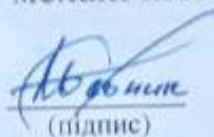


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний університет «Житомирська політехніка»
Кафедра механічної інженерії

«На правах рукопису»

УДК 621.9

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
механічної інженерії


(підпис)

Мельник О.Л.
(прізвище, ініціали)

БАКАЛАВРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Проектування циліндричного косозубого редуктора з

конструкторсько-технологічною підготовкою виготовлення тихохідного валу

МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00 - ПЗ

Студент групи

ЗПМК-21

(шифр групи)

Музика Богдан Миколайович

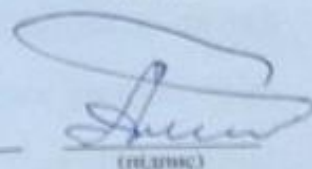
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник

д.т.н., проф. Пилипенко О.М.

(науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)


(підпис)

Житомир – 2023 рік

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра механічної інженерії
Освітній ступінь: «Бакалавр»
Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри
механічної інженерії


(підпис)

Мельник О.Л.
(прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Музики Богдана Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розрахунок та конструювання циліндричного редуктора з конструкторсько-технологічною підготовкою виготовлення тихохідного валу».

Керівник роботи: д.т.н., проф. Пилипенко Олександр Михайлович

Затверджена наказом по університету від «02» березня 2023 р. № 101/с

2. Строк подання студентом роботи: згідно графіку захисту.

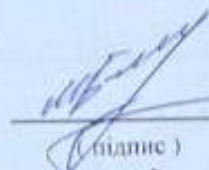
3. Вихідні дані до роботи: схеми та складальні креслення циліндричних редукторів, технічні характеристики верстатного обладнання, довідникова та наукова література.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): зробити загальний опис циліндричних редукторів; виконати огляд технічних характеристик та конструкторських рішень циліндричних редукторів; розрахувати зубчасту передачу редуктора; провести проектний розрахунок валів; побудувати 3D збірку циліндричного редуктора; розробити технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора, спроектувати пристосування для виготовлення шпонково фрезерну операцію та проаналізувати спроектоване пристосування засобами САПР.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Опис та класифікація редукторів – 2 слайди; 2. Розрахунки зубчастієї передачі та валів редуктора – 2 слайди; 3. 3D модель конічного редуктора – 1 слайд; 4. Складальне креслення конічного редуктора – 1 арк. А1; 5. Робоче креслення валу – 1 арк. А2; 6. Технологічний процес виготовлення тихохідного валу – 2-3 слайди; 7. Проектування пристосування – 1-2 слайди;

6. Дата видачі завдання 06 березня 2023 року.

Студент



Музика Б.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Пилипенко О.М.

(прізвище та ініціали)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Виконання загально-технічної частини	20.03.2023 р.	
2.	Виконання конструкторської частини	15.04.2023 р.	
3.	Виконання спеціальної частини	30.04.2023 р.	
3.	Кінцеве оформлення змісту, висновків, графічної частини бакалаврської роботи	20.05.2023 р.	
4.	Підготовка доповіді, ілюстративного матеріалу та презентації	31.05.2023 р.	
5.	Подання бакалаврської роботи на кафедру	05.06.2023 р.	
6.	Захист кваліфікаційної роботи в ЕК	12-30.06.2023 р.	

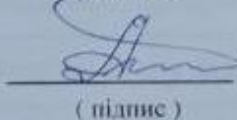
Студент


(підпис)

Музика Б.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Пилипенко О.М.

