. Параметрами довбача, що змінюються у різних перетинах є: діаметри зовнішніх окружностей, початкових та впадин зубів, висоти головки та ніжки зубів, товщини зубів на ділільній та зовнішній окружностях, профілі ріжучих кромки зубів та профілі проекцій на торець колеса, що оброблюється.

Основні позначення параметрів довбача наведені у рисунку 1.2, таблиці 1.1.

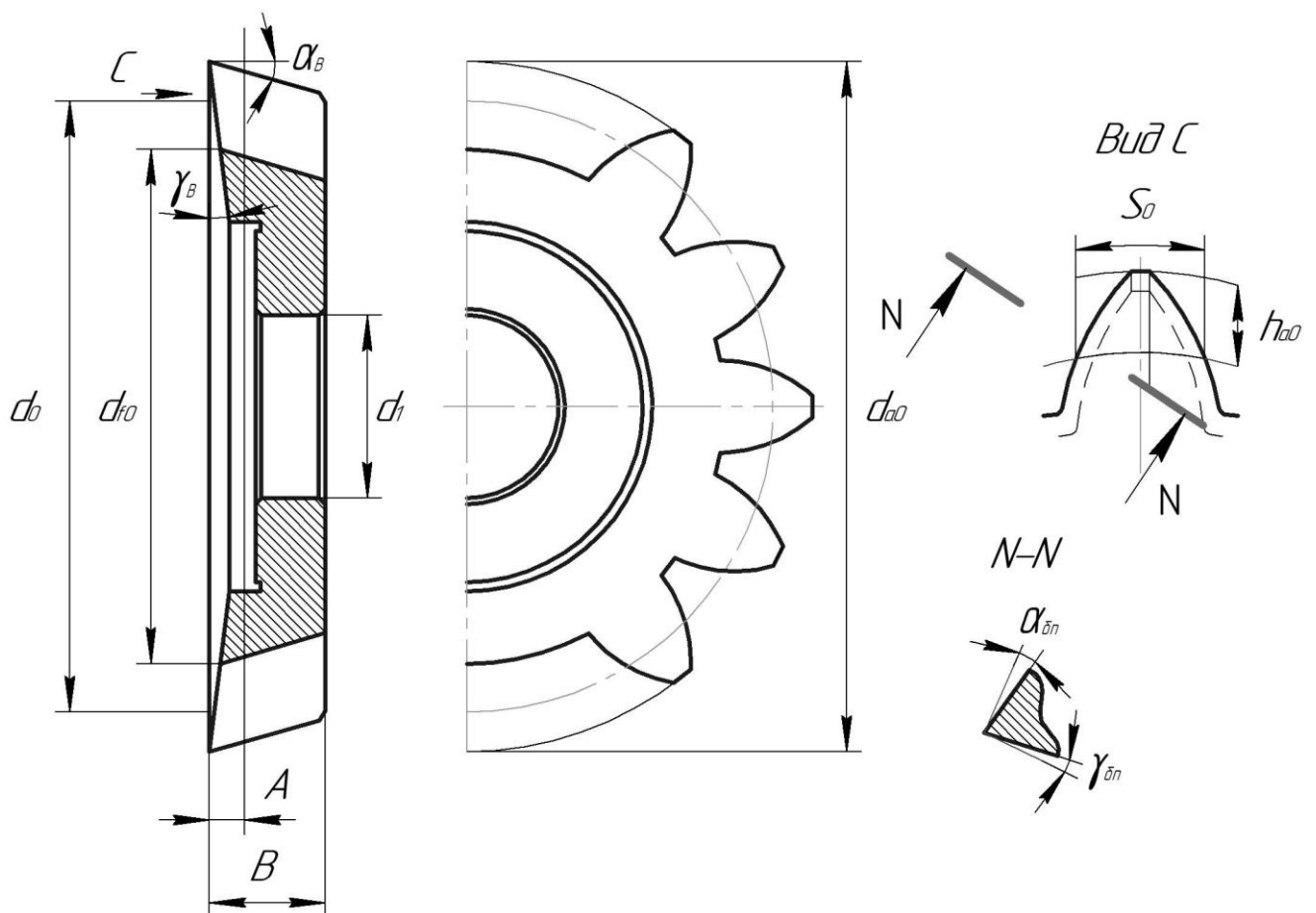


Рисунок 1.2 – Параметри довбача

Таблиця 1.1 – Параметри довбача

Позначення	Опис параметру	Розмірність
m_0	модуль	мм
α_0	кут зачеплення довбача	град
Z_0	число зубів довбача	
d_0	ділильний діаметр	мм
d_{a0}	зовнішній діаметр за вершинами зубів у вихідному перетині	мм
d_1	посадковий діаметр	мм
d_2	діаметр виточки	мм
x_0	коефіцієнт зсуву вихідного контуру	
A	відстань вихідного перетину від передньої поверхні	мм
B_1	ширина маточини	мм
B	висота довбача	мм
d_{b0}	діаметр основної окружності	мм
X	радіальний зсув вихідного контуру	мм
S_0	товщина зубу у вихідному перетині по ділильній окружності	мм
S_{a0}	товщина зубу по ділильній окружності у площині передньої поверхні	мм
S'_{a0}	товщина зубу за вершинами зубів	мм
r_{b0}	радіус основної окружності	мм
r_0	радіус ділильної окружності	мм
$\gamma_в$	передній кут довбача	град
$\alpha_в$	задній кут довбача	град
$\alpha_{б.0}$	задній боковий кут довбача по ділильному циліндру	град
α_N	задній боковий кут у нормальному перетині	град
α_x	кут тиску у будь-якій точці евольвенти	град
h_{a0}	висота головки зубу довбача у вихідному перетині	мм
h_{f0}	висота ніжки зубу довбача у вихідному перетині	мм
P_{b0}	основний крок	мм
θ	інволюта або евольвентний кут	
h_0	висота зубу	мм
φ_0	половина центрального куту, який відповідає товщині зубу по ділильній окружності	град
φ'_0	половина центрального куту, який відповідає товщині зубу по ділильній окружності у передній площині	град
γ_N	передній кут у нормальному перетині	град
h'_{a0}	висота головки зубу довбача у передній площині	мм
h'_{f0}	висота ніжки зубу довбача у передній площині	мм
A_c	корекція гранично сточеного довбача	мм
d_{f0}	внутрішній діаметр у вихідному перетині	мм
d'_{f0}	діаметр окружності впадин зубів у передній площині	мм

Зуби довбача, як зубчастого колеса, виконуються зі змінною величиною зсуву вихідного контуру від переднього торця інструменту до заднього. Це забезпечується заднім кутом α_B на вершині довбача та оформленням бокових сторін зубів евольвентними гвинтовими поверхнями. Останні забезпечують бокові задні кути α_6 та $\alpha_{6,0}$, а також збереження профілю інструменту після його переточки по конічній задній поверхні (γ_B – передній кут на вершині).

Перетин Б-Б (рис. 1.3), у якому коефіцієнт зсуву, або як він ще називається, коефіцієнт корекції, вихідного контуру $x_0=0$, називається вихідним перетином, а його відстань A від переднього торця – вихідною відстанню. Величина x_0 на передньому торці та A зв'язані співвідношенням:

$$x_0 m = A t g \alpha_B \quad (1.1)$$

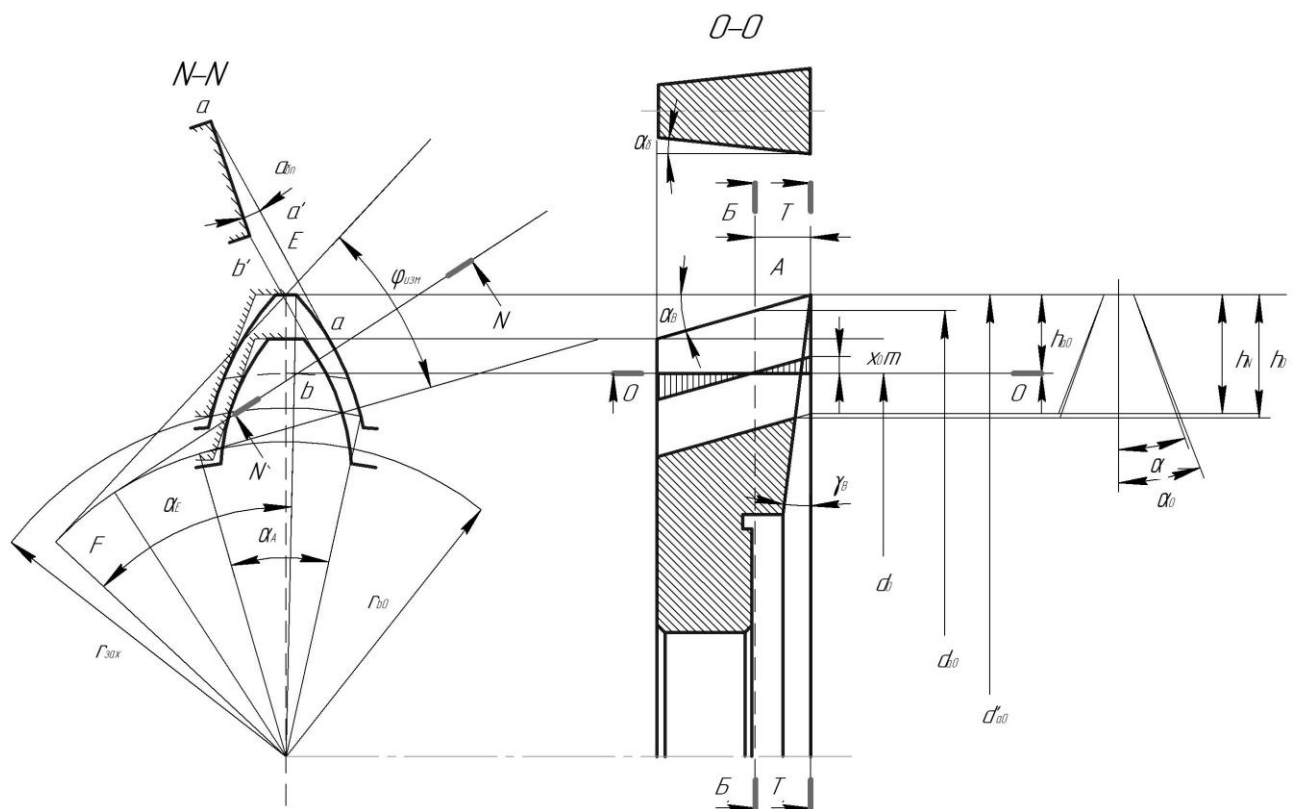


Рисунок 1.3 – Довбач, як зубчасте колесо – геометрія інструменту

Коефіцієнт корекції x_0 на передньому торці довбача, або вихідна відстань A , є основними параметрами, від яких залежать конструктивні розміри інструменту. Максимальне доцільне значення x_0 при проектуванні довбачів обмежується допустимим загостренням вершин зубів та можливої інтерференції при зачепленні нарі-

заного колеса з парним колесом. У стандартних довбачів по ГОСТ 9323-80 величина x_0 визначається по формулі:

$$x_0 = 0,01 z_0 - 0,1 \quad (1.2)$$

При переточках довбача у процесі його експлуатації величини x_0 та A зменшуються. У ряді випадків необхідно знати фактичне значення x_0 багаторазово переточеного інструменту, щоб оцінити можливість виключення похибок обробки конкретного колеса.

Параметр ділильного циліндру довбача заданого модулю:

$$d_0 = mz_0 \quad (1.3)$$

Висоти головки h_{a0} та ніжки h_{f0} зубу на передньому торці довбача визначаються співвідношеннями:

$$h_{a0} = h_{a0}^* m + A \operatorname{tg} \alpha_B \quad (1.4)$$

$$h_{f0} = h_{f0}^* m + A \operatorname{tg} \alpha_B \quad (1.5)$$

де коефіцієнти головки h_{a0}^* та ніжки h_{f0}^* мають значення:

- для стандартних довбачів з $d_H = 75 - 200$ мм по ГОСТ 9323-60 при $m=1-1,25$ мм, $h_{a0}^* = h_{f0}^* = 1,25$; при $m=2,75-12$ мм, $h_{a0}^* = h_{f0}^* = 1,3$.

- для довбачів по ГОСТ 9323-80 незалежно від величини модулю $h_{a0}^* = h_{f0}^* = 1,25$.

Діаметри окружностей вершин та впадин довбача:

$$d_{a0} = d_0 + 2h_{a0} \quad (1.6)$$

$$d_{f0} = d_0 - 2h_{f0} \quad (1.7)$$

Товщина зубу по дузі ділильного циліндру на передньому торці інструменту:

$$S_0 = \frac{\pi m}{2} + \Delta S + 2A \operatorname{tg} \alpha_B \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.8)$$

де ΔS – допоміжне стовщення зубу довбача для утворення бокового зазору у передачі. Значення ΔS є табличним, в залежності від модулю та діаметру довбача.

Розміри довбача у вихідному перетині визначаються аналогічним чином.

У довбача слід розрізняти наступні кути та діаметри:

1) α – кут профілю вихідного контуру колеса, що нарізується. Для стандартних довбачів $\alpha=20^\circ$. Діаметр основної окружності буде дорівнювати:

$$d'_{b0} = d_0 \cos \alpha \quad (1.9)$$

Ці параметри використовуються при розгляданні довбача як зубчатого колеса, при аналізі можливих явищ інтерференції колеса, що нарізується, при зачепленні з парним колесом, підрізання ніжки або зрізу головки зубів колеса, при розрахунку товщини зубів довбача на ділильній або довільній окружностях.

2) α_0 – кут профілю бокових задніх поверхонь зубів довбача на ділильній окружності у перетинах площиною, перпендикулярній вісі інструменту, визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \gamma_B \operatorname{tg} \alpha_B}, \quad (1.10)$$

де передній та задній кути на вершинах зубів у стандартного довбача становлять $\gamma_B=5^\circ$, $\alpha_B=6^\circ$. Діаметр основної окружності дорівнює:

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha \quad (1.11)$$

Ці параметри використовуються при розгляданні довбача як геометричного тіла, як ріжучого інструменту, при розрахунку задніх кутів на бокових ріжучих кромках зубів довбача, при налазці зубошліфувального верстату та евольвентоміру для контролю профілю.

Таким чином довбач повинен бути виготовлений з такими параметрами, щоб після заточки передньої поверхні під кутом γ_B на проекції ріжучої кромки на торець інструменту отримати на ділильній окружності кут вихідного профілю α та основну окружність.

1.3 Схема обробки та основні рухи при нарізанні зубчастих коліс довбачами

Довбач закріплюється на штоссілі зубодовбального верстату совісно вісі обертання штосселю. Вісь довбача та заготовки колеса, що обробляється, паралельні. У процесі обробки довбач здійснює зворотно-поступовий рух, паралельний вісі заготовки: при робочому ході – головному русі – відбувається процес різання; перед зворотнім холостим ходом V_{xx} додатково виконується відвід довбача S_{xx} у радіальному напрямку від вісі заготовки для виключення дотику зубів довбача до заготовки, що обробляється (рис. 1.4).

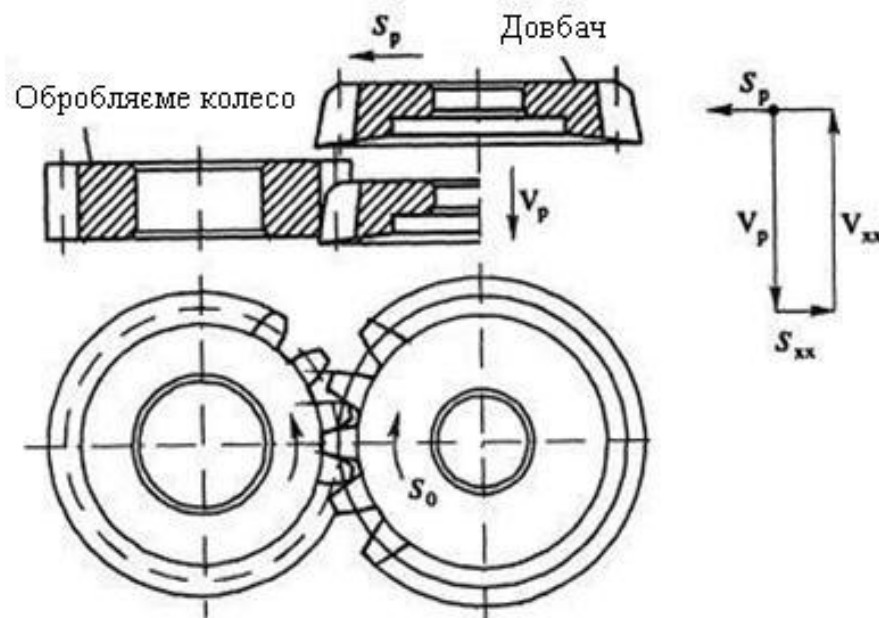


Рисунок 1.4 – Схема роботи зуборізного довбача: V_p – швидкість різання; S_0 – кругова подача; S_p – радіальна подача; V_{xx} – швидкість холостого ходу; S_{xx} – відвід довбача від заготовки при холостому ході

Крім того, довбач та заготовка постійно обертаються довкола своїх вісей, забезпечуючи рух обкату, котрий теж є рухом подачі ріжучих кромкик відносно заготовки, що обробляється. Головний рух та рух обкату створюють результируючий рух, який забезпечує різання та профілювання.

На початку обробки окрім вищевказаних рухів довбач здійснює допоміжний рух врізання у заготовку колеса з радіальною подачею на повну висоту зубів колеса, після чого радіальна подача завершується.

1.4 Вплив геометричних параметрів

У наш час існує цілий ряд зуборізних довбачів, а також способів їх використання, що дозволяє значно збільшити продуктивність процесу зубодовбання, збільшити стійкість довбачів та покращити якість отриманих зубчатих коліс.

Як показали дослідження [1], на стійкість зуборізних довбачів та продуктивність процесу, на точність зубчатих коліс та якість обробленої поверхні головним чином впливають наступні фактори:

- фізико-механічні властивості інструментального та обробляемого матеріалів;
- режими різання – швидкість подачі, кругова та радіальна подачі;
- параметри довбача та колеса, що нарізується – модуль, число зубів, кут зачеплення, висота колеса;
- геометричні параметри зуба довбача – передній та задній кути при вершинах та бокових сторонах;
- величини та характер зміни сил та температури різання.

Вибір раціональних режимів різання повинен враховувати факт, що допустимий знос для довбачів мілкового та середнього модулю при чистовій обробці становить 0,06-0,12 мм, при цьому період стійкості становить 240-300 хв. Тільки у випадку недостатньої жорсткості або потужності зубодовбального верстату слід призначати більше двох проходів, а показник кругової подачі при чистовій обробці обмежується ступенем точності та шорсткістю обробки, та коливається у широких межах $S_{дв.х} = 0,07-0,6$ мм/дв.хід. З метою збільшення продуктивності зубодовбання зазвичай рекомендується збільшувати не швидкість різання, а кругову подачу. Нечисленні дослідження, проведені при зубодовбанні жароміцних сталей та сплавів, свідчать про надзвичайно низьку стійкість інструменту і тому, прийняті режими різання є такими низькими, особливо для сплавів на нікелевій основі.

На стійкість довбачів суттєвий вплив надає геометрія його зубів. У довбача є задні та передні кути на вершинах і бокових сторонах профілю зубів. Ці кути слід розглядати у трьох перерізах. Другий задній кут розраховується при проектуванні інструменту. Задній кут у нормальному перерізі до бокового профілю зубу

вказує фактичний зазор між задній поверхнею у даній точці леза зубу та площиною різання. Передні кути теж вимірюються у вищевказаних трьох площинах. Так, збільшення переднього кута γ_v до 12° - 15° та заднього кута α_v до 9° - 12° покращує стійкість у 3-4 рази, по відношенню до стандартизованих значень цих кутів.

При проведенні досліджень була розглянута залежність значення параметрів задніх та передніх кутів на стійкість інструменту та показаний знос за номерами зубів обраних для експериментів довбачів. Для проведення роботи були взяті довбачі зі значенням задніх кутів $\alpha_v=6^\circ$, $\alpha_v=9^\circ$, $\alpha_v=12^\circ$, та передніх кутів $\gamma_v=5^\circ$, $\gamma_v=15^\circ$. За показані на графіках дані було взято середнє арифметичне отриманих за дослідженнями значень.

За першим графіком (рис. 1.5) бачимо, що течія усіх кривих зносу за вершинами по часу виникає за звичайним законом зносу інструменту – спочатку період приробітки, потім період нормального зносу, а третій період підвищений знос, який є попереднім перед повним руйнуванням тіла зубу.

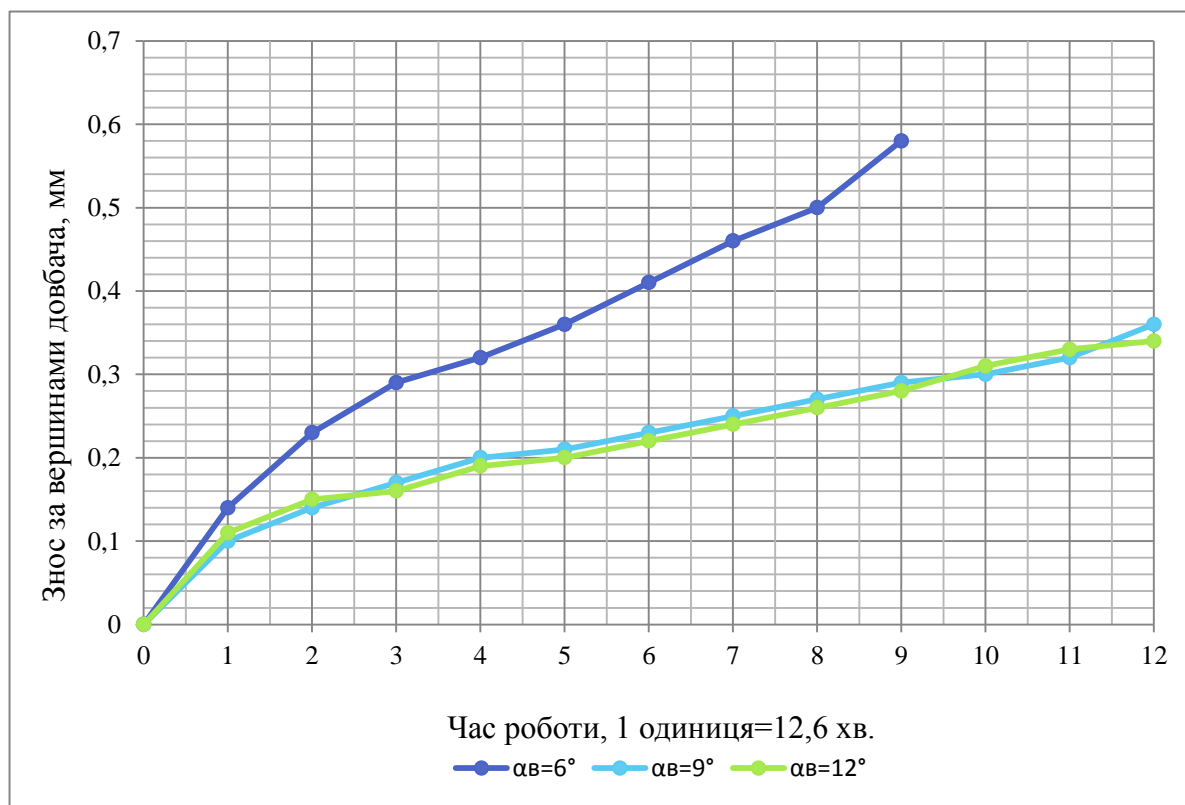


Рисунок 1.5 – Графік залежності зносу за вершинами довбача від параметру заднього кута α_v

За основу для розрахунку даних для графіку максимального зносу довбачів за номерами зубів (рис. 1.6) були взяті зуби довбачів з найбільшим зносом, так як знос саме цих зубів лімітував стійкість інструменту.