(прізвище та ініціали)

Форм	Дана	Лист	Позначення	Найменування	Код	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4			№ 13100.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Пояснювальна записка	79	
				<u>Конструкторська документація</u>		
A2			№ 13100.1/Б 101/с 019 01-КД	Тихохідний вал	1	
A1			№ 13100.1/Б 101/с 019 01-КД	Складальне креслення	1	
A			№ 13100.1/Б 101/с 019 01-СП	Специфікація	2	
				3D модель редуктора	1	
				3D модель пристосування	1	
				<u>Графічні матеріали до розділів роботи</u>		
				Класифікація редукторів	1	
				Деякі типи двоступінчастих редукторів	1	
				Розрахунок одноступінчастого циліндричного редуктора	2	
				Технологічний маршрут виготовлення валу тихохідного		
				Вибір засобів технологічного оснащення	1	
				Виконання кінцево-елементного дослідження розробленого пристосування	3	
				Результати дослідження стану напружено-деформованого пристрою в SolidWorks	1	

№ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ВР

З	Ар	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Музика			
Переві	Пилипенко			
Н.контр				
Затвер	Мельник			

Відомість бакалаврської кваліфікаційної роботи

Лит.	Лист	Листов
	1	1
Державний університет «Житомирська політехніка», гр. ЗПМК-21		

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційної бакалаврської роботи
студента факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
групи ЗПМК-21

Музики Богдана Миколайовича

на тему:

**Розрахунок та конструювання циліндричного редуктора з
конструкторсько-технологічною підготовкою виготовлення тихохідного
валу**

Бакалаврська кваліфікаційна робота представлена в обсязі 79 сторінок формату A4 пояснювальної записки, в тому числі 22 рисунка, 11 таблиць та списку літератури з 16 джерел.

До конструкторської документації додано креслення деталі «Тихохідний вал» на форматі A2.

В пояснювальній записці розглянуто призначення, класифікація та технічні характеристики циліндричних редукторів. Побудовано 3D модель одноступінчастого циліндричного редуктора, проведено розрахунок зубчастої передачі.

Розроблено технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора. Обґрунтовано вибір виду та форми заготовки. Підібране металорізальне обладнання для здійснення технологічного процесу. Розраховані режими різання та визначено норми часу на виготовлення деталі.

Розроблено пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Виконано 3D модель даного пристосування та його дослідження напружено-деформованого стану.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Загальні відомості про редуктори	9
1.2 Класифікація редукторів	9
1.3 Конструкція редукторів.....	17
1.4 Змашення редуктора	20
1.5. Побудова 3D моделі циліндричного редуктора.....	21
1.6. Розрахунок зубчастої передачі редуктора	23
Висновки до першого розділу	29
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	30
2.1 Огляд загальних підходів до виготовлення редукторів	30
2.2. Обґрунтування вибору виду та форми заготовки валу редуктора.....	33
2.4. Технологічний процес обробки деталі «Вал»	44
Висновки до другого розділу	54
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	55
3.1. Розробка 3D моделі пристосування для фрезерування шпонкового пазу	55
3.2. Виконання кінцево-елементного дослідження розробленого пристосування	57
Висновки до третього розділу	66
ВИСНОВКИ.....	67
ЛІТЕРАТУРА.....	68

ВСТУП

Редуктори є важливою частиною приводів технологічного обладнання, різних машин, авіаційних приводів та навіть електромобілів.

На сьогоднішній день в Україні функціонують підприємства, котрі проектують, виготовляють та модернізують редуктори, наприклад НТЦ Редуктор.

Крім того проблеми редукторобудування займають чільне місце в науковій періодиці України. На сьогодні є наукові журнали, що перставляють теоретичні та практичні результати наукових досліджень і розробок в галузі зубчастих передач та редукторобудування (наприклад, Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Проблеми механічного приводу).

Вищеописане в свою чергу може вказувати на актуальність інноваційної діяльності в даному напрямку. Як відомо поєднання фахової підготовки та знання у галузі методології інноваційних процесів може дозволити вирішувати інноваційні проблеми.

Саме тому в даній кваліфікаційній роботі поєднано як класичні розрахункові методи так і засоби комп’ютерно інжинірингу в напрямку проектування та виготовлення деталей одноступінчастого циліндричного редуктора.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні відомості про редуктори

Механічний редуктор (від лат. *reductor* — той що відтворює рух) — механізм на основі однієї або більше передач зачепленням, що входить у приводи машин і служить для збільшення крутного моменту разом із зниженням кутової швидкості веденого валу. У редукторах застосовують зубчасті передачі, ланцюгові передачі, черв'ячні передачі та використовують їх у різних поєднаннях — черв'ячні і зубчасті, ланцюгові та зубчасті і т. д. Існують комбіновані приводи, в яких редуктор komponують із варіатором [1].