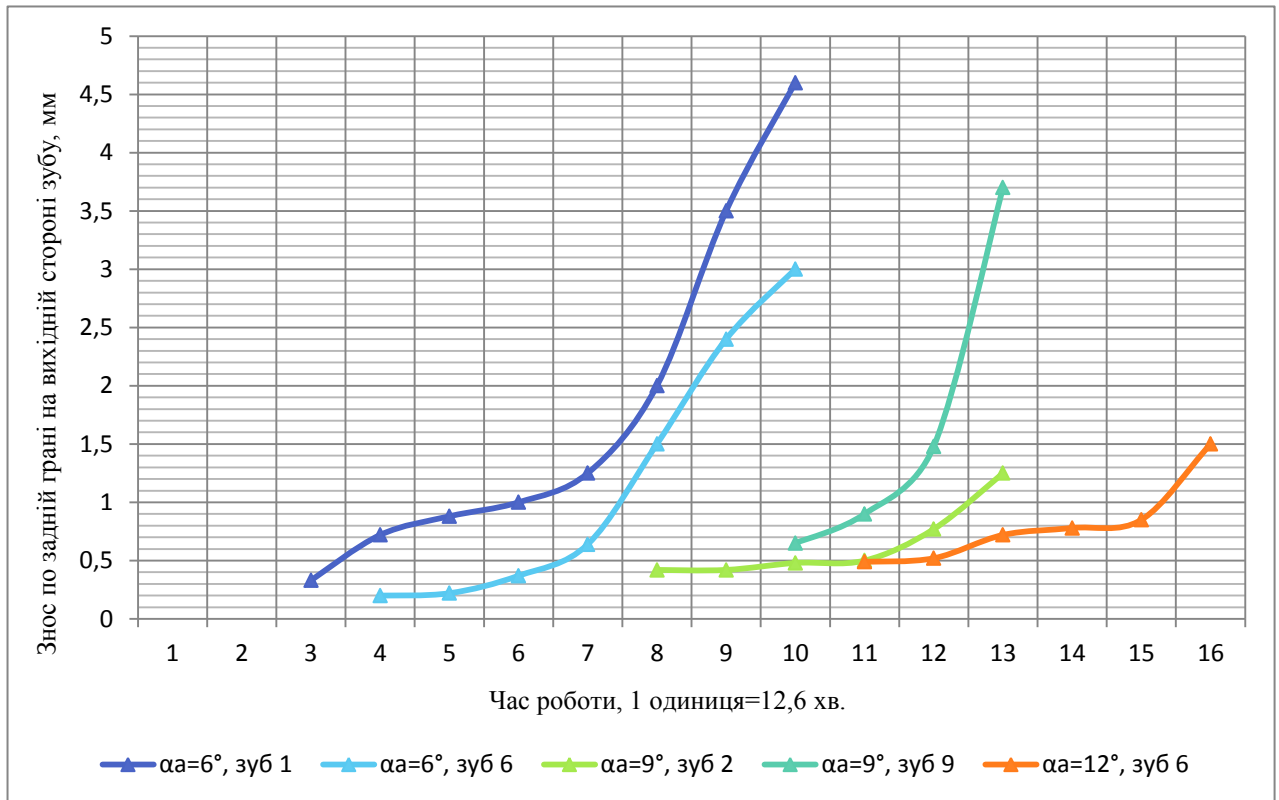


Рисунок 1.6 – Графік максимального зносу довбачів за номерами зубів

З порівняння отриманих даних можна зробити висновок, що знос у довбачів з кутом $\alpha_b=6^\circ$ приблизно у двічі більший за значення зносу довбачів з кутами $\alpha_b=9^\circ$ та $\alpha_b=12^\circ$, отже стійкість довбачів з кутами $\alpha_b=9^\circ$ та $\alpha_b=12^\circ$ також вдвічі більша.

Результати дослідження залежності стійкості від значення передніх та задніх кутів довбача показали, що найбільш стійкою парою значень є $\alpha_b=9^\circ$ та $\gamma_b=15^\circ$ (рис. 1.7). Їх стійкість у 4 рази більша за стійкість довбачів стандартної конструкції. Збільшення передніх кутів повинно особливо відобразитися на чистовому зубодовбані, так як по-перше поверхня зубів буде якісніша за рахунок більшої гостроти ріжучого леза, а по-друге, зменшення сил різання створить кращі умови нарізання зубів за рахунок зменшення шкідливого впливу зазорів та пружних деформацій у верстаті, які призводять до збільшення биття заготовок, що нарізуються.

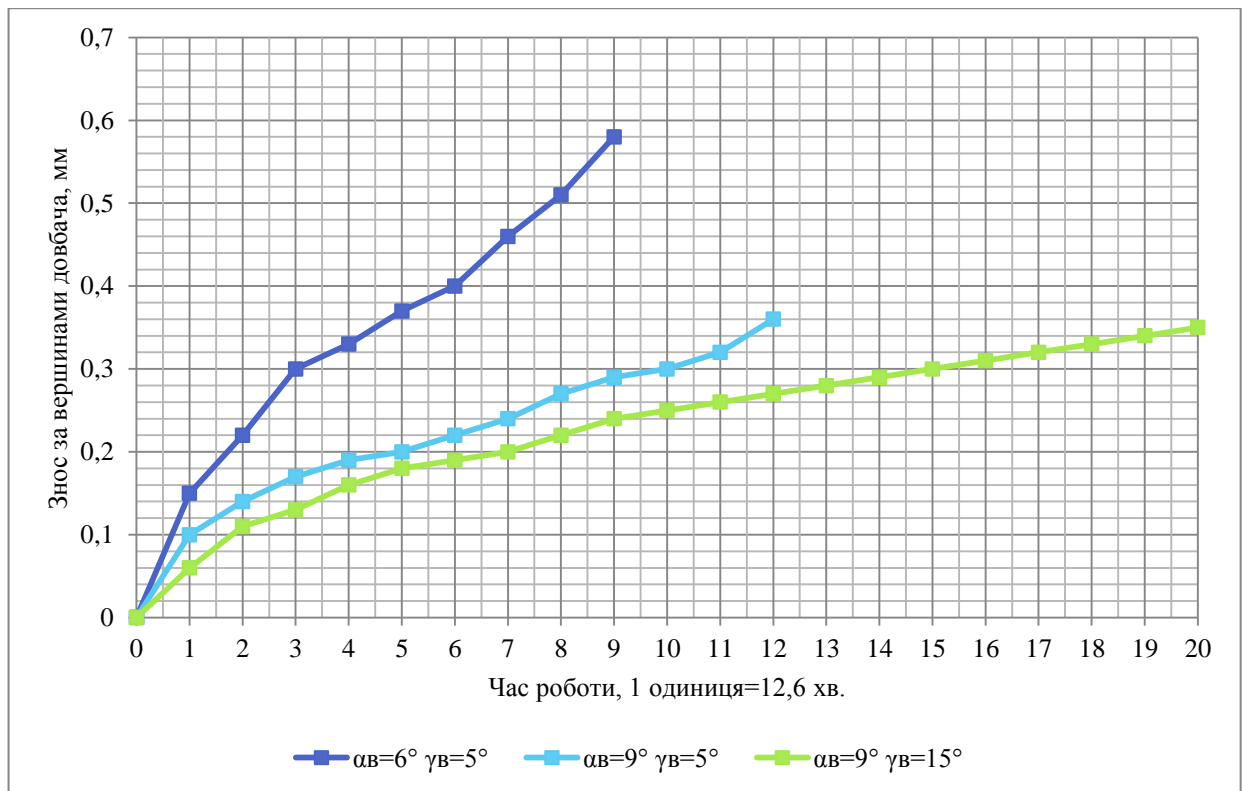


Рисунок 1.7 – Графік залежності зносу за вершинами довбача від параметрів заднього та переднього кутів

Підсумкові дані по зносу поверхонь зубів на обраній парі кутів $\alpha_b=9^\circ$ та $\alpha_b=15^\circ$ показані на рисунку 1.8.

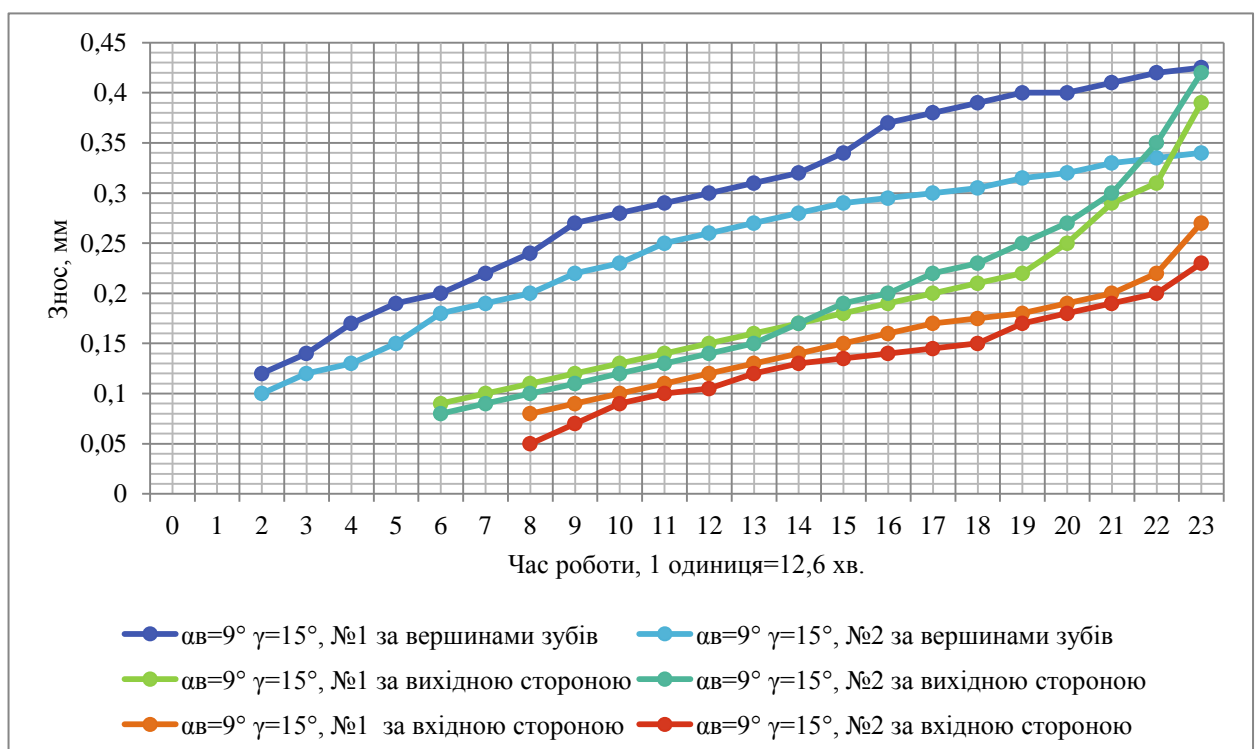


Рисунок 1.8 – Графік зносу зубів довбача

Збільшення переднього куту рекомендується з метою збереження постійної величини куту зачеплення при переточках для подальшого збереження точності довбача. Стандартна геометрія не забезпечує високої стійкості при обробці чавунів, але в даному випадку рекомендується збільшити величину заднього куту до $+18^\circ$, а передній кут залишити нульовим. Для твердосплавних довбачів відомості щодо впливу геометрії різняться ще більше. Так у деяких наукових роботах говорять о доцільності значного зменшення переднього куту до -20° , а у інших – рекомендують зберігати геометрію довбача близькою до стандартних значень.

При проектуванні довбача основним завданням є визначення вихідної відстані A нового і сточеного A_C довбача, величина якого залежить від допустимих значень позитивного і негативного зсувів профілю. Так як з точки зору збільшення числа переточувань i , отже, сумарною стійкості довбача сума значень A і A_C повинна бути якомога більшою, то при проектуванні прагнуть до призначення їх максимально можливих величин.

Експериментально встановлено [2], що при збільшенні позитивного зсуву підвищуються стійкість довбача і якість обробленої поверхні. При цьому накладаються два обмеження:

1) Зі збільшенням коефіцієнту зсуву довбача ($+x_0$) скорочується довжина вершинної різальної кромки, тобто відбувається загострення зуба по вершині, на яку в процесі різання доводиться найбільше навантаження. Це може привести до різкого зниження стійкості довбача при переході через певне мінімально допустиме значення довжини цієї кромки.

2) З ростом коефіцієнту зсуву довбача ($+x_0$) з'являється небезпека інтерференції зубчастих коліс, нарізаних довбачем, під якою розуміють накладення різноманітних профілів зубів коліс, нарізаних одним і тим же довбачем при зачепленні. Зі збільшенням $+x_0$ збільшується висота перехідної кривої ніжки зуба шестерні z_1 , яка нарізується довбачем. У зачепленні з колесом z_2 неевольвентна ділянка шестерні може контактувати з евольвентним профілем колеса. При цьому виникають вібрації і можлива навіть поломка зубів коліс. Тому інтерференція неприпустима.

При проектуванні довбачів найбільше значення $+x_0$ зазвичай знаходять за першим обмеженням, а по другому проводиться перевірка на відсутність інтерференції. Залежність коефіцієнтів зсуву профілю та ширини площадки показано на рисунку 1.9.

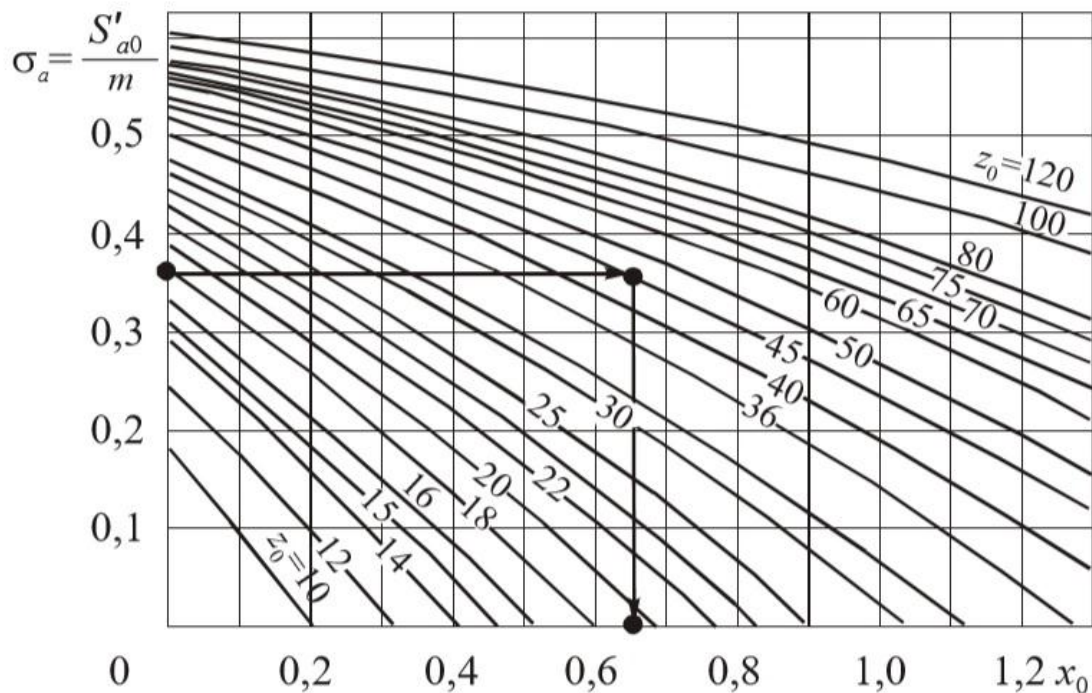


Рисунок 1.9 – залежність коефіцієнту зсуву профілю x_0 від коефіцієнту ширини площадки на вершині зубу довбача σ_a

Розрахунок допустимих значень $+x_0$ проводять за відповідними формулами [2].

1.5 Теорія евольвентного зачеплення

Евольвентне зачеплення – це зубчате зачеплення, у якому профілі зубів накреслені по евольвенті окружності. Це зачеплення дозволяє передавати рух з постійним передаточним відношенням. Для цього необхідно, щоб зуби зубчатих коліс були накреслені по кривій, у якої загальна нормаль, яка проведена через точку дотику профілів зубів, завжди проходила через одну й ту ж точку на лінії зачеплення, яка називається полюсом зачеплення.

Характер зубчатого зачеплення визначається наступними властивостями евольвенти:

- виробляюча пряма одночасно є дотичною к основній окружності та нормаллю до всіх виробляючих нею евольвент;
- дві евольвенти однієї і тієї ж основної окружності – еквідистанти, тобто відстань між ними у напрямку нормалі всюди однакова;
- зі збільшенням радіусу основної окружності евольвента стає більш пологою та при прагненні радіусу до безкінечності, евольвента стає прямою лінією;
- радіус кривизни евольвенти дорівнює довжині дуги основної окружності, при цьому центр кривизни евольвенти у даній точці знаходиться на основній окружності.

З точки зору теорії зачеплення евольвентних зубчатих коліс, довбач являє собою кориговане зубчате циліндричне колесо, зуб'я якого утворені шляхом зміщення вихідного контуру рейки та мають у кожному перетині, перпендикулярному до вісі, своє особливе зміщення цього контуру.

1.6 Евольвентний профіль

При виготовленні довбача на евольвентомірі перевіряється похибка евольвентного профілю бокових задніх поверхонь зубів у перетинах площиною, перпендикулярною вісі інструменту (рис. 1.10). Евольвента на зубі довбача починається від основної окружності радіусу r_{b0} . Кут профілю евольвенти α_E у точці E вимірюється між дотичною T до профілю та продовженням радіус-вектору OE точки, що розглядається. Пряма EF є нормаллю до евольвенти NAE.

На цей кут повертають довбач, який встановлений на евольвентомірі. При ідеально виконаній евольвенті, індикатор, який наладжений на нуль у точці А, не повинен показувати відхилень впродовж усієї дуги виміру АЕ.

Задні кути на бокових ріжучих кромках довбача розглядаються наступним чином:

1) У перетині ділительним циліндром - α_{δ} . це необхідно для визначення товщини зубу довбача. Він дорівнює куту нахилу гвинтової лінії на ділительному циліндрі:

$$tg\alpha_{\delta} = tg\alpha_B tg\alpha_0$$

2) У перетині нормальному до ріжучої кромки - $\alpha_{\delta n}$, який має однакову величину для усіх точок профілю довбача та є дійсним боковим заднім кутом у процесі різання. Він дорівнює куту нахилу гвинтової лінії на основному циліндрі:

$$tg\alpha_{\delta n} = tg\alpha_B \sin\alpha_0.$$

1.7 Вимір елементів прямозубого довбача

Вимір товщини зубу на ділительній окружності проводять кромочним штангензубоміром (рис. 1.11).

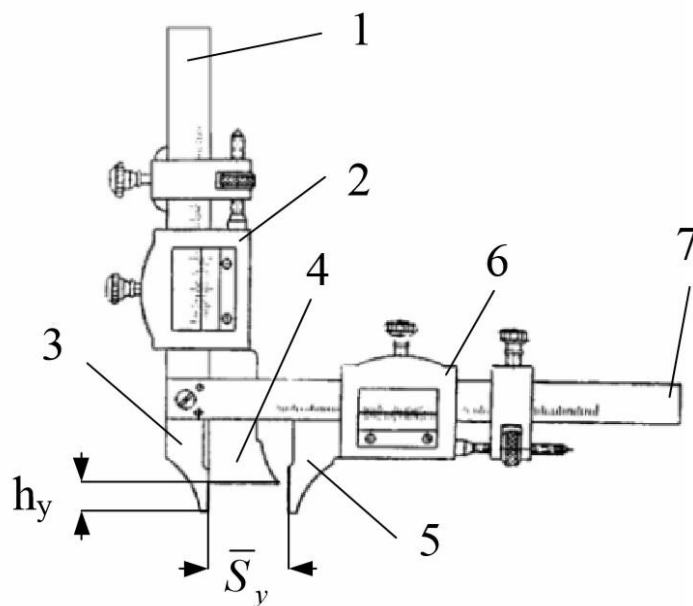


Рисунок 1.11 – Кромочний штангензубомір

Штангензубомір складається з взаємно перпендикулярних лінійок 1 та 7 з губками 3 та 5, по яким можуть переміщатися рамки 2 та 6 з ноніусами. Рамка 2 пов'язана з опорною планкою 4, а рамка 6 – з рухомою губкою 5. Шкала лінійки 7 служить для виміру товщини зубу по хорді \bar{S}_y , а шкала лінійки 1 забезпечує установку опорної планки 4 на заданій відстані h_y .

Товщину зубу на деякій окружності радіусу r_y можна виміряти не по дузі окружності S_y , а по хорді \bar{S}_y на заданій відстані h_y від окружності виступів радіусу r_{a0} – зовнішній окружності довбача (рис. 1.12).

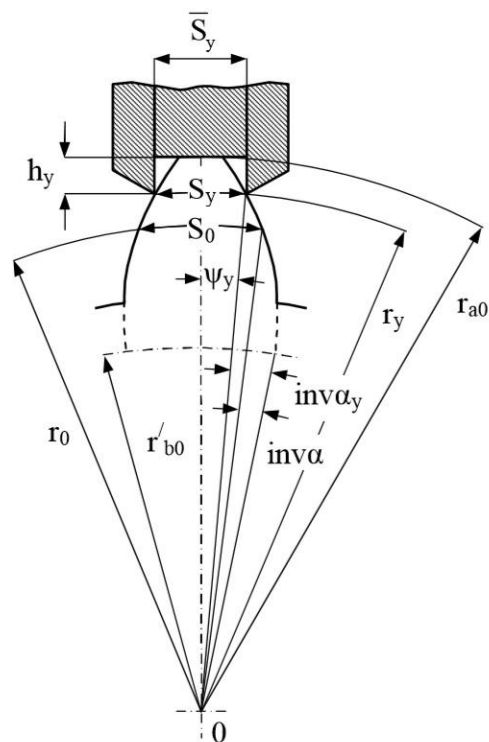


Рисунок 1.12 – Вимір товщини зубу по хорді

Передній кут та задній кут при вершині зубів довбача можна визначити на універсальному кутомірі для контролю геометричних параметрів різців (рис. 1.13,а) або використовуючи маятниковий кутомір (рис. 1.13 ,б)

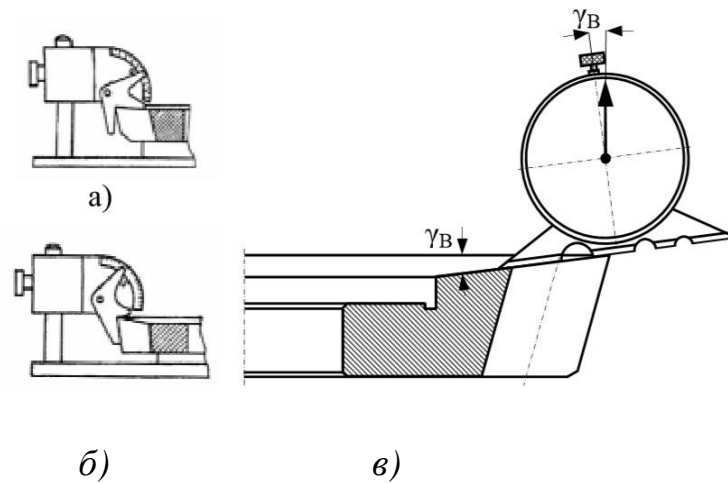


Рисунок 1.13 – Вимір геометрії довбача: *a* – переднього куту на універсальному кутомірі; *б* – заднього куту на універсальному кутомірі; *в* – переднього куту маятниковим кутоміром

Більш точно ці кути можливо визначити за допомогою індикатору на пробі для контролю черв'ячних фрез типу КЗФ-270. Довбач закріплюють в оправці, яка встановлюється у центрах приладу. Вимірювальний наконечник індикаторної головки необхідно встановлювати по центровій плитці на висоті центрів приладу.

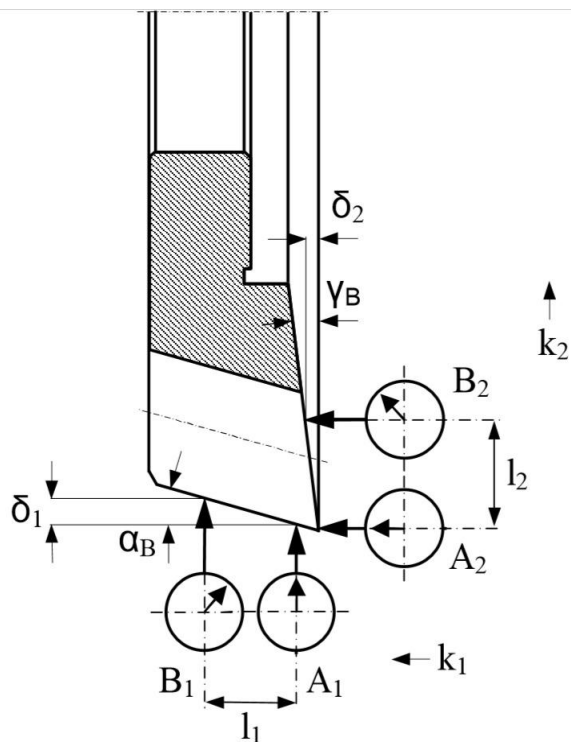


Рисунок 1.14 – Визначення α_B та γ_B за допомогою індикаторів

Згідно схеми виміру (рис.1.14) у позиції A_1 , при вимірі α_B , індикатор на-строюється у нуль. Переміщуючи індикатор паралельно вісі інструменту на відс-тань l_1 у позицію B_1 знімають показання індикатору δ_1 . Повертаючи індикаторну головку на 90° процедура повторюється при замірі переднього куту γ_B .

Вимір похибок евольвентного профілю проводиться на універсальних куто-мірах типу КЕУ або Е1. Схема конструкції приладу КЕУ наведена на рисунку 1.15. Вимір похибок заснований на порівнянні профілю, що досліджується з тео-ретичною евольвентою.

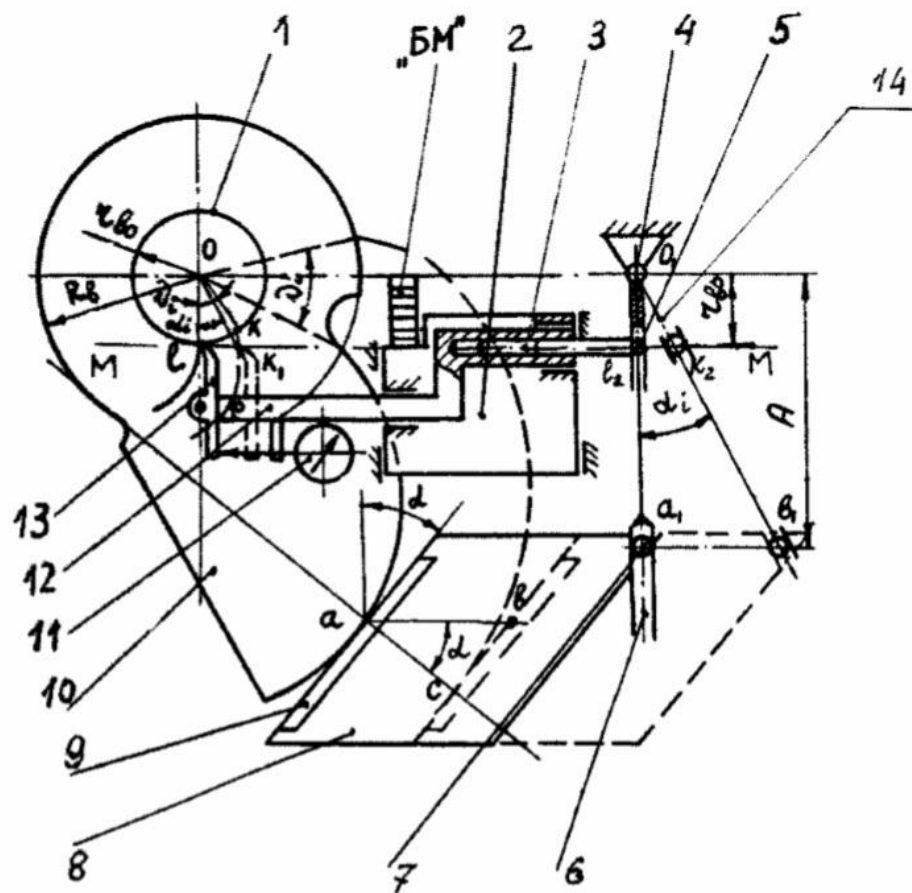


Рисунок 1.15 – Схема роботи евольвентоміру КЕУ

Принцип роботи приладу КЕУ заснований на використанні еталонного ку-лаку 10 з радіусом основної окружності R_b , який закріплений на одному шпинделі з довбачем 1, що досліджується. При повороті шпинделю евольвентний кулак 10 та довбач 1 повертаються на один й той же кут розгорнення φ_i . Вимірювальний наконечник 13 з індикатором 11, який встановлений у вимірювальній каретці 12,

повинен переміститися по дотичній до основної окружності довбача на відстань lk_1 . Точка k_1 буде належати до теоретичної евольвенти. При цьому величина переміщення lk_1 дорівнює довжині дуги lk по основній окружності довбача. Необхідне переміщення забезпечується поворотом верхньої лінійки 14 на кут α_i через ролик 5, який закріплений на повзуні 3, та жорстко зв'язаний з вимірювальною кареткою 12.

Поворот верхньої лінійки на кут α_i забезпечується нижньою лінійкою 6, яка закріплена на загальному валу 4. Лінійки 6 та 14 розташовані у одній вертикальній площині. При повороті кулаку 10 на кут ϑ_i , каретка 8 з закріпленою на ній планкою 9 переміститься вправо та через ролик 7 забезпечить поворот нижньої 6 та верхньої 14 лінійок на необхідний кут α_i .

При настройці приладу вершину вимірювального наконечнику 13 необхідно розташувати на відстані від вісі довбача, рівної радіусу основної окружності r_{b0} . Це забезпечується переміщенням спеціального супорту 2 з використанням блоку кінцевих мір «БМ». Похибка профілю, що контролюється, фіксується індикатором годинникового типу 1-МКГ. Даний вимір визначає клас точності довбача.

1.8 Методи формування евольвентного профілю

Найбільш важкою та відповідальною операцією у технологічному процесі виготовлення довбача є шліфування профілю по евольвенті.

Розглянемо три методи шліфування профілю по евольвенті (рис.1.16):

- метод фасонного шліфування;
- метод обкату;
- метод огинання (окремий випадок методу обкату).

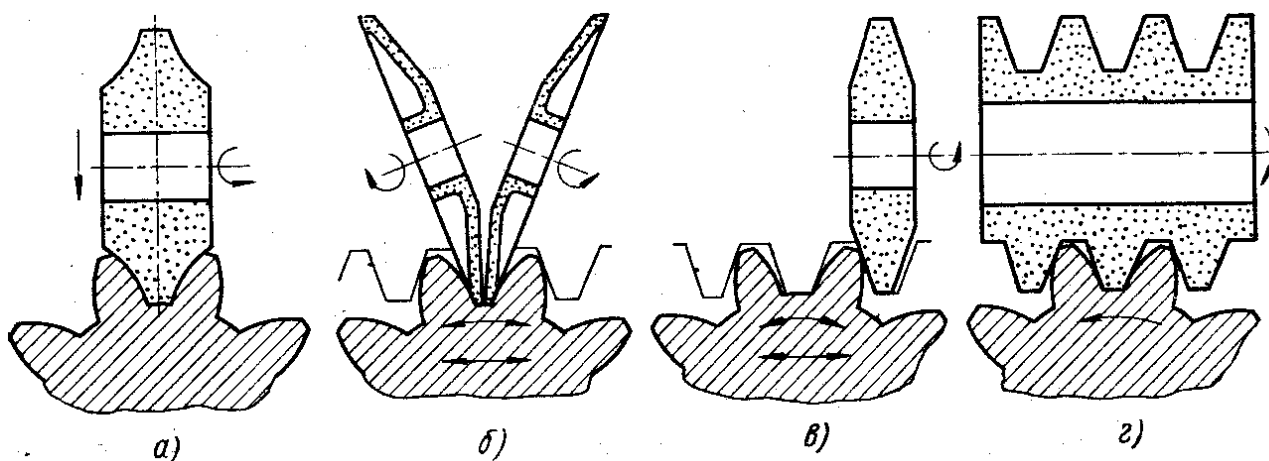


Рисунок 1.16 – Методи шліфування зубів: *a*- копіювання або фасонного шліфування; *б, в* – обкату; *г* – обкату черв'ячним шліфувальним кругом

В залежності від величини модулю та числа зубів довбача, обробка його профілю шліфуванням може бути виконана різними методами, кожний з яких має свою галузь застосування.

1.8.1 Метод копіювання

Даний метод полягає у тому, що зубчате колесо закріплюється у оправці, яка встановлена у ділільному пристрої на столі зубошліфувального верстату. Шліфувальний круг заправлений точно за профілем оброблюемий зубів (рис.1.17). Стіл має зворотно-поступовий рух з заданою швидкістю. Після кожного ходу столу зубчате колесо повертається ділільним пристроєм на один або декілька зубів. Радіальна подача передається шліфувальному круга після кожного повного обороту зубчатого колеса.

Обробка евольвентного профілю зубу довбача методом фасонного шліфування по дузі, яка замінює окружність, виконується на шлицешліфувальних верстатах, на модернізованих плоскошліфувальних верстатах або на спеціальних зубошліфувальних верстатах.

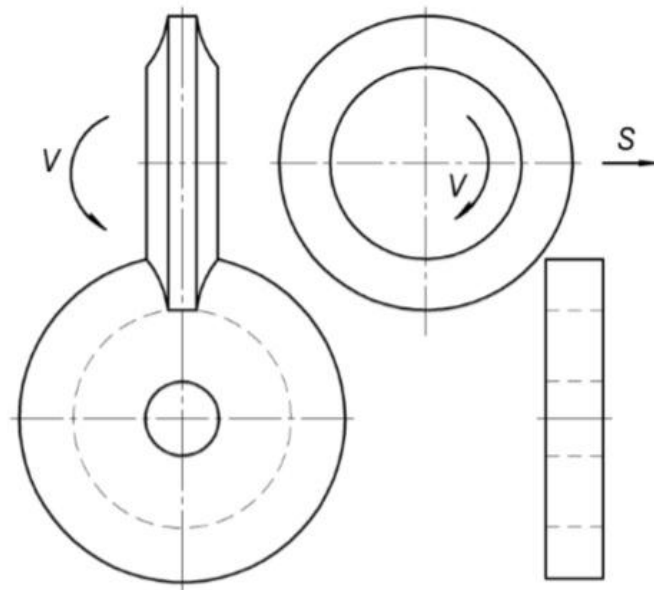


Рисунок 1.17 – Метод копіювання або фасонного шліфування

Обробка евольвентного профілю за даним методом характеризується наступними показниками:

- утворення профілю методом фасонного шліфування дозволяє витримати точність профілю зубу за дугою окружності, яка замінює евольвенту, та відрізняється від евольвенти на 0,005-0,008 мм, з відхиленням за шагом 0,001-0,002 мм;
- має високу, в порівнянні з методом огинання, продуктивність;
- не потребує робітників високої кваліфікації;
- викликає похибки профілю при виготовленні довбачів з модулем більше 1 мм;
- точність профілю суттєво падає при виготовленні довбачів з числом зубів менш ніж 12;
- має відносно важку систему правки абразивного круга.

Виготовлення довбачів за методом фасонного шліфування не дозволяє змінювати вихідну відстань у процесі експлуатації, це значить, що переточка довбача буде виконана в кращому випадку не більше двох разів. Це пояснюється суттєвим зміненням профілю від номінального значення при негативному зміщенні вихідної відстані.

Для отримання евольвентного профілю при шліфуванні методом копіювання евольвенту зазвичай заміняють окружністю певного радіусу. Заміна евольвенти кривою другого порядку – еліпсом дає істотні переваги в порівнянні з заміною евольвенти окружністю. Евольвентний профіль має змінний радіус кривизни, що змінюється в невеликих межах. При цьому виникає невелика похибка профілю, яка збільшується з ростом модуля. Круг, розташований під кутом до площини, має проекцію еліпса на цю площину. Цей принцип буде використовуватися для отримання евольвентного профілю на алмазному круга для методу фасонного шліфування. Для заміни евольвенти кривої другого порядку, а саме еліпсом, необхідно знати кількість точок евольвенти, для того щоб вписати його в профіль.

1.8.2 Метод обкату

Більш високу точність обробки дає шліфування зубів методом обкату. При методі обкату центроїди інструмент та довбач, що нарізується, котяться один за одним без ковзання, а профіль зубів формується як огинаюча різних положень ріжучих кромek при зубошліфуванні. Форма ріжучих зубів не збігається з профілем впадин між зубами довбача та визначається у результаті досить складного розрахунку. За цим принципом працюють зубошліфувальні верстати, які формують евольвентний профіль на зуборізному довбачі за допомогою черв'ячного абразивного круга, а також за допомогою тарільчатого круга. Перевагою цього методу є універсальність. Точність таких довбачів вища за точність довбачів, які нарізані за методом копіювання. Недоліком цього методу є важка кінематика зубошліфувальних верстатів.

Шліфування профілю методом обкату в залежності від конструкції довбача, програми випуску та вимог щодо точності деталі, можливо виконати двома способами – на прецизійних зубошліфувальних верстатах або черв'ячним абразивним кругом на спеціальних зубошліфувальних верстатах.

Задні поверхні зубів довбача є евольвентними гвинтовими поверхнями, які обробляють переважно методом огинання в процесі обкатки. Найбільш вживаними схемами обробки евольвентних поверхонь довбача є шліфування плоскою сто-

роною дискового круга в процесі переривчастої обкатки з одиничним поділом і шліфування черв'ячним абразивним кругом з безперервною обкаткою і розподілом [8]. Шліфування плоскою стороною дискового кола ведеться без поздовжньої подачі уздовж зуба, тому для охоплення всієї довжини оброблюваного зуба використовують шліфувальні круги великого діаметру. Для відтворення евольвенти в торцевому перетині шліфована заготовка отримує в процесі обробки зворотно-коливальний і зворотно-поступальний рухи обкатки, відштовхуючись евольвентним кулачком від упору (рис. 1.18, *а, б*) або переміщаючись разом з барабаном (рис. 1.18, *в*). При цьому шліфується одна сторона одного зуба. Потім проводиться розподіл, коло вводиться в іншу западину, починає шліфування збоку наступного зуба і так до тих пір, поки не будуть оброблені всі зуби з одного боку. Тоді оправлення з оброблюваної заготівлю встановлюють в шпindelь протилежним кінцем і виробляють по чергове шліфування другої сторони профілю всіх зубів.

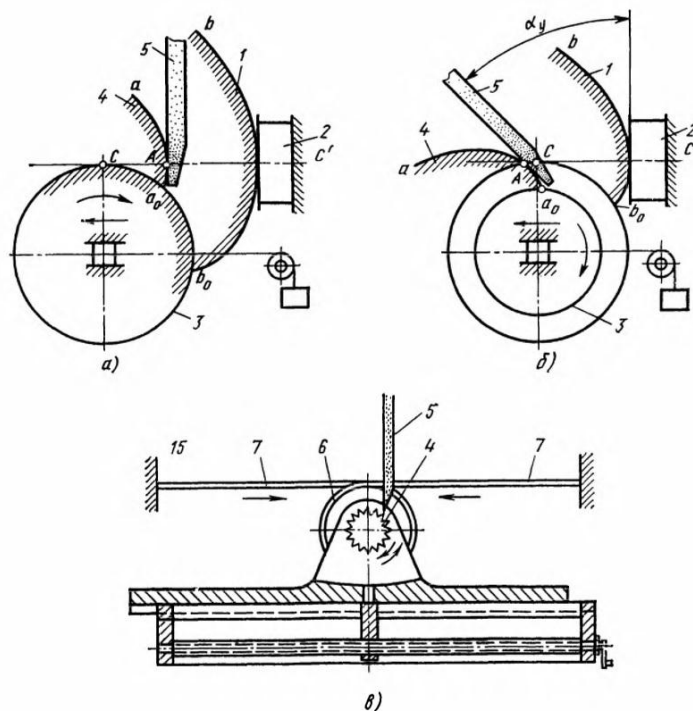


Рисунок 1.18– Шліфування евольвентної поверхні довбача плоскою стороною дискового круга при використанні механізмів: *а, б* – з евольвентним кулачком; на ніжці; *в* – з барабаном та сталевими стрічками:

1 – евольвентний кулачок; 2 – упор; 3 – основна окружність; 4 – оброблюєми інструмент; 5 – шліфувальний круг; 6 – барабан; 7 – сталеві стрічки

Якщо площина шліфувального круга паралельна площині упору (див. рис. 1.18, *a*), тобто кут між ними – кут установки $\alpha_y = 0$, то виробляюча пряма CC' (утворююча евольвенти довбача aa_0 і копіру bb_0) є також лінією зачеплення. Ділильна і основна окружності довбача і основна окружність копіра збігаються. Точка A є єдиною виробляючою точкою кола в торцевому перетині заготовки. Якщо коло розташовується нижче виробляє прямий CC' – неминучий підріз зуба [7]. Для того, щоб уникнути підрізу зуба довбача в точках, що лежать нижче його ділильної окружності, площину шліфувального круга встановлюють до площини упору копіра під кутом, близьким до кута зачеплення евольвенти.

Для потовщення голівки необхідно збільшити кут установки, а для стоншування – зменшити. На профіль зуба довбача у ніжки впливає величина ходу робочої головки. У тих випадках, коли діаметр внутрішнього кола довбача менше діаметру основного кола евольвенти, не евольвентна частина ніжки утворюється у вигляді прямої або подовженої евольвенти.

При шліфуванні зубів довбача, бічні сторони якого є евольвентними гвинтовими поверхнями з різними кутами нахилу, установка шліфувального круга проводиться за формулами, які враховують задній кут на вершині зуба довбача, кут профілю вихідного контуру рейки, задні кути бічних поверхонь зубів і інші параметри. При шліфуванні бічних сторін прямозубого довбача колонка шліфувального шпинделя повертається на кут нахилу евольвентної гвинтової поверхні бічної сторони зуба на основному циліндрі.

Для забезпечення шліфування профілю на повну висоту зубу по всій ширині робочої частини довбача вісь шліфувального шпинделя при налаштуванні за допомогою приставних кілець зміщується відносно передньої поверхні довбача.

Довбачі з модифікованими зубами, з потовщенням ніжки зуба, можна шліфувати двома способами: по дотичній і по огинаючій. Шліфування модифікованого зуба по дотичній (рис. 1.19, *a*) полягає в тому, що шліфувальний круг, який працює торцем, в кінцевий момент шліфування ніжки зуба не доходить до вісі довбача і розташовується у дотичній до профілю зуба. Здійснюється цей спосіб шляхом регулювання довжини ходу головки верстата.