Редуктором називають пристрій, що перетворює високу кутову швидкість обертання вхідного валу у меншу на вихідному валі, підвищуючи при цьому, крутний момент. Пристрій, який перетворює малу кутову швидкість у вищу називають мультиплікатором [1].

Редуктор зі ступінчастою зміною кутової швидкості називається коробкою передач, із безступінчастою — варіатор [1].

1.2 Класифікація редукторів

В літературі зустрічається різна класифікація редукторів. Наприклад в [2] надана наступна класифікація та опис редукторів:

1) **Черв'ячний.** Найбільш поширений різновид, в якому сила передається за рахунок зчеплення зубчастого колеса з трапецієподібним гвинтом (черв'яком). Існує декілька підвидів такої передачі: редуктор черв'ячний одноступінчатий і двоступінчастий. Агрегати черв'ячного типу володіють найвищим потенціалом передачі крутного моменту. На сайті

ТОВ "ПЕРША РЕДУКТОРНА КОМПАНІЯ" також наголошують, що одноступінчатий редуктор циліндричний простий і надійний – ККД 70-80%. Двоступеневі моделі підвищують передаточне число в два рази, але ККД роботи агрегату знижується до позначки в 40-50%. До плюсів всіх черв'ячних передач відноситься плавність ходу, низький рівень шуму, наявність опції гальмування в одноступінчатих моделях.

2) **Циліндричний.** Встановлюються в вантажопідйомних, металорізальних верстатах. Плюси: широкі можливості передавальних чисел і потужностей, ККД - 98%. Зустрічаються як редуктори циліндричні вертикальні так і горизонтальні. Розташування залежить від завдання і функції обладнання.

3) **Планетарні.** Їх також називають диференціальними. Складаються з центральної та допоміжних шестернею однакового розміру, а також фіксатора. Сфера застосування – машинобудування, медична, хімічна промисловість (перемішувальне обладнання). Плюси: робота 24/7 в широкому діапазоні навантажень.

4) **Насадні.** Монтуються безпосередньо на вал. При цьому додаткові передачі і з'єднання не використовуються. Компактні габарити, мала вага є перевагами. Мінуси: необхідність підтримки рівномірного навантаження.

5) **Конічні.** В пару вступають колеса з круговими і прямими зубами. Застосовуються в ситуаціях, коли потрібно обертання через перехресні вали. Перевагою слід вважати те, що редуктора конічні здатні працювати в широкому діапазоні значень передаточних (від 1 до 5).

6) **Конічно-циліндричні.** Це певний гібрид конічного і одноступінчатого циліндричного агрегатів. До плюсів можна віднести «швидкохідність», мінуси – великі габарити, мала навантажувальна здатність.

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Редуктори можуть також відрізнятися формою зубів на передавальних шестернях: прямозубі та косо зубі. Редуктори, оснащені шестернями з прямими зубцями, мають свої недоліки, які виявляються інтенсивним зносом самого зубця, оскільки зачеплення відбувається різко по всій їх довжині. При цьому робота редуктора супроводжується підвищеним шумом. Двоступінчасті співвісні редуктори з непрямолінійним розташуванням зубців є більш практичними. Завдяки тому, що зачеплення між нахиленими зубцями відбувається не всією робочою поверхнею одразу, а поступово і послідовно кожним наступним зубом, тому шум і вібрація практично відсутні. У зв'язку з цим обертання зубчастих деталей відбувається легше, вони не нагріваються, а їх знос незначний.

На рис. 1.1 [3] показані кінематичні схеми найбільш поширених зубчастих редукторів. На наведених схемах швидкохідний вал позначений Ш, проміжні – П, тихохідний – Т.