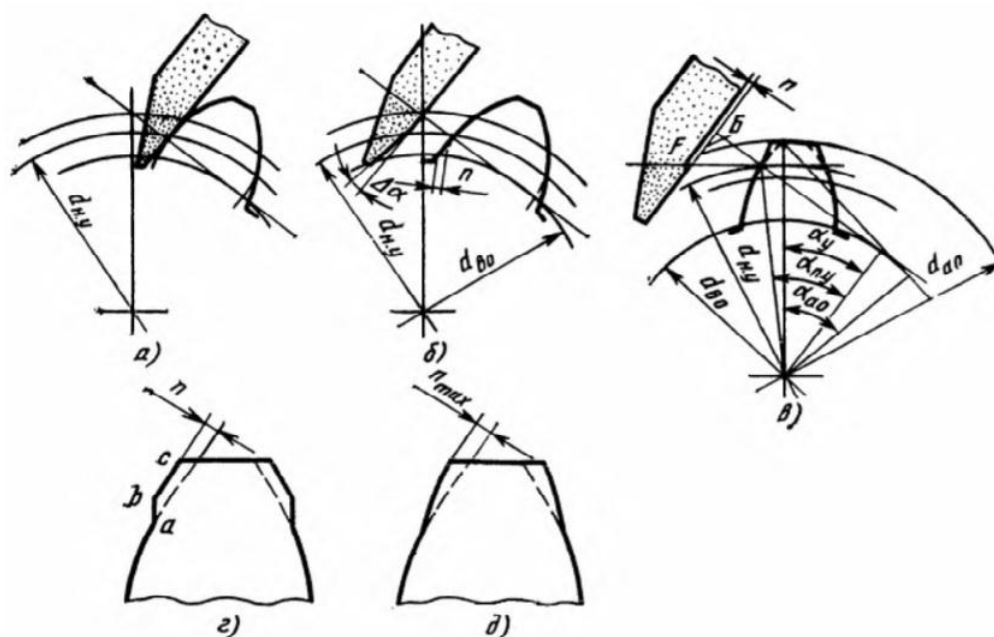


Рисунок 1.19 – Шліфування довбачів з модифікованим профілем: *a, б* – на ніжці; *в, г, д* – на голівці зубу

Шліфування черв'ячним абразивним кругом (рис. 1.20, *a*) довбачів з модулем до 4 мм забезпечує найбільш продуктивне зубошліфування за рахунок безперервності процесу і мінімальних допоміжних ходів. Черв'ячний абразивний круг 1 і оброблювана заготовка 2 здійснюють взаємопов'язані обертання від системи електровалу, що забезпечує однакову частоту обертання двох синхронних реактивних електродвигунів приводів кола і заготовки.

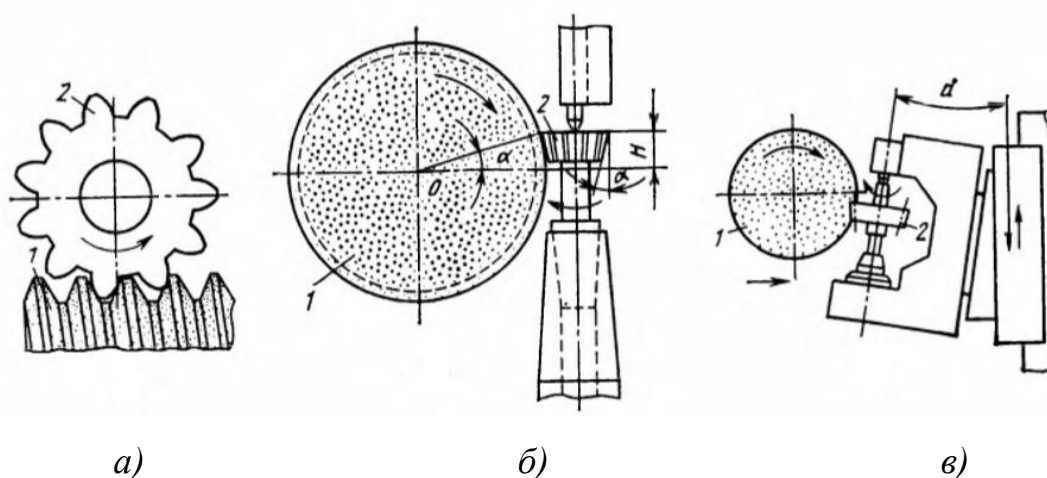


Рисунок 1.20 – Шліфування евольвентної задньої поверхні довбача черв'ячним абразивним кругом: *a* – формоутворення, *б* – установка довбача вище за вісь круга; *в* – установка довбача з нахилом вісі

При шліфуванні довбачів за допомогою абразивного черв'яка утворення задніх кутів досягається двома способами (рис. 1.20, б і в): установки передньої поверхні довбача вище вісі O шліфувального круга (шліфування врізанням) на величину H або установкою вісі довбача під кутом α до напрямку подачі [6].

Найбільше поширення набув спосіб зубошліфування методом врізання, який може проводитися з радіальною або осьовою подачею заготовки довбача, що шліфується, по відношенню до абразивного черв'яка. Остаточне утворення задніх поверхонь зубів проводиться при певному положенні круга щодо вихідного перетину довбача. Положення круга визначається умовою забезпечення необхідного заднього кута на бічних сторонах зубів довбача. При такому способі утворення задніх поверхонь зубів їх форма відрізняється від теоретичної з огляду на те, що гвинтова поверхня абразивного черв'яка в перетинах, перпендикулярних вісі оброблюваного довбача, має різні за формою і розмірами профілі, що відрізняються від вихідного контуру виробляючої рейки. У цьому випадку величина корекції зуба довбача змінюється згідно із законом, відмінним від лінійної залежності.

Форма і висота зубів довбача при повторних заточуваннях змінюються, що вносить спотворення в профіль колеса, що нарізується. Зазначені недоліки усуваються при методі шліфування на прохід, який можна здійснити на верстаті ЕЗ-88. Вісь довбача встановлюють під кутом до напрямку подачі, рівним задньому кутку на окружності виступів довбача, і шліфування зубів здійснюється при переміщенні довбача на прохід.

Кут α визначає параметри установки правлячого алмазного різця при профілюванні архимедового черв'яка.

Шліфування профілю абразивним черв'ячним кругом характеризується наступними показниками:

- продуктивність верстатів у 10 та більше раз вища за верстати, працюючі з тарільчатим кругом методом огинання;
- точність отримання профілю порівнянна зі способом отримання профілю методом обкату за допомогою евольвентного копіру, кулісного механізму та рухомих санчат, а відхилення за шагом становлять 0,0005-0,002 мм;

- не потребує робітників високої кваліфікації;
- має обмеження за діаметром основної окружності (не менше 15 мм) та за числом зубів (не менше 20);
- має важку систему правки черв'ячного абразивного круга.

Метод обкату є найбільш досконалим способом утворення евольвентного профілю зубу з точки зору продуктивності. Ланцюг ділення верстату забезпечує узгоджене обертання черв'ячного абразивного круга та дрібно-модульного довбача. За один оборот однозахідного черв'ячного абразивного круга довбач, що шліфується повинен обернутися на один зуб.

1.8.3 Метод огинання

В основу методу огинання покладено властивість сполучених профілів. Відомо, що пов'язані профілі зубчастих коліс є взаємоогинаючими кривими. Метод має на увазі, що ріжучий інструмент і заготовка за рахунок кінематичного ланцюга обладнання виконують певні рухи, які імітують зубчасте зачеплення. Це дозволяє обробляти всі западини колеса практично одночасно, що дозволяє значно скоротити час формування профілів зубів колеса. Профіль зуба довбача, призначеного для нарізання зубчастих коліс під шевінгування з модифікованою ніжкою і потовщенням у головки виконують шліфувальним кругом, профільованим по шаблону. Шліфування профілю довбача з потовщенням по голівці зуба може бути виконано тільки шляхом огинання.

Шліфування профілю методом огинання за допомогою евольвентного копіру, кулісного механізму та рухомих санчат характеризується як найбільш точний спосіб отримання евольвентного профілю різного куту зачеплення, який забезпечує відхилення профілю у межах 0,001-0,005 мм та накопичену похибку окружного шагу 0,005 мм.

Спосіб включає шліфування зубів довбача на верстаті, що містить бабку виробу з механізмом обкату, встановлену на напрямних станини верстата з можливістю переміщення щодо кола від приводу обкату через кривошипно-повзуни механізм і механізм обкату, виконаний у вигляді евольвентного кулака, встановле-

ного співвісно з оброблюваним зубчастим колесом і взаємодіє з упором, закріпленим на станині. Для можливості отримання модифікованого профілю зуба використовують упор з криволінійним профілем.

При шліфуванні евольвентного або модифікованого опуклого профілю виробу (рис. 1.21), що розгортається на площину, шліфувальний круг, при заданому його розвороті на кут α_w , знаходиться в зачепленні зі шліфованим профілем виробу. У той же час з профілем кулака знаходиться в зачепленні профіль нерухомого упору на верстаті.

Знаючи положення профільних нормалей модифікованого профілю, можна визначити деякий кут повороту виробу $\Delta\varphi_y$ і відповідну йому додаткову величину лінійного переміщення щодо шліфувального круга ΔL_y з тим, щоб нормалі були перпендикулярні торцю круга. Ці додаткові величини повороту і переміщення в сукупності з відомими величинами обкатного руху при шліфуванні евольвентного профілю φ_y (кут повороту виробу і співвісного з ним кулаку) і L_y (переміщення виробу і співвісного з ним кулаку) визначають параметри модифікованого обкатного руху. Знаючи ці параметри і зберігши профіль кулака евольвентним, визначається профіль змінного упору як сполученого елемента, що знаходиться в зачепленні з профілем кулака. Профіль упору виходить криволінійним.

Таким чином, зберігаючи профіль кулака евольвентним, модифікацію обкатного руху, а отже, і профілю, що шліфується можна забезпечити змінюючи профіль упору.

Використання в верстаті упору з криволінійним профілем дозволить проводити обробку виробів з модифікованим профілем, а також здійснювати корекцію похибки евольвентного профілю виробу, що виникає в процесі обробки.

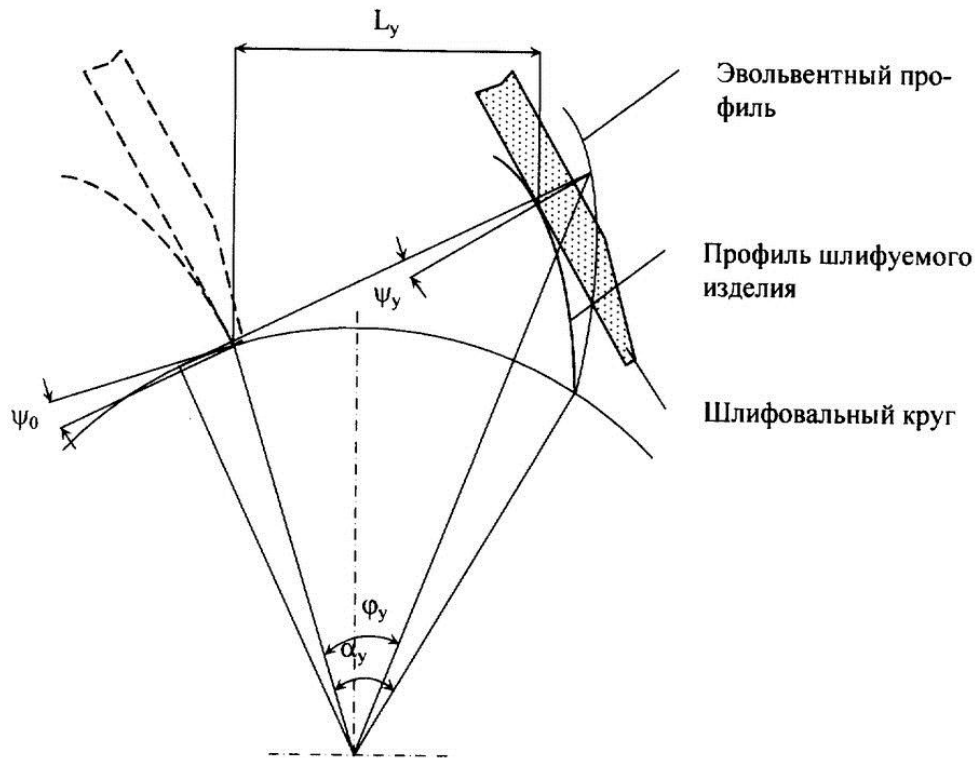


Рисунок 1.21 – Схема обработки методом огинания

Для підвищення стійкості довбачів рекомендується виконувати фаски або заокруглення на куточках зубів, що дозволяє знизити знос довбача в 2 ... 3 рази. Найбільш ефективно виконання фасок на зубошліфувальних верстатах за методом обкату, при цьому фаски утворюються по евольвенті. При невеликій довжині фаски її профіль практично мало відрізняється від прямолінійного. Формоутворення таких фасок можна забезпечити при одночасному шліфуванні профілю зубів і фасок. При цьому для кожного модулю і числа зубів довбача потрібна своя спеціальна форма редагування шліфувального круга. Крім того, можливі спотворення параметрів фаски в різних торцевих перетинах зуба внаслідок відсутності поступального руху кола вздовж вісі. Це особливо помітно для косозубих довбачів. У ряді випадків рекомендується роздільне шліфування профілю і фасок на зубошліфувальних верстатах.

Шліфування профілю методом огинання за допомогою евольвентного копіру, кулісного механізму та рухомих санчат характеризується як:

- найбільш точний спосіб отримання евольвентного профілю різного куту зачеплення, який забезпечує відхилення профілю у межах 0,001-0,005 мм та накопичену похибку окружного шагу 0,005 мм;

- малопродуктивний спосіб отримання евольвентного профілю на виробі, за причиною шліфування кожної сторони зуба окремо, що у ряді випадків не дозволяє виготовити більш одного довбача за робочу зміну;

- потребує робітників високої кваліфікації;

- має досить просту систему правки абразивного круга;

- потребує виготовлення окремого допоміжного технологічного хвостовика для шліфування другої сторони профілю зуба хвостового довбача.

1.9 Схеми правки абразивних шліфувальних кругів

При виготовленні довбачів використовуються три методи отримання евольвентного профілю, і кожен з цих методів має індивідуальну схему правки, яка має свої особливості. Так, наприклад, метод отримання профілю за допомогою черв'ячного абразиву має важку схему правки робочого круга шліфуванням, але також дає можливість правити робочий абразивний круг з високою точністю, що у результаті зменшить похибки профілю зубів довбача. Метод правки шліфувальних кругів накаткою дає суттєві похибки профілю та низьку якість робочої поверхні шліфувального круга. Метод правки профілю абразивного круга для методу фасонного шліфування має похибку евольвентного профілю при збільшенні модулю виробу.

Верстати, які працюють за методом огинання по схемі з тарільчатим кругом, майже не мають технологічних обмежень, крім конструкторських. Недоліком є низька продуктивність. Метод огинання має досить просту схему правки, за допомогою якої можливо відновлювати ріжучу здатність алмазного шліфувального круга та надавати йому необхідну геометричну форму. Цей метод підходить тільки для виготовлення довбачів з модулем не менше 0,8 мм, так як стійкість алмазного круга не бакелітовій зв'язці по зовнішньому діаметру дуже низька. Ріжучий клин тарільчатого круга у перетині швидко зношується, що приводить до ви-

никнення ділянок на клині, які перевершують товщину впадини у ніжці довбача, що у результаті дає шліфування у тіло довбача та руйнування сусіднього профілю зуба. У випадку необхідності отримання високої точності обробки, правку алмазного круга проводять безпосередньо на верстаті, на якому виробляють шліфування абразивним кругом за допомогою спеціальних пристосувань, що мають примусовий привід, який повідомляє абразивному інструменту велику окружну швидкість (30 м/с), в той час як алмазні круги обертаються з малою швидкістю (10 м/хв.). При такому поєднанні швидкостей обертання абразивного і алмазного кругів забезпечується відносно висока продуктивність і якість правки.

Правка фасонного круга виконується за допомогою копіювального пристрою трьома алмазами, по одному з кожної сторони профілю круга та один для периферії (рис. 1.22).

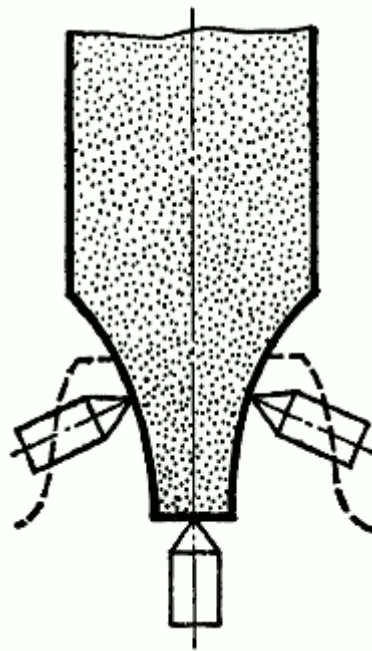


Рисунок 1.22– Правка фасонного круга трьома алмазами

Евольвентне профілювання шліфувальних кругів, що працюють методом копіювання по замінюючому еліпсу, має деякі переваги в порівнянні зі способом евольвентного профілювання по замінюючій окружності. Похибка профілю зменшується в 2-3 рази і з ростом модуля довбача не збільшується.

Правка профілю черв'ячного абразивного круга 1 (рис. 1.23) проводиться одно - або багатовитковими кільцевими накатниками 2, 3, алмазними різцями 4 або алмазним роликом 5. Накатники виготовляють зі сталі Р6М5 (62 ... 65 HRC3). Використовують накатники для чорнової і чистової обробки. Припуск на товщину витка абразивного черв'яка при чистовій правці накатником 0,2 ... 0,4 мм, радіальна подача 0,01 0,02 мм/хід, швидкість кола 1,9 м/с.

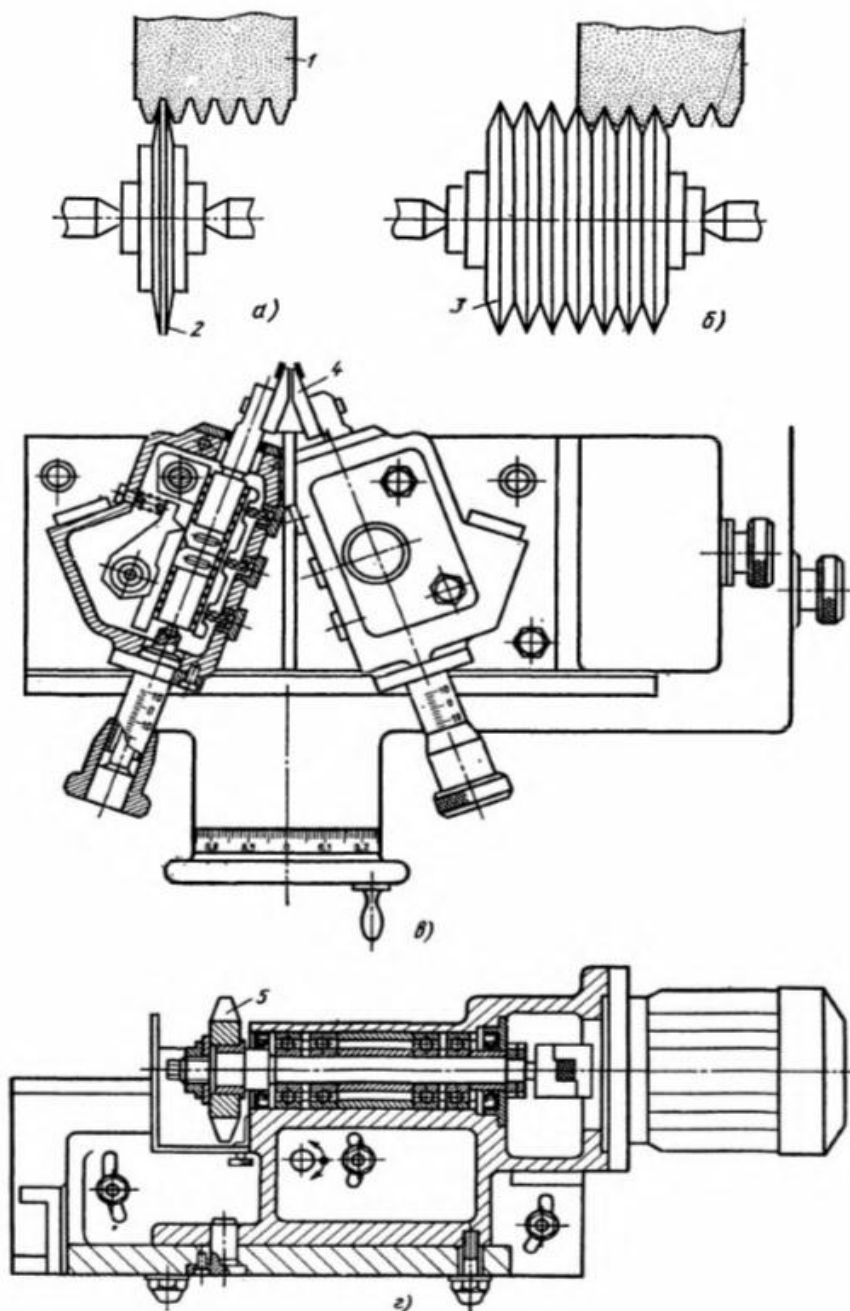


Рисунок 1.23 – Правка черв'ячного абразивного круга: *а* – одновитковим накатником; *б* – багатовитковим накатником; *в* – алмазними різцями; *г* – алмазним роликом;

При односторонньому методі правки радіальна подача накатника здійснюється на один подвійний хід, а при двосторонньому – на кожен одинарний хід. Односторонній метод забезпечує більш точне профілювання гвинтової лінії. При профілюванні абразивного черв'яка многопродольним накатним роликом профіль витків кола виходить у вигляді евольвентного черв'яка.

Правка алмазних кругів для остаточної обробки інструментів з евольвентним профілем за допомогою пристосувань і з використанням обертових абразивних кругів забезпечує необхідну точність профілю таких кругів і необхідні умови для шліфування інструментів.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФІЛЮ

2.1 Компоновка обладнання

Нові широкі функціональні можливості систем ЧПК, їх особливості в порівнянні з раніше застосовуваними ПУ зажадали нового підходу до розробки нових або модернізації існуючих компоновок верстатів, конструкції їх вузлів і механізмів. У багатьох випадках були розроблені і стали застосовуватися оригінальні, раніше рідко або взагалі не застосовані компонування, а також конструкції ряду вузлів і механізмів. Паралельно з цим проводилась розробка і застосування нових регульованих приводних електродвигунів, різних вимірювальних систем, нових конструкцій комплектуючих елементів верстата (підшипників, напрямних, механізмів автоматичної зміни інструментів і заготовок та ін.), нових матеріалів для виготовлення деталей верстата. Все це дозволило значно спростити кінематику верстатів з ЧПК, підвищити їх продуктивність, точність і надійність роботи.

З іншого боку, широкі технологічні можливості верстатів з ЧПК, високий ступінь автоматизації їх роботи ускладнили ці верстати, підвищили їх вартість, потребували ретельної підготовки обслуговуючого персоналу, розробки більш раціональних систем їх технічного обслуговування і ремонту.

В даний час є значне різноманіття компоновок верстатів з ЧПК як для обробки деталей типу тіл обертання, так і для обробки корпусних і плоских деталей. На етапі розробки компонування закладаються найважливіші показники верстата: точність, продуктивність, надійність, металоємність. Для економії дорогої виробничої площі необхідно робити верстати гранично компактними. Відзначається, що ні якістю конструкції і вибором матеріалів, ні ретельним виготовленням і складанням можна компенсувати збиток, нанесений вибором нераціональної компоновки верстата і невірним визначенням її основних пропорцій.

Компонування верстата з ЧПК можна визначити, як систему розташування його вузлів і напрямних, яка відрізняється структурою, пропорціями і властивостями цієї системи. Компонування верстата забезпечує виконання всіх формотвор-

чих і допоміжних рухів і має блокову структуру, що складається узагальнено з одного стаціонарного та кількох рухомих блоків, розділених лінійними або круговими напрямними.

Наприклад, компоновка верстата впливає на його точність через:

- пружні деформації базових деталей і вузлів в залежності від їх маси, розмірів, конструктивної форми, взаємного розташування, вилетів рухомих деталей і вузлів і зміни цих вильотів;
- знос направляючих, що залежить від схеми розташування, розмірів і типів направляючих, розташування навантажуються елементів щодо робочої зони верстата;
- температурні деформації базових та інших деталей і вузлів верстата, що призводять до відносного лінійного зміщення вузлів верстата, що тримають заготовку і різальний інструмент, а також до їх кутових поворотів. Величина, характер і напрям дії температурних деформацій в значній мірі визначаються розміщенням на верстаті тепловиділяючих вузлів і одержуваної надлишкової температури їх нагріву.

Від компонування залежать динамічна жорсткість пружної механічної системи верстата і запас стійкості, рівень частот власних коливань, характер цих коливань та ін.

Важливими елементами в компонуванні верстата є його базові деталі (станини, стійки, колони). Від їх компонування і конструкції залежать точність, жорсткість, металоємність і інші характеристики верстата. Так, для підвищення жорсткості базові та корпусні деталі багатьох сучасних верстатів з ЧПК роблять звареними з товстолистової сталі з великою кількістю ребер.

Важливе значення має правильна компоновка окремих вузлів верстата з ЧПК (шпиндельної бабки, приводів подач і ін.). В сучасних багатоцільових верстатах застосовується як вертикальна, так і горизонтальна компоновка шпинделя.

На сьогоднішній день при використанні модульного принципу побудови верстатів з ЧПК існує два напрямки: перший напрямок виробництво різних модифікацій верстата з ЧПК на основі однієї його базової моделі і самостійно розробле-

них цією ж фірмою ряду різних уніфікованих основних вузлів і механізмів. Другий напрямок - це багатоцільові верстати з ЧПК з горизонтальним компонуванням шпинделя, різні модифікації яких можна створювати з гами модулів, розроблених і виготовлених окремо.

По мірі збільшення централізованої розробки і виготовлення все більшої різноманітності уніфікованих і нормалізованих вузлів і механізмів верстатів з ЧПК спеціалізованими фірмами, більш перспективним стає другий напрямок використання модульного принципу, коли при розробці та виготовленні конкретних верстатів з ЧПК в максимальному ступені застосовуються готові модулі більшості вузлів і механізмів верстатів з ЧПК.

Застосування модульного принципу побудови верстатів з ЧПК по першому і, особливо, за другим напрямом дозволяє:

- скоротити час розробки, проектування і виготовлення верстатів для обробки встановленої номенклатури заготовок з отриманням заданих технічних і технологічних характеристик;
- знизити вартість металорізальних верстатів. Створені на модульному принципі верстати не мають надлишковими функціями, тому вони більш економічні ніж верстати з універсальними можливостями;
- збільшити надійність роботи верстата за рахунок відпрацьованості модулів, що входять до нього і найбільшої відповідності даної конструкції модулів виконуваному завданню;
- підвищити точність верстата. Фірма, яка професійно займається випуском конкретного модуля, більш якісно, швидше і дешевше виготовить даний модуль;
- підвищити переналадку верстатів за рахунок можливості їх швидшої компонування при наявності готових вузлів і механізмів;
- поліпшити умови експлуатації та ремонтпридатність за рахунок зменшення різноманітності конструкцій модулів і складових їх елементів.

Для обробки евольвентних поверхонь інструменту робимо компоновку робочих органів верстату з ЧПК (рис.2.1)

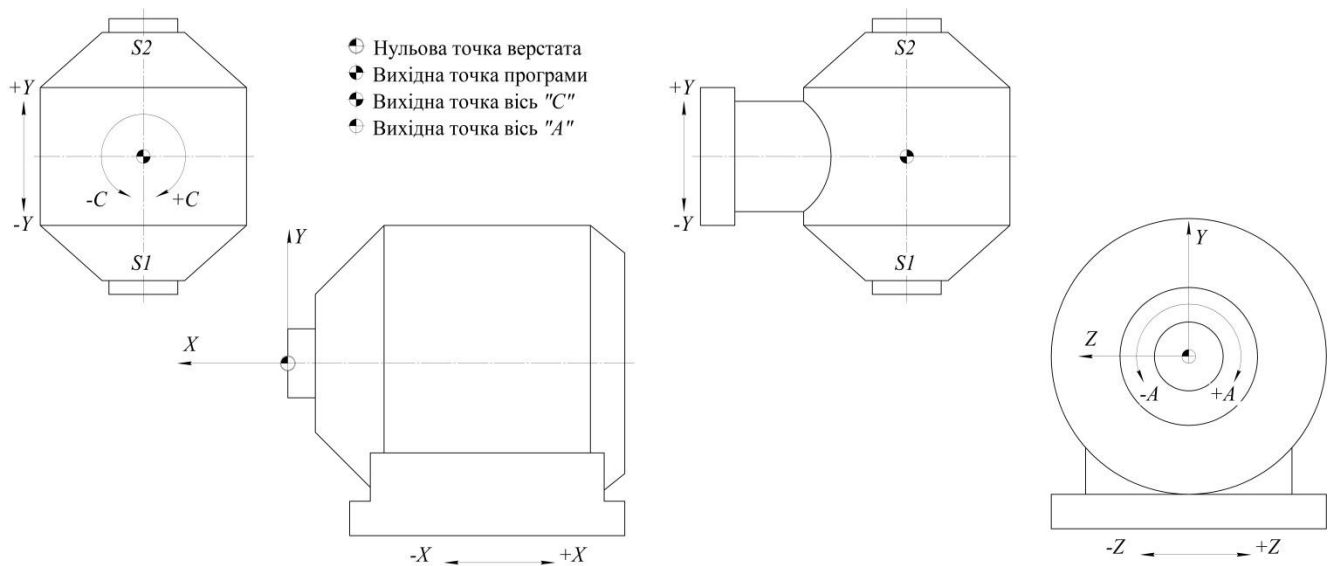


Рисунок 2.1 – координатні рухи виконавчих органів верстата:

S_1, S_2 – установочні місця для інструменту 1, 2; A, C – поворотні вісі верстату; X, Y, Z – лінійні вісі верстату

Компоновка верстату передбачає наявність рухомої передньої бабки, яка виконує повздовжній рух по вісі X та поперечний рух по вісі Z . Деталь, яка встановлюється у передню бабку може обертатися по вісі A на 360° , як в позитивному, так і в негативному напрямку. Шпиндель верстату розташований у вертикальному модулі, що переміщується по вісі Y у вертикальній площині, та виконує обертальні рухи по вісі C на 360° , як в позитивному, так і в негативному напрямку. У шпинделі є два установочні місця (револьверні головки) S_1, S_2 для обробляючого інструменту, що розташовані один навпроти іншого під кутом 180° , з можливістю автоматичної зміни інструменту.

Розрізняються системи координат верстату та робоча система координат [11]. Нульова точка системи координат верстату знаходиться на фланці ділильної головки у центрі вісі A . Для шліфування використовується робоча система координат, нульова точка якої прив'язана до зажимної довжини деталі та знаходиться у центрі вісі A . Система координат верстату та робоча система координат мають сумісну вихідну точку на перетині вісі C та шпинделю. Таким чином, якщо ми перемістимо верстат у системі координат верстату у положення $X=0, Y=0, Z=0$, нове положення вихідної точки системи координат буде розташовано точно у нульовій точці верстату.

2.2 Установка інструменту та деталі

Для обробки евольвентних поверхонь довбача використовуємо тарільчаті шліфувальні круги. Вони встановлюються у вертикальному модулі верстату у револьверні головки шпінделю S_1 , S_2 , у положенні 180° один навпроти іншого (рис.2.2).

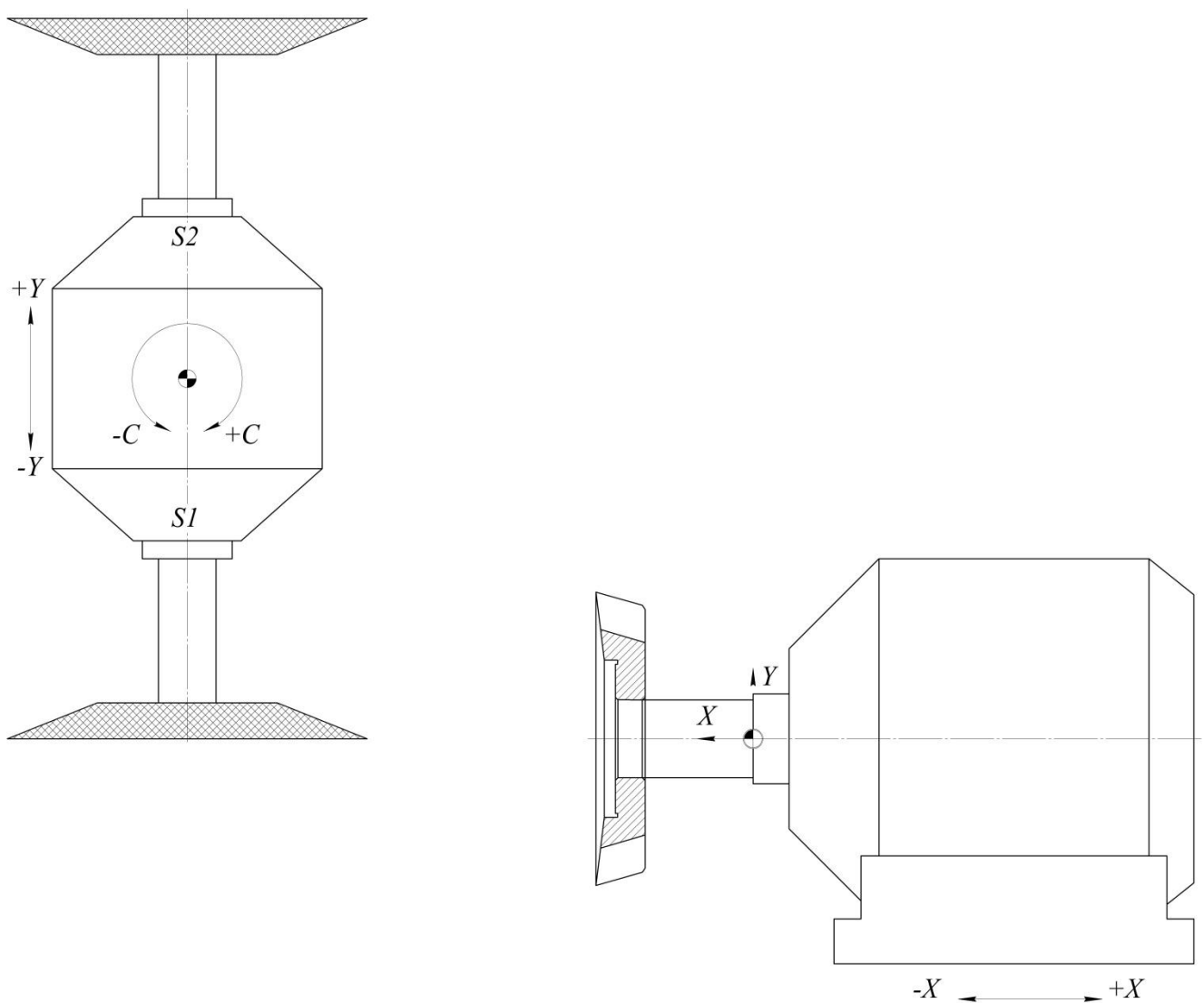


Рисунок 2.2 – Схема розташування інструменту та деталі

Автоматична зміна інструменту в шпинделі дозволяє виконувати на багатоопераційному верстаті різні технологічні операції без перебазування оброблюваної деталі з малими витратами допоміжного часу.

Для того, щоб робота верстат у з ЧПК була максимально продуктивною, використання кріпильних пристроїв для заготовок повинно відповідати ряду вимог:

- все верстатні кріпильні системи і механізми повинні забезпечувати повну всебічну доступність обробного інструменту до заготовки;
- пристосування повинні позбавляти заготовку всіх шести ступенів свободи і фіксувати її відносно нульової точки;
- процедура установки і знімання притискної системи повинна займати мінімум часу.

На основі цих вимог, довбач встановлюється на спеціальну оправку з конусом Морзе по внутрішньому діаметру у передній бабці верстату.

2.3 Основні параметри програми та позиціонування

Для обробки евольвентних поверхонь довбача за програмою, необхідно задати в програмі основні та допоміжні параметри. Для зручності написання управляючої програми на базі системи Fanuc [11], всі параметри інструменту та деталі будуть задаватися у вигляді змінних (табл.2.1). З креслення довбача, який треба обробити, визначаємо основні змінні.

Таблиця 2.1 – Основні змінні

Позначення змінної	Позначення за кресленням	Опис параметру
#10	m_0	модуль
#20	Z_0	число зубів довбача
#30	α_0	кут зачеплення довбача
#40	S_0	товщина зубу по ділильній окружності
#50	d_{a0}	зовнішній діаметр за вершинами зубів
#60	d_{f0}	внутрішній діаметр
#70	γ_v	передній кут довбача
#80	α_v	задній кут довбача
#85	α_N	задній боковий кут у нормальному перетині

Обрана САМ-система дозволяє контролювати переміщення інструменту не тільки щодо робочих елементів, а й щодо інших геометричних елементів. Можна вибрати контрольовані елементи, яких інструмент не повинен торкатися ні за яких умов. Параметри шліфувального круга та установу – є допоміжними змінними

(табл. 2.2), які задаються в залежності від обраного верстату та параметрів інструменту для обробки деталі.

Таблиця 2.2 – Допоміжні змінні

Позначення змінної	Опис параметру
#90	Діаметр круга S_1
#95	Радіус круга S_1
#100	Діаметр круга S_2
#105	Радіус круга S_2
#110	Базова точка круга S_1
#115	Базова точка круга S_2
#120	Обороти круга, м/с
#130	Положення вісі A
#140	Положення вісі X
#150	Безпечна відстань Z
#155	Робоча подача
#160	Кут рійки

Схема розташування інструменту та деталі з заданими позначеннями змінних показана на рисунку 2.3.

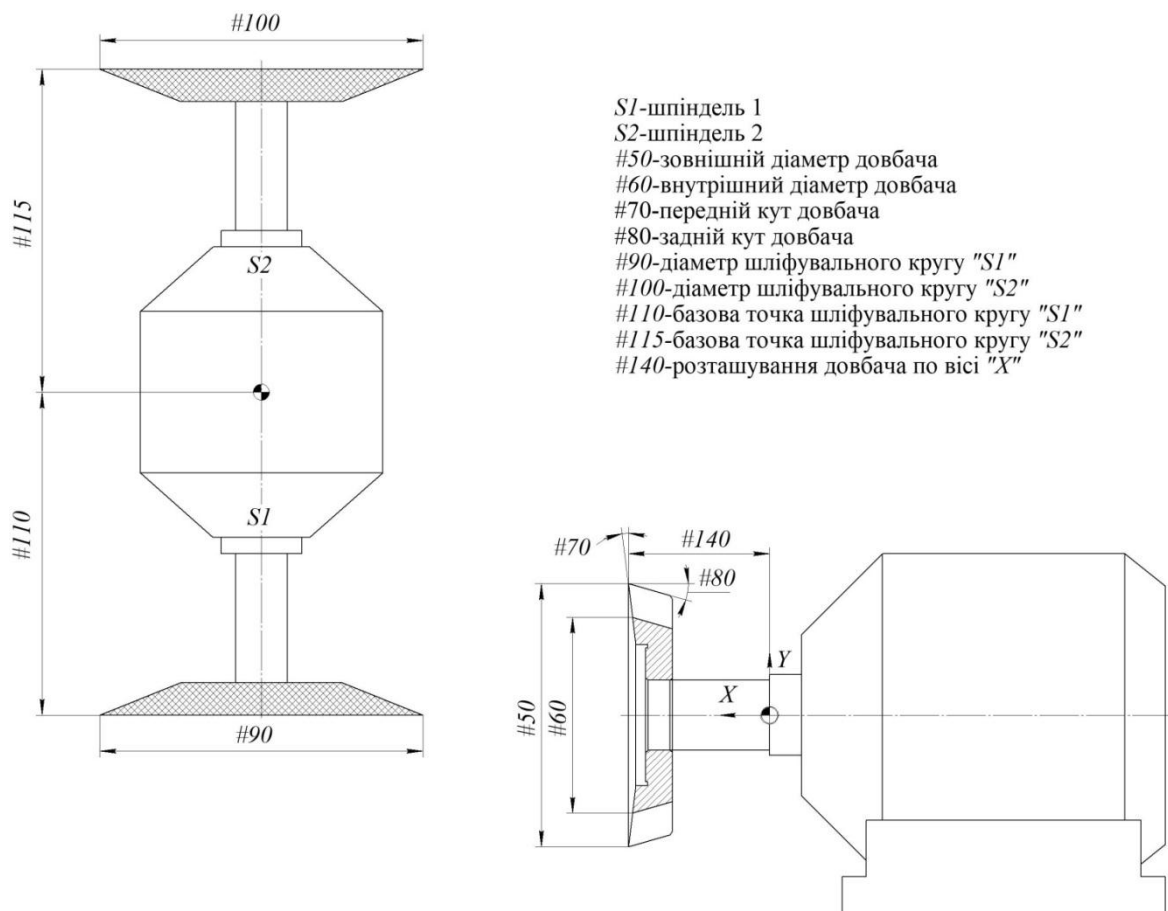


Рисунок 2.3 – Схема розташування інструменту та деталі з позначенням змінних

Позиціонування – це осьова орієнтація рухомих робочих органів верстата щодо вісі інструменту. Точність позиціонування є одним з основних показників точності верстатів з ЧПК. Під точністю позиціонування розуміється відхилення дійсного стану робочих органів верстата від запрограмованого в системі ЧПК, при його багаторазовому позиціонуванні в різних точках по шляху переміщення по одній з координатних вісей. Точність позиціонування є інтегральним показником точності функціонування механічної та електронної систем верстата з ЧПК і тому володіє високою інформативністю. Цей показник забезпечує отримання інформації про наявність параметричної відмови в багатофункціональній системі, що складається з декількох вузлів без проведення контролю кожного з них окремо.

На точність позиціонування впливають, а значить, і можуть контролюватися цим інтегральним показником такі показники точності верстата: геометрична точність зв'язаних поверхонь і взаємне розташування базових деталей, точність установки шкал вимірювальної системи верстата і її технічний стан, а також стан електронної частини ЧПК, яка керує переміщенням робочих органів верстата. На експлуатованих верстатах умовою досягнення високої точності є компенсація систематичних похибок переміщення робочих органів.

Зона нечутливості виникає при зміні напрямку руху на протилежне, коли робочі органи деякий час не починають руху в новому напрямку. Існує кілька рішень, які знижують або повністю усувають ймовірність появи такої похибки. У нашому випадку, ми компенсували цю похибку шляхом автоматичного здійснення підходу в запрограмовану точку завжди з одного боку, незалежно від завдання напрямку руху.

Існує поняття як точка шліфування. Це та частина шліфувального круга, до якої відносяться всі розрахунки програми, яка буде розроблятися. Для визначення положення точки шліфування у робочій системі координат необхідно розрахувати зміщення точки шліфування відносно вихідної точки системи координат. Для цього з'ясуємо, який шліфувальний круг використовується та у якому положенні по вісі C проводиться операція шліфування. Розрахунок параметрів позиці-

онування буде проводитись у програмі за формулами 1.1-1.11, заданими у виді змінних (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахунок параметрів позиціонування

Змінна	Формула розрахунку	Опис параметрів розрахунку
#170	$[\#50-\#60]/2.0$	Глибина зубу
#180	$\text{Tan}[\#70]*\#170$	Зсув інструменту по X в залежності від глибини зуба та переднього кута γ_s
#190	$\text{Sin}[\#80*2]*\#95$	Зсув інструменту по X на дотичну заднього кута α_s «S1»
#195	$\text{Sin}[\#80*2]*\#105$	Зсув інструменту по X на дотичну заднього кута α_s «S2»
#200	$\#180+\#190$	Сумарний зсув по X «S1»
#205	$\#180+\#195$	Сумарний зсув по X «S2»
#210	$\text{Tan}[\#85]*\#110$	Зсув інструменту по X в залежності від бокового заднього кута α_N «S1»
#215	$\text{Tan}[\#85]*\#115$	Зсув інструменту по X в залежності від бокового заднього кута α_N «S2»
#220	$\#140-\#200-\#210$	Початкова точка по вісі X «S1»
#230	$=140-\#205+\#215$	Початкова точка по вісі X «S2»
#240	$\text{Tan}[\#85]*\#210$	Зсув інструменту по Y в залежності від бокового заднього кута α_N «S1»
#245	$\text{Tan}[\#85]*\#215$	Зсув інструменту по Y в залежності від бокового заднього кута α_N «S2»
#250	$\#110-\#240$	Початкова точка по вісі Y «S1»
#260	$\#115+\#245$	Початкова точка по вісі Y «S2»
#270	$\text{Tan}[\#80]*\#190$	Зсув інструменту по Z на дотичну заднього кута α_s «S1»
#275	$\text{Tan}[\#80]*\#195$	Зсув інструменту по Z на дотичну заднього кута α_s «S2»
#280	$[\#50/2]+\#95+\#150-\#270$	Початкова точка по вісі Z «S1»
#285	$[\#50/2]+\#105+\#150-\#275$	Початкова точка по вісі Z «S2»

Графічне зображення рухів позиціонування інструменту, що обробляє евольвентні поверхні довбача показано на рисунках 2.4-2.7. Для початку обробки евольвентної поверхні, інструменту та деталі потрібно зайняти свої початкові положення відносно один одного. Спочатку шпіндель провертає шліфувальний круг по вісі C на параметр #85 – боковий задній кут довбача, та переміщується по вісям Y, X та Z (рис.2.4, 2.6), перед цим, довбач, закріплений у передній бабці провертається по вісі A на значення параметру #370 (рис. 2.7). Після обробки однієї сторо-

ни евольвентної поверхні зубу, позиціонування виконується другим шліфувальним кругом S_2 , яке виконується в тій же послідовності, як і в першому варіанті. Різниця становить лише у куті нахилу по вісі C (рис.2.5).