Залежно від числа ступенів, в яких відбувається зниження кутових швидкостей, розрізняють редуктори одноступінчасті (рис. 1.1, а, е), двоступінчасті (рис. 1.1, б, в, г, д, ж, м, н) і триступінчасті (рис. 1.1, и, к, л).

Число ступенів редуктора вибирають в залежності від загального передавального числа. Циліндричні редуктори мають таке число ступенів в залежності від величини:

- одноступінчасті = 1,6 ... 6,3;
- двоступінчасті = 8 ... 40;
- триступінчасті = 25 ... 60.

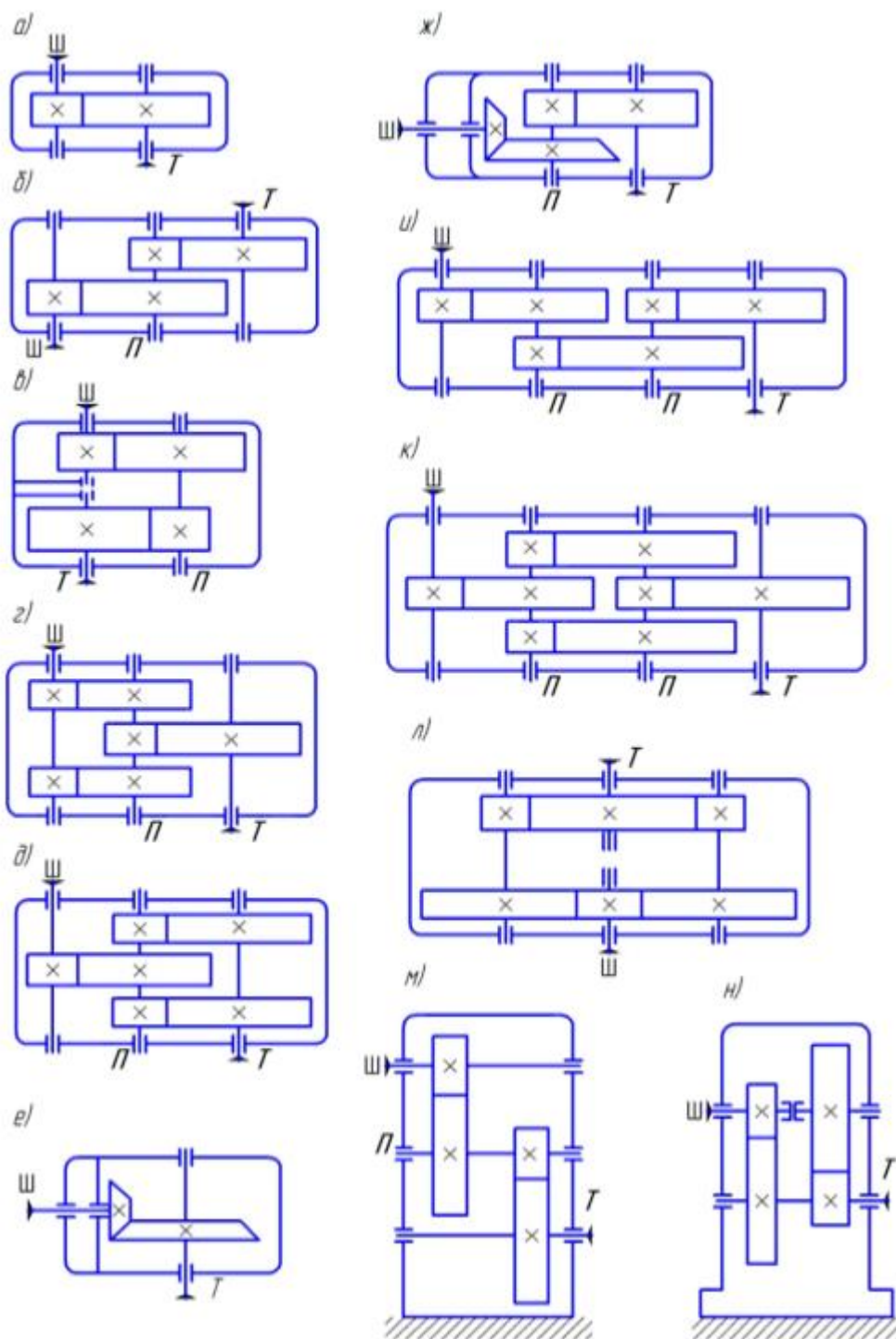


Рис.1.1. Кінематичні схеми редукторів [3]

В джерелі [3] зазначається, що конструкція редукторів по розгорнутій схемі (рис. 1.1, б, и) є найбільш простою і має найменшу ширину. Також в [3] зазначено, що несиметричне розташування зубчастих

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

коліс на валах підвищує концентрацію навантаження по довжині зуба, викликає нерівномірність розподілу навантаження між підшипниками. З метою зниження концентрації навантаження, двоступінчасті циліндричні редуктори виконують з роздвоєними ступенями (рис. 1.1, г, д). В джерелі [3] стверджується, що таке конструктивне рішення забезпечує сприятливий розподіл навантаження по ширині зубчастого вінця і майже на 20 % знижує масу редуктора в порівнянні з конструкцією, виконаної за розгорнутою схемою.

Аналогічні переваги можна отримати і конструкції триступінчастого редуктора з роздвоєним проміжним ступенем (рис. 1.1, к). Тут забезпечуються сприятливі умови роботи швидкохідної і тихохідної ступенів співвісному редукторі (рис. 1.1, в) забезпечується співвісність швидкохідного (вхідного) і тихохідного (вихідного) валів, що зменшує довжину редуктора в порівнянні з розгорнутою схемою і забезпечує найбільш раціональну компоновку приводу. До недоліків [3] можна віднести великі габарити по ширині, ускладнене змащення підшипників, які розташовані в середній частині корпусу. Роздвоєння потоку потужності (рис. 1.1, л) і розташування валів у горизонтальній площині забезпечують мінімальні висоту редуктора і нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастих вінців, а також практично повне розвантаження підшипників швидкохідного і тихохідного валів.

За відносним розташуванням валів у просторі розрізняють горизонтальні циліндричні редуктори (рис. 1.1, а...л) і вертикальні (рис. 1.1, м, н) [3]. Напрямок зуба циліндричних косозубих коліс може бути як лівим, так і правим.

В цілому Існує багато різновидів редукторів, які можна класифікувати за типами, розмірами та виконанням. Тип редуктора визначається структурою передач, їхнім порядком розташування від

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

швидкохідного валу до тихохідного валу і положенням осей зубчастих коліс у тривимірному просторі [4].

Одноступінчасті редуктори – це тип редукторів, які мають лише одну ступінь передачі між вхідним і вихідним валами. Вони складаються з двох основних компонентів: вхідного валу, який приймає вхідну потужність, і вихідного валу, який передає вихідну потужність. У одноступінчастих редукторах зубчасті колеса знаходяться на одній осі і з'єднуються з допомогою зубчастих передач або шестерень. Цей тип редукторів часто використовується для зниження швидкості обертання і збільшення крутного моменту вихідного валу. Деякі типи одноступінчастих редукторів наведені на (рис. 1.2).

Двоступінчасті редуктори - це тип редукторів, що мають дві ступені передачі між вхідним і вихідним валами. У них використовуються дві послідовно з'єднані передачі для зміни швидкості обертання і крутного моменту. Кожна ступінь передачі може мати власне зубчасте колесо або шестерню, які пов'язані з передачею механічної потужності.

Перша ступінь передачі виконує зниження швидкості вхідного валу і одночасно збільшення крутного моменту. Це досягається за допомогою комбінації зубчастих коліс або шестерень різних розмірів. Друга ступінь передачі може бути розташована за першою ступеню і виконує подальше зниження швидкості та збільшення крутного моменту.

Деякі типи двоступінчастих редукторів наведені на (рис. 1.3).