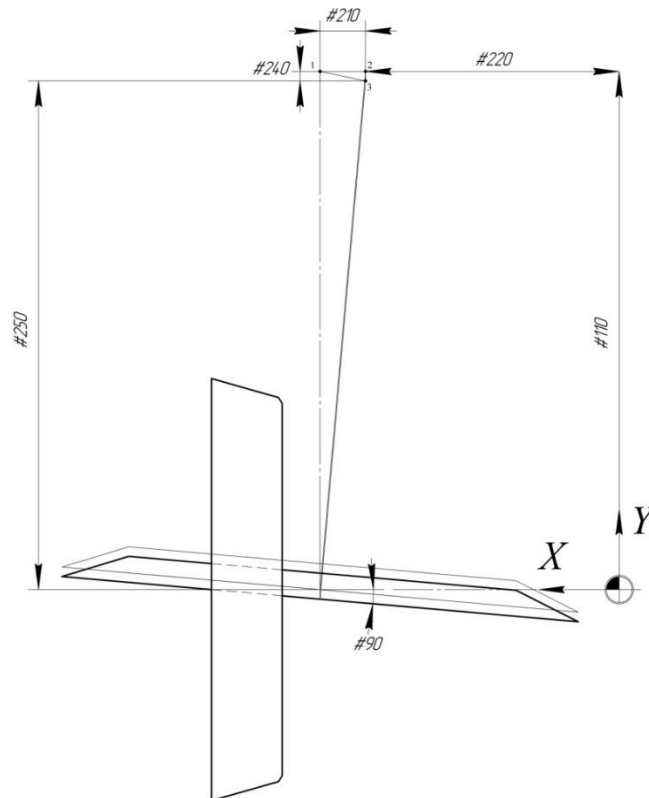


Рисунок 2.4 – Позиціонування шліфувального круга S_1 по вісям X та Y

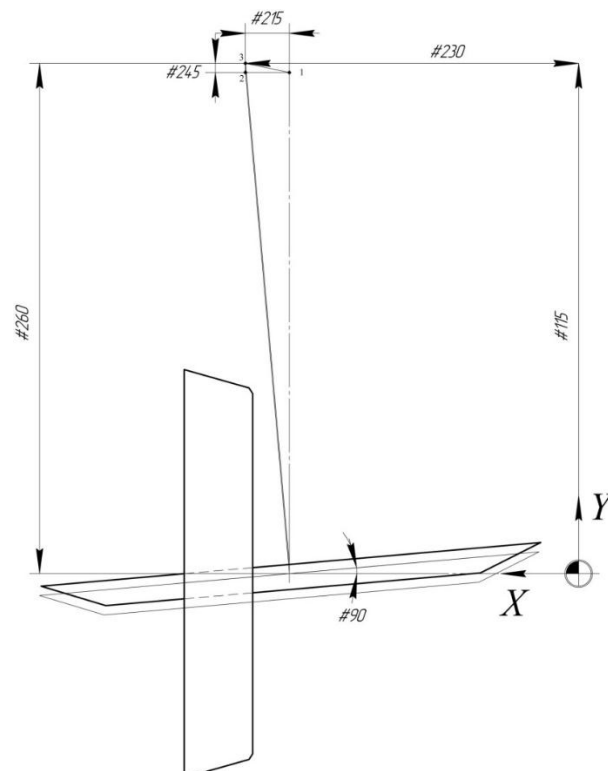


Рисунок 2.5 – Позиціонування шліфувального круга S_2 по вісям X та Y

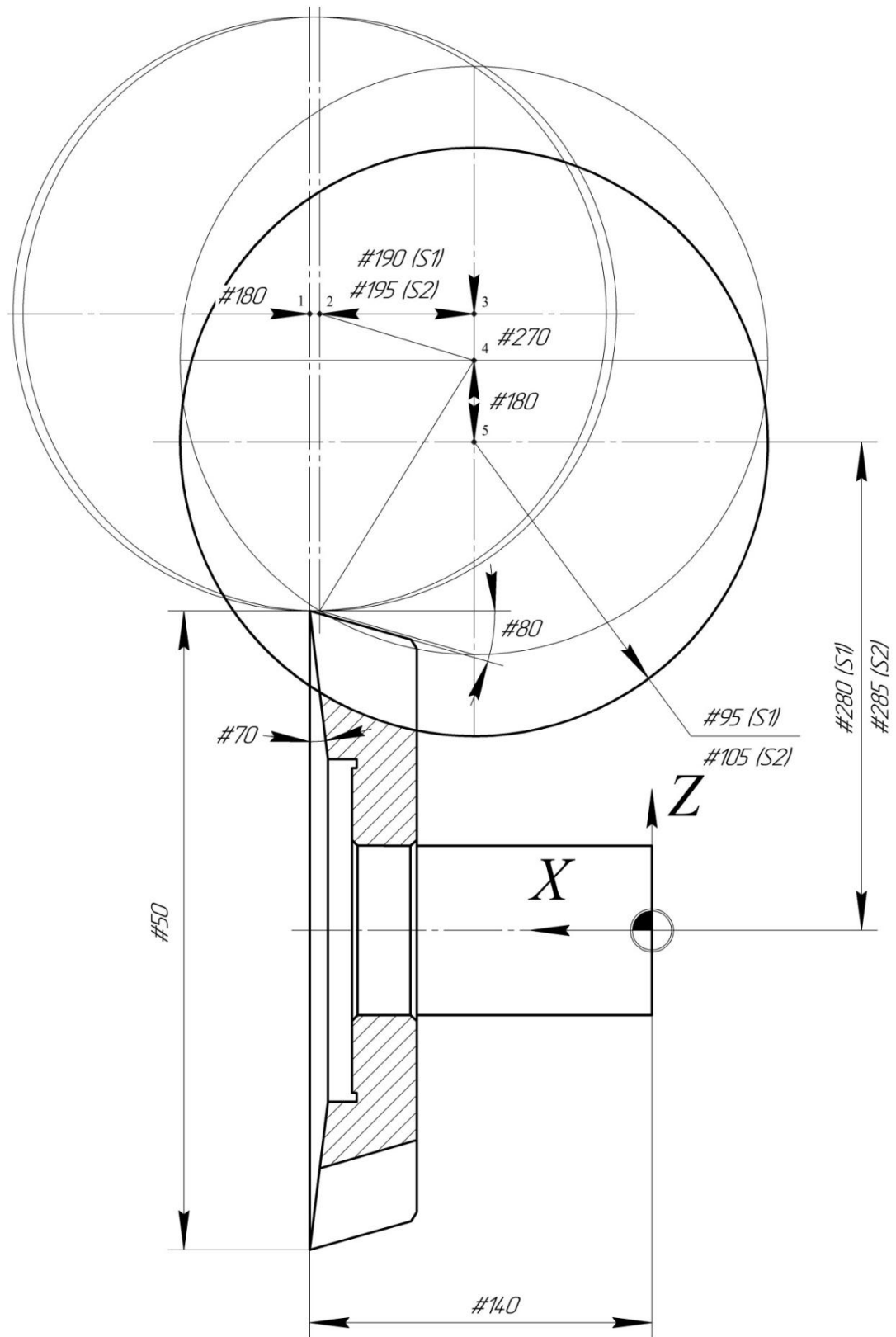


Рисунок 2.6 – Позичіонування шліфувальних кругів S_1 , S_2 по вісям X та Z

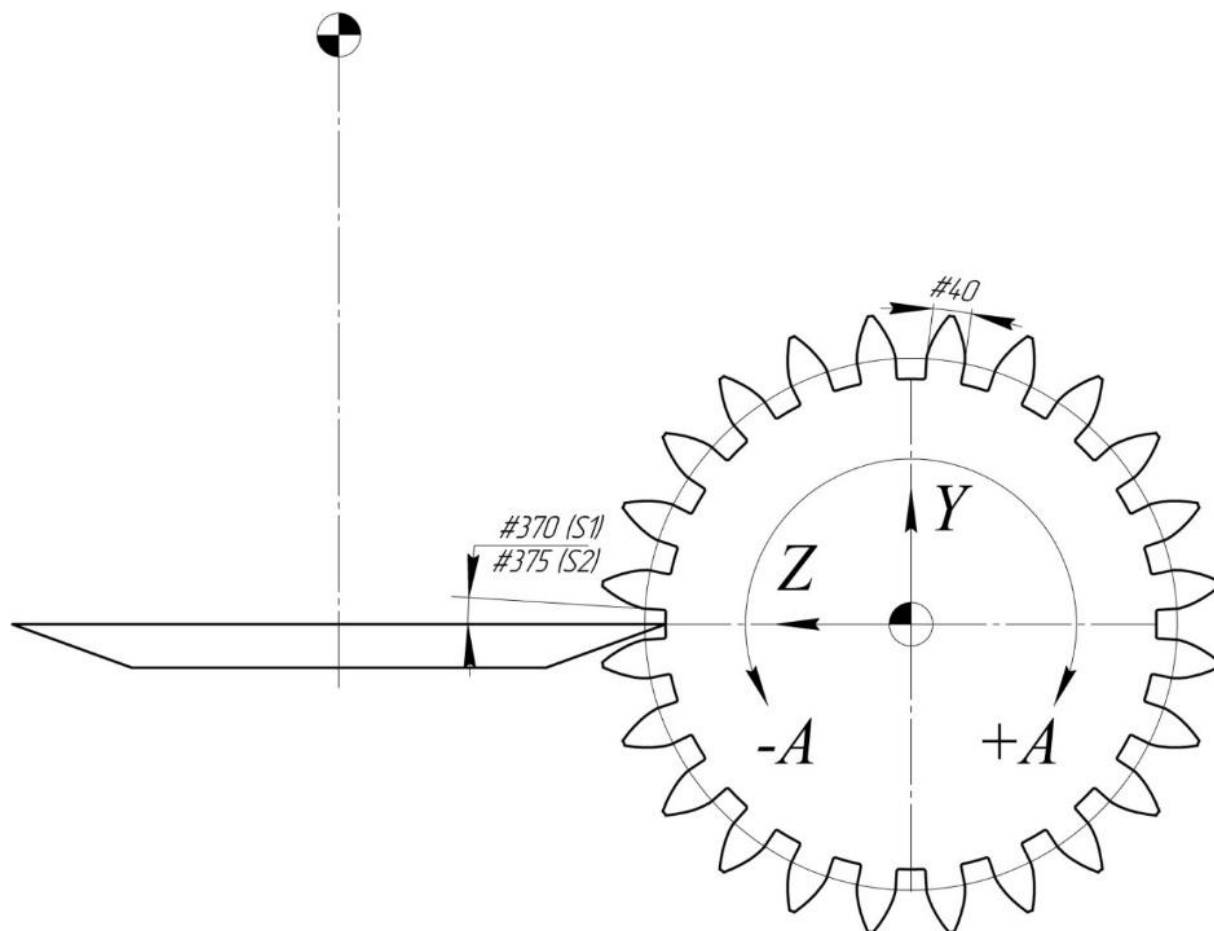


Рисунок 2.7 – Позичонування довбача по вісі A відносно шліфувального круга S_1

Після переміщення інструменту та деталі, що обробляється у необхідні положення, починається обробка поверхні – формування евольвентного профілю довбача. Для того, щоб отримати точну евольвентну поверхню, необхідно задати у програмі певні рухи інструменту та обробляемому довбачу – параметри обробки. Дані параметри будуть розраховуватися за формулами (табл. 2.4), на основі введених основних та допоміжних змінних, які характеризують геометричні значення параметрів довбача та шліфувального круга.

Таблиця 2.4–Розрахунок параметрів обробки

Змінна	Формула	Опис параметрів розрахунку
#290	$=[\#10*\#20]/2.0$	Радіус діляльного кола
#300	$=\cos[\#30]*\#290$	Радіус основного кола
#310	$=[[[\#30*2.0]*3.14159]/180.0]*\#300$	Довжина дуги
#320	$=\#30*2.0$	Кут повороту
#330	$=\text{Tan}[\#160]*\#310$	Кут зміщення
#340	$=360.0/\#20$	Кут ділення

Змінна	Формула	Опис параметрів розрахунку
#350	$=\#150+\#170+\#330$	Вихідна точка програми вісь Z
#360	$=180-2*\text{ACos}[\#40/[\#300*2]]/2$	Кут від ширини зуба
#370	$=\#130+\#360$	Кут повороту по A "S1"
#375	$=\#130-\#360$	Кут повороту по A "S2"
#380	$=[\#120/[[2*3.14*\#95]/1000]]*60$	Оберти за хвилину "S1"
#390	$=[\#120/[[2*3.14*\#105]/1000]]*60$	Оберти за хвилину "S2"
#400	$=0$	Лічильник зубів

Діаметр зовнішньої окружності, початковий діаметр та діаметр впадин зубів, висота ніжки та головки зуба, товщина зуба на ділильній та зовнішній поверхнях змінюються у різних перетинах. Зуби довбача виконуються зі змінною величиною зсуву вихідного контуру від переднього торця інструменту до заднього (рис. 2.8). Бокові сторони зубів забезпечують бокові задні кути α_6 та $\alpha_{6,0}$ та постійність евольвентного профілю.

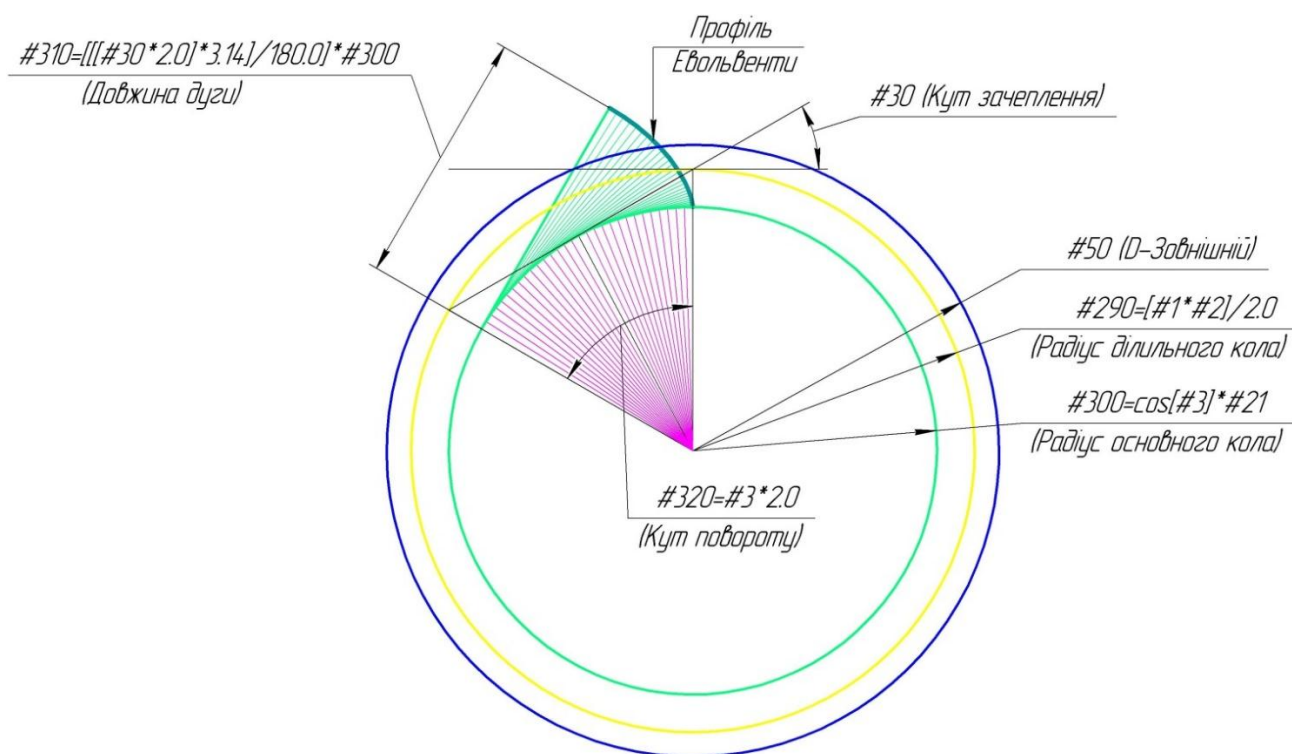


Рисунок 2.8 – Схематичне зображення розрахунку параметрів евольвенти

Зображення траєкторії руху шліфувального круга при формуванні евольвентних поверхонь зображене на рисунку 2.9.

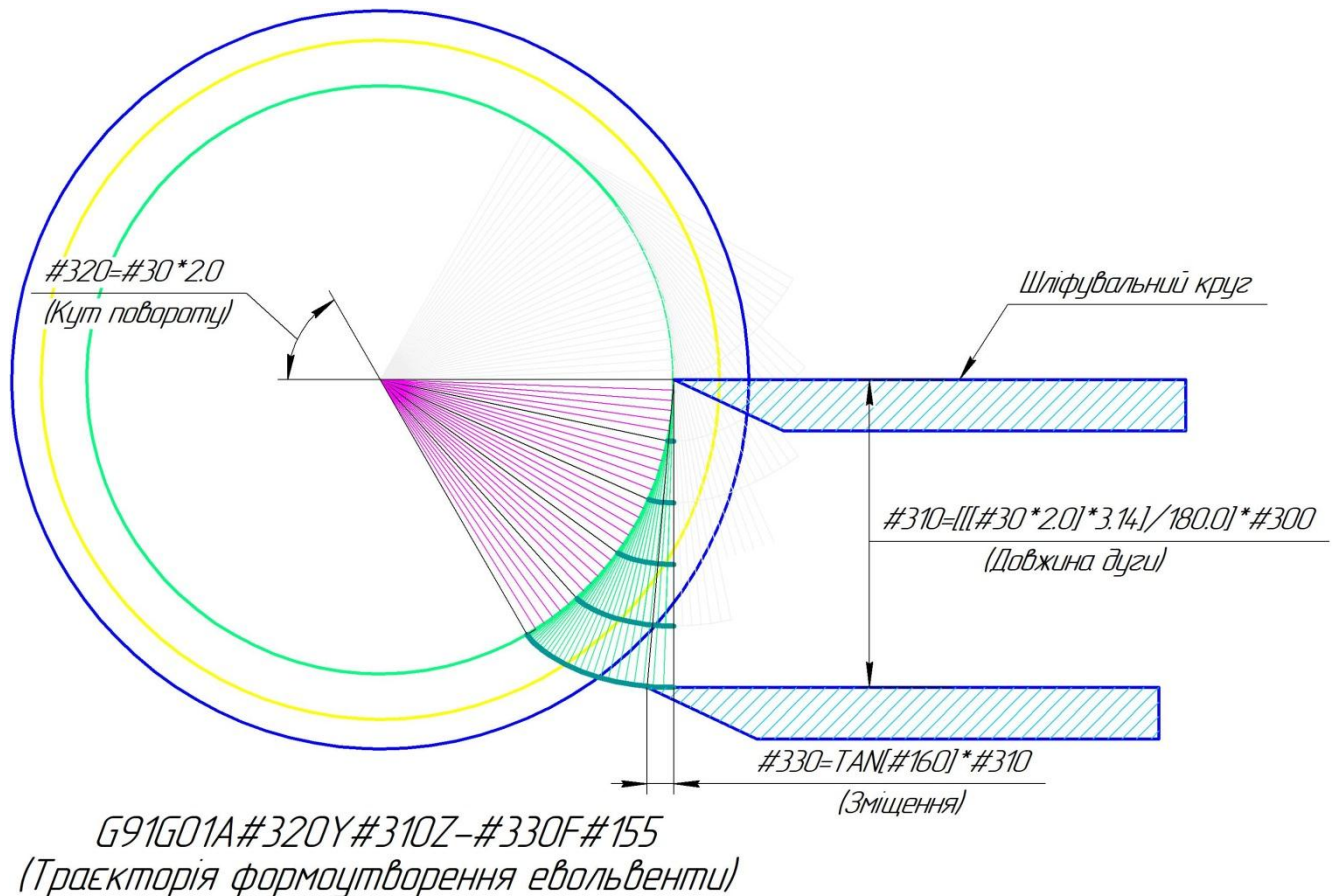


Рисунок 2.9 – Траєкторія формоутворення евольвенти довбача

Формування евольвентного профілю довбача досягається одночасним рухом та поворотом шліфувального круга та поворотом довбача по вісі A по певним траєкторіям. Текст програми для обробки евольвентних поверхонь та опис виконання приведена у таблиці 2.5, додатку В.

Таблиця 2.5– Текст програми та опис виконання обробки

Текст програми	Опис виконання
M4S#380	Запуск шпинделя
G0G90	Позиціонування в абсолютній системі координат
C#85	Початкова точка по вісі C «S1»
A#370	Початкова точка по вісі A «S1»
Y#250	Початкова точка по вісі Y «S1»
X#220	Початкова точка по вісі X «S1»
Z#280	Початкова точка по вісі Z «S1»
N1	Програма 1
G01G91	Лінійна інтерполяція в відносній системі координат
Z-#150F500	Переміщення на безпечну відстань
Z-#170F100	Переміщення на глибину зуба
A#320Y#310Z-#330F#155	Формоутворення профілю зуба

Текст програми	Опис виконання
G00G91	Позиціювання в відносній системі координат
Z#350	Переміщення у вихідну точку вісі Z
Y-#310	Переміщення у вихідну точку вісі Y
A-#320	Переміщення у вихідну точку вісі A
A#340	Поворот на наступній зуб
#20=#20-1	Лічильник зубів -1
#400=#400+1	Лічильник зубів +1
IF[#20NE0]GOTO1	Повтор N1 доки кількість зубів не буде =0
IF[#20EQ0]GOTO2	Перехід до N2 коли кількість зубів =0
N2	Програма 2
G0G90	Позиціювання в абсолютній системі координат
C0.0	Відхід для зміни інструменту по C
Z200.0	Відхід для зміни інструменту по Z
X150.0	Відхід для зміни інструменту по X
Y200.0	Відхід для зміни інструменту по Y
M5	Зупинка шпинделя
N3	Програма 3
G0G90C180.0	Обертання на «S2»
M4S#390	Запуск шпинделя
G0G91	Позиціювання в відносній системі координат
C-#85	Початкова точка по вісі C
G0G90	Позиціювання в абсолютній системі координат
A#375	Початкова точка по вісі A «S2»
Y#260	Початкова точка по вісі Y «S2»
X#230	Початкова точка по вісі X «S2»
Z#285	Початкова точка по вісі Z «S2»
N4	Програма 4
G01G91	Лінійна інтерполяція в відносній системі координат
Z-#150F500.0	Переміщення на безпечну відстань
Z-#170F1000.0	Переміщення на глибину зуба
A-#320Y-#310Z-#330F#155	Формоутворення профілю зуба
G0G91	Позиціювання в відносній системі координат
Z#350	Переміщення у вихідну точку вісі Z
Y#310	Переміщення у вихідну точку вісі Y
A#320	Переміщення у вихідну точку вісі A
A-#340	Поворот на наступній зуб
#400=#400-1	Лічильник зубів -1
IF[#400NE0]GOTO4	Повтор N4 доки кількість зубів не буде =0
IF[#40EQ0]GOTO5	Перехід до N5 коли кількість зубів =0
N5	Програма 5
G0G90	Позиціювання в абсолютній системі координат
Z200.0	Відхід для заміни деталі по Z
X150.0	Відхід для заміни деталі по Z

Текст програми	Опис виконання
Y200.0	Відхід для з міні деталі по Z
M5	Зупинка шпинделя
C0.0	Обертання на «S1»
M99	Кінець програми

2.5 Моделювання програми обробки евольвентних поверхонь

Для моделювання процесу обробки евольвентної поверхні довбача обираємо програму Vericut [12]. Vericut, це програмне забезпечення, яке використовується для моделювання обробки з ЧПК. Програма використовується для імітації руху контуру інструменту та процесу вилучення матеріалу, виявлення помилок або областей неефективності в програмах NC. Дане ПЗ було розроблено компанією CGTech Inc. та вперше випущено у 1988 році.