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

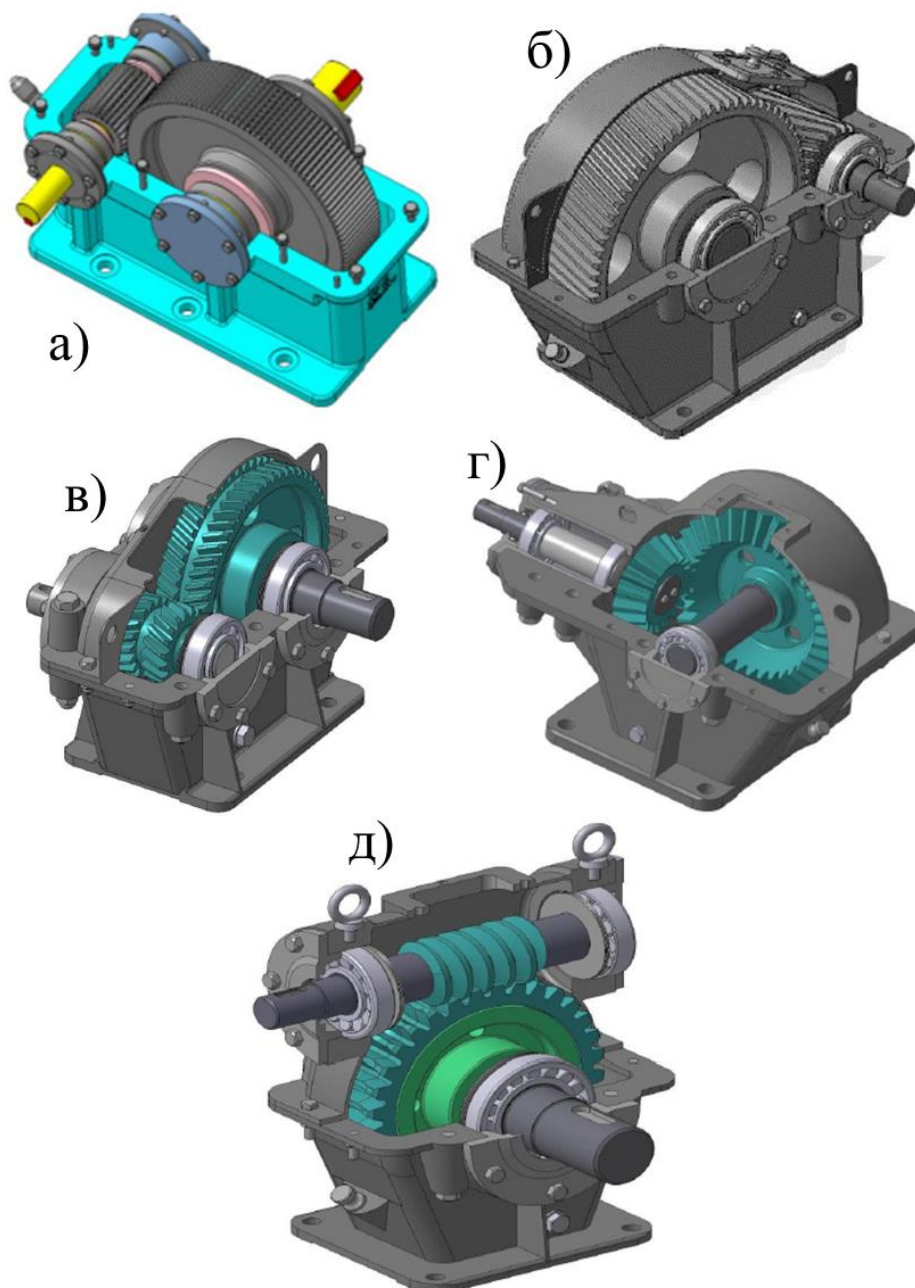


Рис. 1.2. Одноступінчасті редуктори [3]: а) – циліндричний прямозубий редуктор; б) циліндричний косозубий; в) циліндричний шевронний; г) конічний; д) черв'ячний.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ

Арк.

15

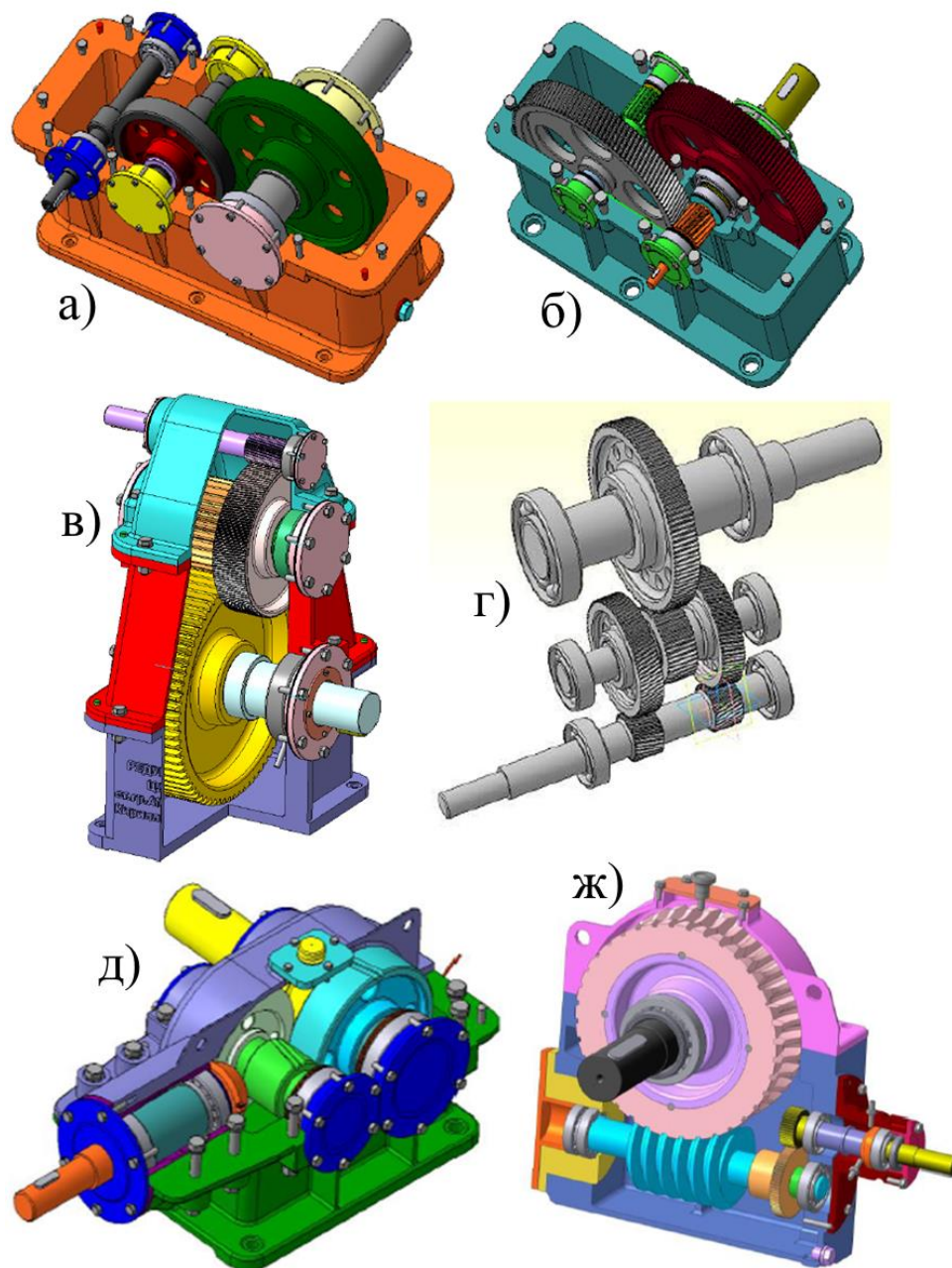


Рис. 1.3 Двоступінчасті редуктори [4]: а) циліндричний горизонтальний; б) циліндричний співвісний; в) циліндричний вертикальний; г) циліндричний з роздвоєною швидкохідною ступінню; д) конічно-циліндричний ж) черв'ячно-циліндричний.