Програмний комплекс Vericut працює з керуючими програмами, незалежно від того, якими програмними засобами вони були створені. Це дозволяє проводити їх перевірку, з огляду на характерні особливості стійок ЧПК і G-кодів, емулювати роботу КП, програм параметричного програмування, що використовують макроси і структурну логіку (цикли, умовні переходи, звернення до системних параметрах). Vericut має модульну структуру, що дозволяє користувачам купувати тільки необхідні функції з можливістю подальшого дооснащення.

Основою програмного комплексу є модуль Vericut Verification, що дозволяє виконувати:

- перевірку КП для операції 3-осьовий (4- і 5-осьовий - з модулем Multi-Axis) фрезерної, токарної, фрезерно-токарної, свердлильної і електроерозійної обробки;
- моделювання ріжучого інструменту і інструментальних збірок. Створення власних бібліотек інструментів або використання бібліотек Vericut і Ingersol, що входять до складу пакета;
- моделювання технологічного оснащення і заготовок (із застосуванням шаблонів - брус, конус, циліндр і т.д.) або імпорт з систем CAD в форматах STL, IGES і STEP;

- вимірювання товщини деталі, обсягу, розмірів, кутів, діаметрів отворів, висоти гребінця одержуваної поверхні під час емуляції обробки;
- аналіз обробки в обраному сегменті КП з відображенням траєкторії руху інструменту в окремому вікні;
- запис (в інтерактивному або автоматичному режимі) процесу обробки в форматах AVI, BMP, TIFF для подальшого аналізу;
- обробку УП в пакетному режимі, що дозволяє проводити автоматичну перевірку великих програм в неробочий час;
- зворотний перекодування програми ЧПК (G-коди) в формат АРТ, що дозволяє модифікувати раніше створені КП для використання на новому обладнанні;
- в модулі Probing Vericut 6.x з'явилася нова опція, що дозволяє створювати КП вимірювань на верстаті з вибором способу вимірювання;
- створення документації в форматах HTML і PDF, що включає: технологічні операції, пристосування, точний час циклу, малюнки інструментів, характеристики обробки, дані з випуску, результати вимірювань і т.д.

Модуль Machine Simulation дозволяє реалістично моделювати будь-який верстат з ЧПК або окремі його компоненти, використовувати готові моделі з великої бібліотеки (що включає велику кількість верстатів найбільш відомих фірм), імпортувати моделі в форматах IGES, STL і Vericut.

Модуль AUTO-DIFF здійснює перевірку і порівняння моделі, отриманої після віртуальної обробки, і математичної моделі конструктора, а також перевірку і аналіз обраних оброблених деталей. Перевірка на заріз може виконуватися на будь-якому етапі емуляції обробки. Ставлячи точність перевірки можна визначити місця зарізань або надлишкового матеріалу із зазначенням кадрів програми, де відбулося відхилення, і його величину. Це дозволяє проаналізувати результати обробки та внести необхідні корективи в КП до її передачі в цех.

Модуль OptiPath дозволяє здійснювати автоматичний підбір оптимальних швидкостей подач, виходячи з умов різання і кількості видаляється матеріалу (чим менше видаляється матеріалу, тим вище швидкість подачі і навпаки).

Для моделювання розробленої програми по обробці евольвентної поверхні довбача, зберігаємо файл с текстом програми у форматі *.txt. Виконуємо запуск програми. Створюємо новий проект симуляції, обираємо всі необхідні дані по обраному обладнанню з ЧПК: систему керування, розташування передньої бабки, шпінделю, інструменту на шпінделі та інше. Відкриваємо збережений файл. Моделюємо обробку запустивши програму у діалоговому вікні. Результати обраних параметрів показані у додатку А. У дереві з лівої сторони діалогового вікна показано усі обрані компоненти верстату та обробки. У додатку Б показано вже змодельовану обробку евольвентної поверхні з відпрацьованими змінними у лівому діалоговому вікні.

Моделювання процесу обробки евольвентних поверхонь економічно доцільне в сучасному світі. Отримавши оброблену 3D деталь, можна порівняти її з математичною 3D моделлю довбача, зроблено згідно креслення. Згідно проведеної перевірки робимо висновок, що програма написана коректно, зарізи та надлишковий матеріал на виготовленому довбачі відсутні.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основним змістом охорони праці на підприємстві є здійснення заходів технічного, санітарно-гігієнічного, правового та організаційного порядку, який направлений на поліпшення умов праці.

У дипломному проекті передбачається організувати конструкторське бюро по дослідженню, розробці та комп'ютерному моделюванню процесів формоутворення евольвентних поверхонь ріжучого інструменту – довбача.

Праця конструкторського бюро, у якому будуть проводитися розробка та модулювання процесів формоутворення евольвентних поверхонь, пов'язана з роботою за комп'ютером, тому на підприємстві дотримуються норми охорони праці для користувачів персональних комп'ютерів.

Праця користувачів комп'ютерів протікає в умовах надмірного нервово-емоційного напруження, довготривалих статичних навантажень, що призводить в майбутньому до неврозів, відхилень в психіці, захворювань серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату. Незадовільний функціональний стан користувачів ПК може викликати небажані наслідки (професійні та професійно зумовлені захворювання), що також пов'язано зі значними соціальними та економічними втратами враховуючи стрімке зростання кількості комп'ютеризованих робочих місць.

До потенційних небезпек фізичного характеру, які можуть виникнути у підрозділі, можна віднести ураження електричним струмом, що в свою чергу призводить до отримання травми.

Електромагнітні хвилі різних частотних діапазонів, електростатичні поля, шум також відносимо до потенційних небезпек фізичного характеру, які мають негативний вплив на людину та можуть викликати функціональні порушення ЦНС, хвороби системи кровообігу, органів дихання, органів травлення та інші наслідки.

До потенційних небезпек психофізіологічного характеру відносяться незадовільна організація робочого місця дослідника, що може бути пов'язана з недо-

статнім врахуванням вимог ергономіки, зокрема захаращеність робочої зони, незручна розстановка меблів та апаратури для дослідів, нераціональне використання вільної території приміщення. Ці фактори мають вплив на психологічний стан людини та можуть викликати порушення функцій уваги, мислення, регуляції рухів, біль та різь в очах, головний біль, біль в області спини та шиї, загальна втома, втома м'язів рук.

Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру включають в себе параметри мікроклімату, світлотехнічні показники, хімічні та біологічні фактори, які можуть впливати на організм людини. До закінчення робочої зміни користувачів комп'ютерів концентрація вуглекислого газу збільшується до 0,2 при нормі 0,03. Серед речовин, які перевищують гранично допустимі концентрації у повітрі біля робочих місць з електронними обчислюваними машинами найчастіше є озон, оксиди азоту, пил.

До потенційних небезпек, пов'язаних з порушенням правил пожежної безпеки можна віднести несправності систем кондиціонування повітря, мереж електропостачання обладнання, використання неперевірених та несправних розподільувачів та сітьових фільтрів, що може призвести до виникнення пожежі.

Потенційні небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій можуть бути пов'язані з невідповідністю персоналу в умовах НС. Для запобігання таких випадків, персонал конструкторського бюро проходить навчання та інструктажі за графіком, встановленим на підприємстві.

Заходи по забезпеченню безпеки приведені у додатку Г.1.

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці приведені у додатку Г.2.

Заходи пожежної безпеки приведені у додатку Г.3.

Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях приведені у додатку Г.4.

ВИСНОВОК

У ході проведення дисертаційної роботи було виконано наступне: узагальнення та систематизація теоретичних та експериментальних основ проектування зуборізних довбачів, ознайомлення з конструктивними особливостями та технологічним процесом їх виготовлення. Аналіз залежності стійкості інструменту від заданих геометричних параметрів, яка є досить суттєвою.

Узагальнення методів формоутворення евольвентного профілю зуборізних довбачів. При виконанні аналізу існуючих методів формоутворення, одним з головних фактів стало те, що шліфування профілю методом огинання за допомогою евольвентного копіру, кулісного механізму та рухомих санчат характеризується як найбільш точний спосіб отримання евольвентного профілю. Тому, для виконання дисертаційної роботи по удосконаленню процесу формоутворення, за прототип обрано метод огинання як окремий випадок методу обкату.

Аналіз ефективності застосування новітнього обладнання з ЧПК. Застосовувані у важкій промисловості ЧПК верстати полегшують виконання складних обробних операцій і зменшують витрати часу на між операційні дії (переналагодження, зміна інструменту). На відміну від універсальних верстатів всі параметри обробки налаштовуються за допомогою комп'ютера. Автоматика контролює здійснення технологічних операцій, зменшуючи вплив на результат людського фактора. Завдяки програмному забезпеченню можна більш повно використовувати можливості верстата, що дозволяє збільшити ефективність виробництва. Оснащення верстатів з числовим програмним управлінням системою автоматичної зміни інструменту скорочують час простою і таким чином збільшують продуктивність.

Розробка програми для обробки евольвентних поверхонь довбача, з подальшим моделюванням обробки у програмі Vericut.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матюшин В.М. Зубодолбление. – М.: Москва, 1953 г., 185 с.
2. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов. – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
3. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1962. – 952 с.
4. Матюшин В.М. Экспериментальные исследования геометрии режущих элементов долбяков. Сборник «Новые конструкции режущих инструментов». – М.: Машгиз, 1952 г.
5. Малкин А.Я. Экспериментальное исследование стойкости долбяков, «станки и инструмент», №7. – 1938 г., 185 с.
6. Волков А.Н., Сазонов М.Б., Смолин В.Д. Изучение конструкции зуборезных долбяков: методические указания – С: Смар. Гос. Аэрокосм. университет, 2012 – 28с.
7. Сильвестров Б. Н. Зубошлифовальные работы. М.: Высшая школа, 1975. 272 с.
8. Сахаров Г. Н., Сморгалов Н. В. Шлифование зубьев долбяков абразивным червяком//Прогрессивные технологические процессы в инструментальном производстве. М.: НИИМАШ. 1979. 75—80 с.
9. Боярский Л.Т., Коршиков Н.П. Технология изготовления деталей и сборки металлообрабатывающих станков и автоматических линий – М: Машиностроение, 1968 г. – 340 с.
10. В.А. Кривоухов, П.Г. Петруха, Б.Е. Бруштейн, С.В. Егоров, Ф.Г. Червяков, А.И. Марков, П.Д. Беспяхотный, М.А. Мякишев, А.Д. Чубаров. — 2-е изд., переработанное и дополненное. — М.: Машиностроение, 1974. — 616 с.
11. Руководство по эксплуатации. Шлифовальные станки, [Электронный ресурс]. <https://www.fanuc.eu/studer>.
12. VERICUT 8.2 – Redefines CNC simulation, installing_cgtech_products_VERICUT81, [Электронный ресурс]. <https://www.cgtech.com/vericut-8-2>.
13. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93 ; чинний від 2005-02-26. – К. : Держнагляд охорони праці України, 2005. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

14. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – (Правила).

15. О минимальных требованиях безопасности при работе с дисплейным оборудованием [Електронний ресурс]: 90/270/ЕЭС. – Чинний від 1990-05-29. – Брюссель. : Совет Европейских сообществ, 1990. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. – (Директива ; Міжнародний документ)

16. Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі. частина 6. Вимоги до робочого середовища. [Текст] : ДСТУ ISO 9241-6:2004 (Державний стандарт України).

17. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми).

18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 / МЮУ 25.04.2018 р. за № 508/31960. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18/conv>.

19. Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України).

20. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. :МОЗУкраїни,1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми).

21. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України).

22. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки).

23. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с. – (Національний стандарт України).

24. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми).

25. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст] : ДБН В.2.2-28:2010. – На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 31 с. – (Державні будівельні норми).

26. Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5-56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с. – (Державні будівельні норми).

27. Закон України «Про цивільну оборону України». – К.Голос України, 06.03.1993.(додаток – 24.03.1999 р).

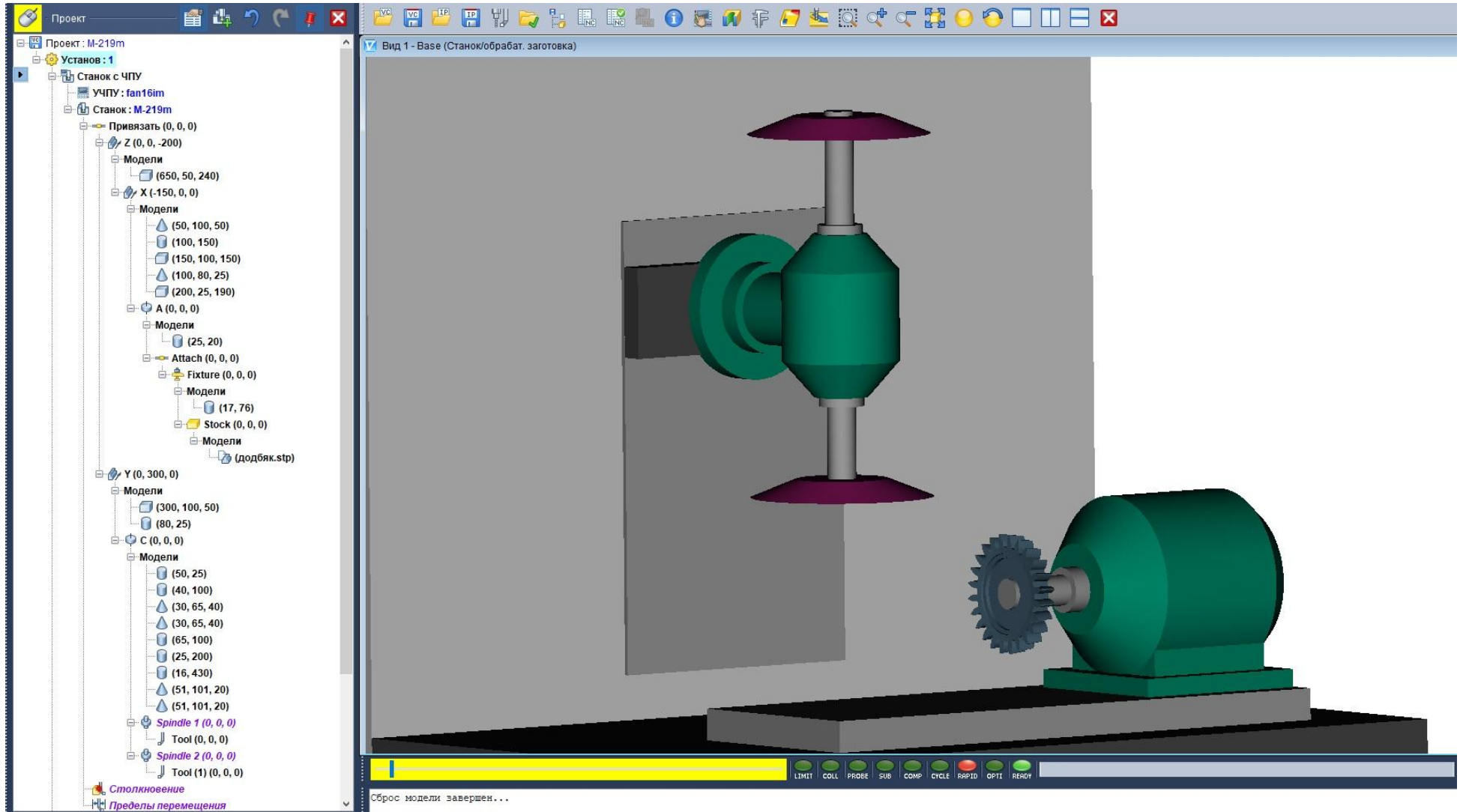
28. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] - Чинний від 2012-11-21.: станом на 01.01.2020 р. – К.: Відомості Верховної Ради України, ,2013. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України).

29. Система надійності та безпеки в будівництві. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони). [Текст] : ДБН В.1.2-4-2006. – На заміну СНиП 2.01.51-90 ; чинний від 2007-04-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 36 с. – (Державні Будівельні Норми).

30. Демиденко, Г.П. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время [Текст]: / под ред. Г.П. Демиденко. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1984. – 232 с.

Додаток А

Візуалізація обраних параметрів обладнання та керуючої програми



Додаток Б

Візуалізація відпрацьованої керуючої програми зі змінними

Перемienne отслеживания

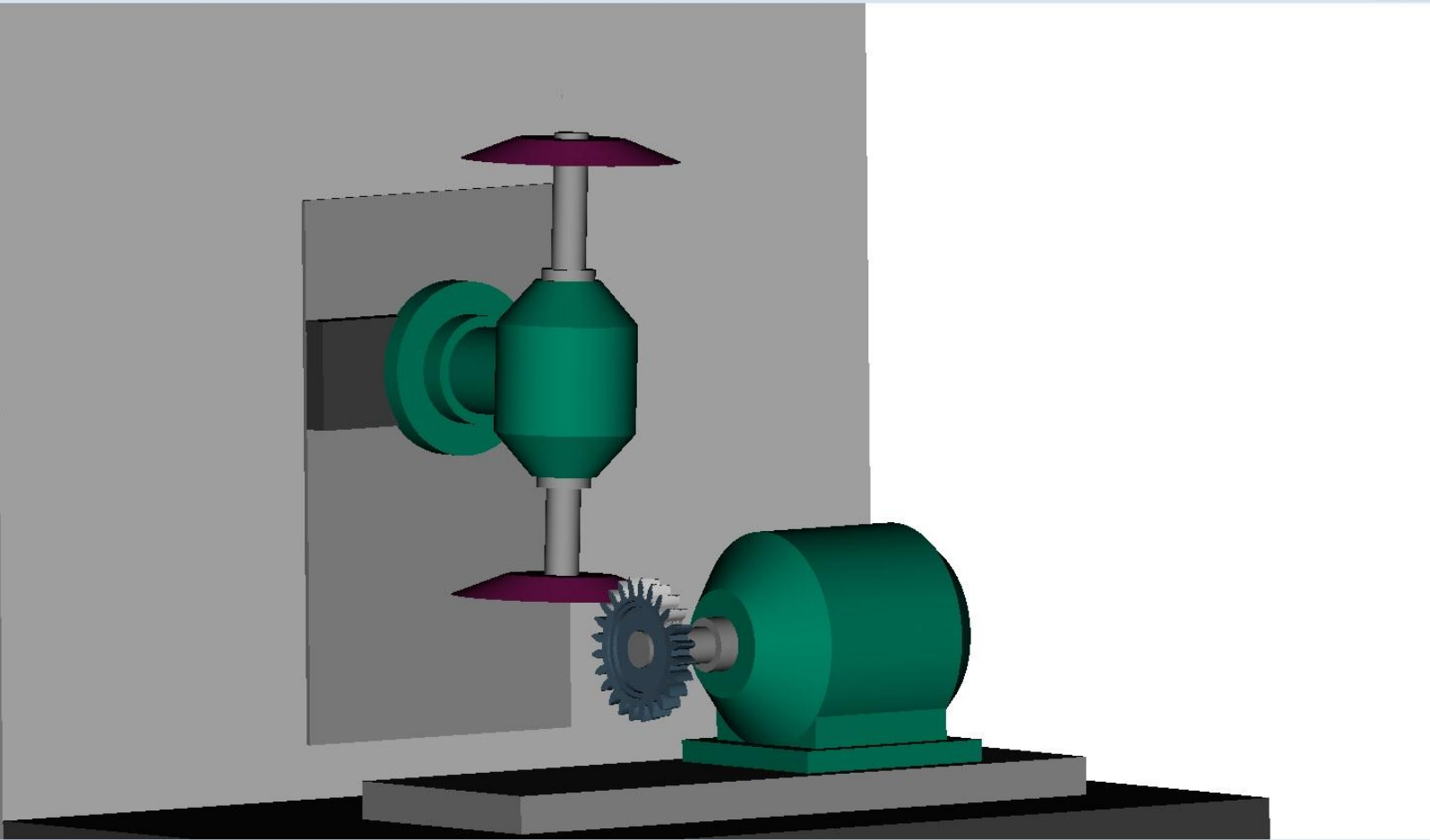
Имя Подп... Подпр... описа... Тип Текуще... Начал...

Фильтровать переменные

Добавить/уда...

Имя	Текущее значение	Описание
Общий		
10	5,05	
20	17	
30	20,674	
40	7,9	
50	132,82	
60	104	
70	5	
80	6	
90	2,271	
100	100	
105	100	
110	100	
115	100	
120	24	
130	0	
140	80	
150	30	
155	1000	
160	20	
170	14,41	
180	1,260712	
190	20,791169	
195	20,791169	
200	22,051881	
205	22,051881	
210	3,96572	
215	3,96572	
220	53,9824	
230	61,913839	
240	0,824519	
250	99,175481	
260	100,824519	
270	2,18524	
280	194,22476	
285	194,22476	
290	60,6	
300	56,697623	
310	40,9163	
320	41,348	
330	14,892315	
340	15	
350	59,302315	
360	3,944259	
370	-3,944259	
380	2292,993631	
390	2292,993631	

Вид 1 - Base (Станок/обработ. заготовка)



Сброс модели завершён...
Обратная прокрутка траектории выполнена

LMIT COLL PROBE SUB COMP CYCLE FEED OPTI READY

Додаток В

Текст програми обробки евольвентної поверхні довбача

```
(*****)  
(*****ПРОГРАММА ОБРОБКИ ДОВБАЧА*****)  
(*****Проект студента групи М-219м*****)  
(*****Красковського А.В*****)  
(*****)  
(*****ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ДОВБАЧА*****)  
#10=5.05 (Модуль)  
#20=24 (Кількість зубів)  
#30=20.674 (Кут зачеплення)  
#40=7.6 (Ширина зуба)  
#50=132.82 (D-Зовнішній)  
#60=104.0 (D-внутренний)  
#70=5.0 (Передій кут)  
#80=6.0 (Задній кут)  
#85=2.271 (Боковий задній кут)  
(*****ПАРАМЕТРЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА*****)  
#90=200.0 (Діаметер круга S1)  
#95=#90/2 (Радиус круга S1)  
#100=200.0 (Діаметер круга S2)  
#105=#100/2(Радиус круга S2)  
#110=100.0 (Базовая точка круга S1)  
#115=100.0 (Базовая точка круга S2)  
#120=24 (обороты круга м/с)  
(*****ПАРАМЕТРИ УСТАНОВУ*****)  
#130=0.0 (Положення вісі A)  
#140=80 (Положение вісі X)  
#150=30.0 (Безпечна відстань Z)  
#155=1000 (Рабочая Подача)  
#160=20 (Кут рійки)  
(*****РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПОЗИЦІЮВАННЯ*****)  
#170=[#50-#60]/2.0  
#180=Tan[#70]*#170  
#190=Sin[#80*2]*#95  
#195=Sin[#80*2]*#105  
#200=#180+#190  
#205=#180+#195  
#210=Tan[#85]*#110  
#215=Tan[#85]*#115  
#220=#140-#200-#210 (XS1)  
#230=#140-#205+#215 (XS2)  
#240=TAN[#85]*#190  
#245=TAN[#85]*#195  
#250=#110-#240 (YS1)  
#260=#115+#245 (YS2)  
#270=TAN[#80]*#190  
#280=[#50/2]+#95+#150-#270 (ZS1)  
#285=[#50/2]+#105+#150-#270 (ZS2)  
(*****РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ*****)  
#290=[#10*#20]/2.0 (Радиус ділильного кола)  
#300=cos[#30]*#290 (Радиус основного кола)  
#310=[[[#30*2.0]*3.14159]/180.0]*#300(Довжина дуги)  
#320=#30*2.0(Кут повороту)  
#330=TAN[#160]*#310(Кут зміщення)
```

#340=360.0/#20(Кут ділення)
#350=#150+#170+#330
#360=180-2*[ACOS[#40/[#300*2]]]/2
#370=#130+#360
#375=#130-#360
#380=[#120/[2*3.14*#95]/1000]*60
#390=[#120/[2*3.14*#105]/1000]*60
#400=0
(*****ВИКОНАННЯ ПРОГРАМИ*****)

M4S#380
G0G90
C#85
A#370
Y#250
X#220
Z#280

N1
G01G91
Z-#150F500
Z-#170F100
A#320Y#310Z-#330F#155
G00G91
Z#350
Y-#310
A-#320
A#340
#20=#20-1
#400=#400+1
IF[#20NE0]GOTO1
IF[#20EQ0]GOTO2

N2
G0G90
C0.0
Z200.0
X150.0
Y200.0
M5

N3
G0G90C180.0
M4S#390
G0G91
C-#85
G0G90
A#375
Y#260
X#230
Z#285

Y#260
X#230
Z#285

N4
G01G91
Z-#150F500.0
Z-#170F1000.0
A-#320Y-#310Z-#330F#155
G0G91
Z#350
Y#310
A#320
A-#340
#400=#400-1
IF[#400NE0]GOTO4
IF[#40EQ0]GOTO5

N5
G0G90
Z200.0
X150.0
Y200.0
M5
C0.0

M99

Додаток Г.1 Заходи по забезпеченню безпеки

У конструкторському бюро використовується лише обладнання - персональний комп'ютер, принтери, факси та телефони, тому можливість отримати травму мінімізована. Проте існують інші небезпечні та шкідливі фактори.

Для виключення можливого ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу, в роботі передбачені:

- організаційні заходи (проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [13]);

- технічні заходи (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ» [14], електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Відповідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС [15] виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні використовується антистатичне покриття підлоги. Сонячні блики на робочому місці усуваються за допомогою регульованих жалюзі, що встановлені на вікнах.

При плануванні робочого місця користувача ПК, для попередження небезпек психофізичного характеру виконуємо вимоги частини 6 ДСТУ ISO 9241-6:2004 «Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі. частина 6. Вимоги до робочого середовища» [16], ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [17] і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [18]. Площа не одне робоче місце має становити не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$. При розміщенні робочих столів з ВДТ дотримуємось відстані між бічними поверхнями ВДТ $1,2 \text{ м}$, відстань від тильної поверхні одного ВДТ до екрана іншого ВДТ – $2,5 \text{ м}$. Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ регулюється в межах $680\text{...}800 \text{ мм}$, а ширина і глибина - забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: $600\text{...}1400 \text{ мм}$, глибина - $800\text{...}1000 \text{ мм}$). Робочий стіл або робоча поверхня повинні бути достатнього розміру та мати поверхню з низькою відбивною здатністю, допускати гнучкість під час розміщення екрана, клавіатури, документів і відповідного устаткування, а також має простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм , завширшки не менше ніж 500 мм , завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм , на рівні простягнутої ноги – ніж 650 мм . Робочий стілець має бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою в межах $400\text{...}500 \text{ мм}$, з кутом і нахилу сидіння – до 15° вперед і до 5° назад та спинки, і за відстанню від спинки до переднього краю сидіння в межах $260\text{...}400 \text{ мм}$, поверхня сидіння має бути плоскою, передній край - заокругленим. Регулювання за кожним із параметрів має здійснюватися незалежно, легко і надійно фіксуватися. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок слід використовувати стаціонарні або змінні підлокітники завдовжки не менше ніж 250 мм , завширшки $50\text{...}70 \text{ мм}$, що регулюються за висотою над сидінням у межах $230\text{...}260 \text{ мм}$ і відстанню між підлокітниками в межах $350\text{...}500 \text{ мм}$.

Для надання першої медичної допомоги приміщення оснащене аптечками першої медичної допомоги.

Дотримуючись НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [18], згідно першої групи роботи для розробників програм із застосуванням ЕОМ, призначаємо регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ, також активний відпочинок, який полягає у виконанні комплексу гімнастичних вправ, спрямованих на зняття нервового напруження, м'язове розслаблення, відновлення функцій фізіологічних систем, що порушуються протягом трудового процесу, зняття втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу і працездатності. Для перевірки стану здоров'я проводяться періодичні методичні огляди раз на два роки комісією в складі терапевта, невропатолога та офтальмолога, для жінок додатком огляд лікарем акушером-гінекологом.

Додаток Г.2

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення конструкторського бюро, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [17] і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [18].

Норми освітленості робочих місць відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [19].

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища зазначених у ГОСТ 12.1.005-88(1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [20] в приміщенні, категорія робіт якого Іа, передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно. Згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [21] дані умови досягаються шляхом прийняття оптимальних норм мікроклімату – В ІІ для приміщень з постійним перебуванням людей, що забезпечують у теплий період року температурний режим $24,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$, у холодний період – $22,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$. Параметри вологості приміщення – 25-60%.

Розрахуємо освітлення конструкторського бюро довжиною $A=28$ м, шириною $B=18$ м, висотою приміщення $H=4$ м та освітленістю 400 лк.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [19] обираю комбіновану систему освітлення для розряду зорових робіт у конструкторському бюро – III з.

Джерелом освітлення конструкторського бюро обираю люмінесцентні лампи ЛБ – білого світла (2500-2800 К) потужністю 40 Вт. Перевагою цих ламп є висока світловіддача та стабільність світлового потоку.

З урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлюваного приміщення за вибухопожежонебезпекою обираю тип світильника ЛПП – прямий світлорозподіл, крива сили світла косинусна, потужність лампи 18...80 Вт, мінімальна висота підвісу світильника над підлогою ≥ 3 м, IP=65, L/h=1,4. Відношення світлового потоку, що випромінюється світильником у нижню півсферу до повного світлового потоку світильника 40-60% - для приміщень, де небажані різкі тіні і тіні взагалі.

Світильник зі ступенем захисту IP65 захищений від твердих часток повною пилонапроникністю та має захист від водяних струменів.

Оцінка коефіцієнту запасу $k_3 = 1,4-1,7$ – відсутність парів кислот і лугів, запыленість значно менше 1 мг/м³.

Коефіцієнт відбиття поверхонь приміщення $\rho_{ст}=70\%$ – площа з білою поверхнею, $\rho_c=50\%$, $\rho_{т}=30\%$ – світле приміщення.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення $z=1,1$.

Визначаємо чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)},$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м

$$h = H - h_p - h_3,$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

Кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]} = \frac{18}{(4 - 0,8) \cdot 1,4} = 4,017 = 5 \text{ рядів}$$

Максимально припустима відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{18}{5} = 3,6 \text{ м}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} = \frac{3,6}{1,4} = 2,6 \text{ м}$$

Висота звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 4 - 0,8 - 2,6 = 0,6 \text{ м}$$

Чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{504}{2,6(28 + 18)} = 4,21$$

Коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=70,5\%$.

Світловий потік лампи:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} = \frac{400 \cdot 504 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,705} = 440374,46 \text{ лк}$$

Максимальна відстань між рядами та сусідніми світильниками у ряду:

$$L_{max} = [L/h] \cdot h = 1,4 \cdot 2,6 = 3,6 \text{ м}$$

Кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{L_{max}} = \frac{18}{3,6} = 5 = 5 \text{ рядів}$$

Умовна загальна кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{504}{3,6^2} = 38,88 \approx 39 \text{ шт.}$$

Світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}}, \text{ лм,}$$

де $N_{л}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт.

$$N_{л} = N^* \cdot n,$$

де n – кількість ламп у світильнику, $n = 2$.

$$N_{л} = 39 \cdot 2 = 78 \text{ шт.}$$

$$\Phi_{л}^* = \frac{440374,46}{78} = 5645,8 \text{ лм}$$

Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{л}$ та знаходимо коефіцієнт m :

$$m = \frac{\Phi_{л}^*}{\Phi_{л}} = \frac{5645,8}{5400} = 1,04$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \cdot m = 39 \cdot 1,04 = 40,56 \approx 40 \text{ шт.}$$

$$N_{\phi} = 80 \text{ ламп}$$

Обираємо лампи довжиною 1,27 м та потужністю 40 Вт.

Загальна розрахункова освітленість E_p

$$E_p = \frac{\Phi_{л} \cdot N_{л} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{5400 \cdot 80 \cdot 0,7}{504 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 389,6 \text{ лк}$$

Умова $E_p = (-10\% \dots + 20\%) E_n$, лк виконується.

Загальна потужність освітлювальної установки становить:

$$P_{\Sigma} = N_{л} \cdot P_{л} = 80 \cdot 40 = 3200 \text{ Вт}$$

Виконуємо ескіз розташування світильників на плані приміщення (рис.3.1), враховуючи розмір світильників. При заданій ширині приміщення розташовуємо світильники по 8 штук у ряді.

Відстані від крайніх світильників у ряду до стіни та від крайніх рядів світильників вибираю за умови розташування проходів у стін:

$$l_{(A,B)} = (0,4 \dots 0,5)L_{(A,B)}$$

$$l_A = 0,4 * L_A = 0,4 * 3,6 = 1,4 \text{ м}$$

$$l_B = 0,5 * L_B = 0,5 * 3,6 = 1,8 \text{ м}$$

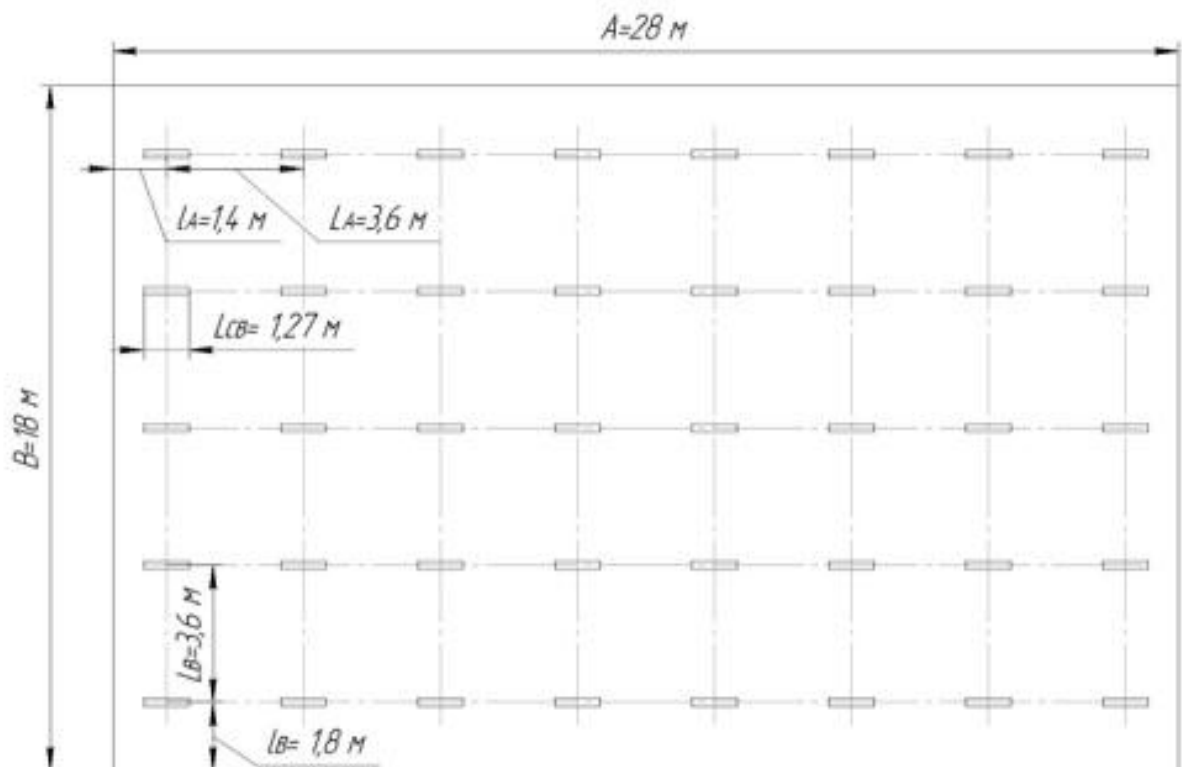


Рисунок 3.1 – Схема розміщення світильників у конструкторському бюро

Додаток Г.3 Заходи пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки виконані згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [22].

Згідно вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [23] приміщення відноситься до категорії Д, як пожежобезпечне з використанням негорючих матеріалів у холодному стані.

Ступінь вогнестійкості приміщення відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [24] - III а.

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [24], у будівлі передбачені 2 евакуаційні виходи. Максимальна відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» [25] становить 50 м.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення конструкторського бюро обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [22] та НАПБ В.01.056-2013/111 «Правила будови електроустановок».

Приміщення оснащено системою автоматичної пожежної сигналізації з димовим пожежним сповіщувачем та переносним вуглекислотним вогнегасником згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [26].

Додаток Г.4

Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Забезпечення стійкої роботи комунально-енергетичних систем промислового об'єкта.

Стійкість роботи об'єктів промисловості є одним з важливих чинників оцінки ефективності економіки. Вплив різних вражаючих чинників на об'єкти промисловості при виникненні надзвичайних ситуацій може привести до їх значного ураження і несення втрат, зі значними наслідками, наприклад, скорочення обсягів або припинення випуску продукції, зниження життєвого рівня населення та інше.

Стійкість роботи промислового об'єкта – це здатність об'єкта в умовах надзвичайних ситуацій випускати продукцію та відновлювати виробництво в мінімально короткі терміни. Стійкість роботи об'єктів, що не виробляють матеріальні цінності, визначається їх здатністю виконувати свої функції в умовах надзвичайних ситуацій.

На стійкість роботи комунально-енергетичних систем промислового об'єкта в умовах надзвичайних ситуацій впливає здатність інженерно-технічного комплексу (будівель, споруд, технологічного обладнання, комунально-енергетичних і технологічних систем і мереж) протистояти руйнуючому впливу аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасної зброї, що в свою чергу повинно гарантувати надійність забезпечення об'єкта усім необхідним для випуску продукції - сировиною і паливом, електроенергією, водою. Саме це визначає основні шляхи підвищення стійкості роботи промислових об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій.

Захист робітників і службовців /населення/ досягається проведенням цілого комплексу захисних заходів, застосуванням різних способів захисту з урахуванням конкретної обстановки.

Захист засобів виробництва полягає в підвищенні опірності /міцності/ будівель, споруд і конструкцій об'єкта до впливу можливих вражаючих чинників і

захисту виробничого обладнання, засобів зв'язку та інших засобів, які складають матеріальну основу виробничого процесу.

Забезпечення стійкого постачання досягається проведенням заходів щодо захисту комунально-енергетичних мереж, транспортних комунікацій і джерел постачання, а також створенням необхідних запасів палива, сировини, напівфабрикатів і комплектуючих виробів.

Підвищення стійкості роботи об'єктів промисловості в умовах надзвичайних ситуацій досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, що включають комплекс робіт, направлених на підвищення стійкості виробничих будівель, споруд, технологічного обладнання, комунально-енергетичних систем.

Нові промислові підприємства не повинні розміщатися в зонах можливих сильних руйнувань категоризованих міст і об'єктів особливої важності, у зонах можливого катастрофічного затоплення, а також у регіонах і містах, де будівництво і розширення підприємств заборонено або обмежено, за винятком підприємств, необхідних для безпосереднього обслуговування населення, а також для потреб промислового, комунального і житлово-цивільного будівництва в місті.

Нові об'єкти промисловості повинні будуватися з урахуванням наступних вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості об'єкту:

1) Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розміщувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви з метою виключення можливості перенесення вогню з однієї будівлі на іншу.

Ширина протипожежного розриву $L_{\text{пр}}$, м, визначається по формулі:

$$L_{\text{пр}} = H_1 + H_2 + (15 \dots 20),$$

де H_1 і H_2 – висоти сусідніх будівель, м.

2) Найбільш важливі виробничі споруди потрібно будувати заглибленими або зниженої етажності, прямокутної форми в плані. Це збільшить їх опірність до впливу надмірного тиску (додаткового навантаження). Надійною стійкістю до впливу додаткового навантаження володіють малоповерхові залізобетонні будівлі

з металевими каркасами в бетонній опалубці. Для підвищення стійкості до світлового випромінювання в будівлях, що будуються і спорудах повинні застосовуватися вогнестійкі конструкції, а також вогнезахисна обробка елементів будівель які горять. При будівництві підприємств харчової промисловості і продовольчих складів повинна бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу.

3) У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання речовин, які легко запалюються, наприклад, бензин, газ, нафта, мазут, повинні розміщуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу у кордонів території об'єкта або за її межами.

4) Деякі види унікального технологічного обладнання доцільно розміщувати в найміцніших спорудах (підвальних і підземних цехах) або застосовувати для їх захисту спеціальні захисні ковпаки.

5) При будівництві і реконструкції підприємств, що має вибухонебезпечні і сильнодіючі отруйні речовини, необхідно передбачати захист ємностей і комунікацій від руйнування надлишковим тиском і конструкціями, що обрушуються, а також заходи, що виключають розлив вибухонебезпечних рідин і НХР.

6) Душеві приміщення і місця для миття машин необхідно проектувати з урахуванням їх застосування для санітарної обробки людей і обеззаражування техніки і автотранспорту.

7) Всі дороги на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами. На територію об'єкта повинне бути не менш двох в'їздів з різних напрямків.

8) Внутрішньозаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найбільш просту схему руху, займати мінімальну площу і мати випереджувальні дільниці.

9) Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менш двох випусків в міські каналізаційні мережі і пристрої для аварійних скидів в спеціально обладнані котловани.

Для забезпечення надійного електропостачання в умовах надзвичайних ситуацій при його проектуванні і будівництві також повинні враховуватися наступні вимоги ЦО.

- електропостачання повинне здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива;
- великі електростанції слід розміщати друг від друга і від великих міст на відстані не менше двох радіусів зон можливих руйнувань;
- районні понижувальні станції, диспетчерські пункти енергосистем і лінії електропередач слід розміщати за межами зон можливих сильних руйнувань;
- трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати від впливу вражаючих факторів, їх стійкість повинна бути не нижче стійкості самого об'єкта;
- електроенергію до ділянок виробництва слід подавати по незалежних електрокабелях, прокладених у землі на глибині 0,8...1,2 метра;
- система електропостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу;
- постачання електроенергії до великих міст і об'єктів, що продовжують роботу в умовах надзвичайної ситуації, необхідно передбачати від двох незалежних джерел;
- при електропостачанні об'єкта від одного джерела повинне бути не менше двох введів з різних напрямків;
- необхідно створювати автономні, резервні джерела електропостачання (для цього можна використовувати пересувні електростанції на залізничних платформах і судах, малопотужні електростанції, не включені в енергосистеми і т.п.);
- при проектуванні систем електропостачання слід зберігати, у якості резервних, дрібні стаціонарні електростанції об'єктів;
- у містах, які розташовані на берегах морів і рік, необхідно створювати берегові пристрої для прийому електроенергії від суднових енергоустановок.

Вимоги щодо підвищення стійкості систем водопостачання об'єктів:

- система водопостачання повинна базуватися не менше ніж на двох незалежних джерелах, одне з яких доцільно влаштовувати підземним;

- у містах і на об'єктах мережі водопостачання у всіх випадках повинні бути закільцьовані;

- при будівництві нових водопроводів існуючі повинні зберігатися як резервні;

- на підприємствах слід передбачати оборотне використання води для технічних цілей (це зменшує загальну потребу у воді, а, отже, підвищує надійність водопостачання);

- лінії водопроводу всіх мереж водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт на 1-2 метра;

- пожежні гідранти і пристрої, що відключають подачу води повинні бути розміщені на території, яка не може бути завалена при руйнуванні будівель.

- водопровідне кільце об'єкта повинно живитися від двох різних міських магістралей;

- в містах і безпосередньо на промислових підприємствах слід споруджувати герметизовані артезіанські свердловини;

- системи водопостачання які тільки споруджуються слід живити, якщо це можливо, від підземних джерел;

- водопостачання на об'єкти з відкритих водойм (річок, озер) повинно здійснюватися системою головних споруд, розміщених поза зонами можливих сильних руйнувань;

- артезіанські свердловини, резервуари чистої води і шахтні колодязі повинні бути пристосовані для роздачі води в пересувну тару;

- резервуари чистої води слід обладнати герметичними люками і вентиляцією з очищенням повітря від пилу;

- при наявності в місті кількох самостійних водопроводів необхідно передбачити з'єднання їх перемичками, які дозволяють відключати пошкоджені лінії і споруди з дотриманням санітарних правил.

Вимоги до систем газопостачання:

- газ повинен подаватися в місто і на промислові об'єкти по двом незалежним газопроводам з протилежних сторін;

- газорозподільні станції необхідно розташовувати за межами міста;
- газові мережі закільцьовуються та прокладаються під землею на глибині 0,6...1,7 метра;
- на газовій мережі в певних місцях повинні бути встановлені автоматичні пристрої, що відключають подачу газу, які спрацьовують від надлишкового тиску ударної хвилі;
- на газопроводах слід установлювати запірну арматури з дистанційним управлінням і крани, що автоматично перекривають подачу газу при розриві труб (це дозволяє відключати газові мережі певних ділянок і районів міста).