Двоступінчасті редуктори широко використовуються в різних галузях і застосуваннях, де потрібно забезпечити значне зниження швидкості обертання і збільшення крутного моменту. Вони

застосовуються в автомобілях, промислових механізмах, обладнанні для виробництва, транспортерних системах, вітряних турбінах та багатьох інших технічних системах, де важливо досягнути оптимального передавання потужності.

1.3 Конструкція редукторів

Зазвичай, корпус редуктора складається з двох основних частин [4] - корпусу і кришки, які виготовляються з чавуну. Однак, в деяких випадках також використовуються зварні сталеві корпуси, які мають перевагу бути легшими за чавунні і не потребують використання форми при виготовленні, що робить їх особливо зручними для індивідуального виробництва.

Основними компонентами корпусу є його стінки, опорна підшва або лапи, фланець корпусу, що має з'єднання з фланцем кришки, а також гнізда для підшипників. Часто ці гнізда підкріплюються ребрами, які створюють додаткові з'єднання між гніздами, стінками корпусу та його підшвою, що забезпечує загальну жорсткість конструкції та міцність в місці переходу від стінки до підшви. Це додаткове зміцнення є необхідним, оскільки в цьому місці часто виникають тріщини. Особливо важливі ребра в районі підшипників тихохідного валу, які піддаються більшому навантаженню порівняно з іншими. Крім того, ребра можуть використовуватися для збільшення поверхні корпусу та підвищення ефективності тепловіддачі.

Конструкція кришки аналогічна корпусу [4]. Зазвичай у кришці передбачений люк достатніх розмірів для огляду передач. Люк закривається плоскою кришкою, яка може бути виготовлена з литого чавуну або сталевих листа і кріпиться болтами. У кришці редуктора

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

встановлюється віддушина, через яку повітря, що розширюється внаслідок виділення тепла при зачепленні, виходить з редуктора. Якщо повітря не має легкого виходу, воно пробивається через стики і ущільнення, що може призвести до витікання мастила. Однак, недоліком віддушин є те, що при зупинці та охолодженні редуктора зовнішнє повітря разом із забрудненнями може потрапляти в них. У великих редукторах використовують вентиляційні ковпаки з діафрагмами та сіткою для цього.

Підшипники на кожному валу однакові, що дозволяє змінювати положення кінців валів для отримання різних варіантів збірки. Щоб розподілити навантаження між підшипниками одного валу більш рівномірно, бажано розташовувати шестірню на ведучому валу та колесо на веденому валу подалі від опори, оскільки в цій області встановлюють муфти чи деталі передач, які накладають додаткове навантаження, переважно на найближчий підшипник. Крім того, таке розташування шестірні в багатьох випадках зменшує концентрацію навантаження [4].

Зубчасті колеса редукторів часто виготовляють з одним напрямком косих зубів [4]. Це дозволяє використовувати зубчасте колесо однієї ступені редуктора, яке має менший розмір, як зубчасте колесо іншої ступені редуктора з більшим розміром. Крім того, такий дизайн забезпечує постійний контакт зубчастого колеса з фіксуючим буртиком проміжного валу-шестерні, уникнення випадкового виходу зубчастого колеса зі свого місця при будь-якому обертанні. У разі коли шестерня та зубчасте колесо проміжного вала мають протилежний напрямок зубів, виникають осьові сили, які діють в одному напрямку і на підшипники передають суму цих сил. Це є недоліком для редукторів з зубчастими колесами одного напрямку зубів. Зубчасті колеса установлюються на вал з використанням посадок з натягом Н7/г6 та Н7/р6. Деталі збирають під пресом, встановлюючи зовнішні кільця підшипників з вільними посадками Н7, Н8

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

у гніздах. Це має кілька переваг [4]. По-перше, такий підхід усуває ризик защемлення тіл кочення. По-друге, це сприяє збільшенню довговічності зовнішнього кільця за рахунок його повороту. По-третє, цей метод забезпечує осові переміщення при монтажі та регулюванні зазорів [3].

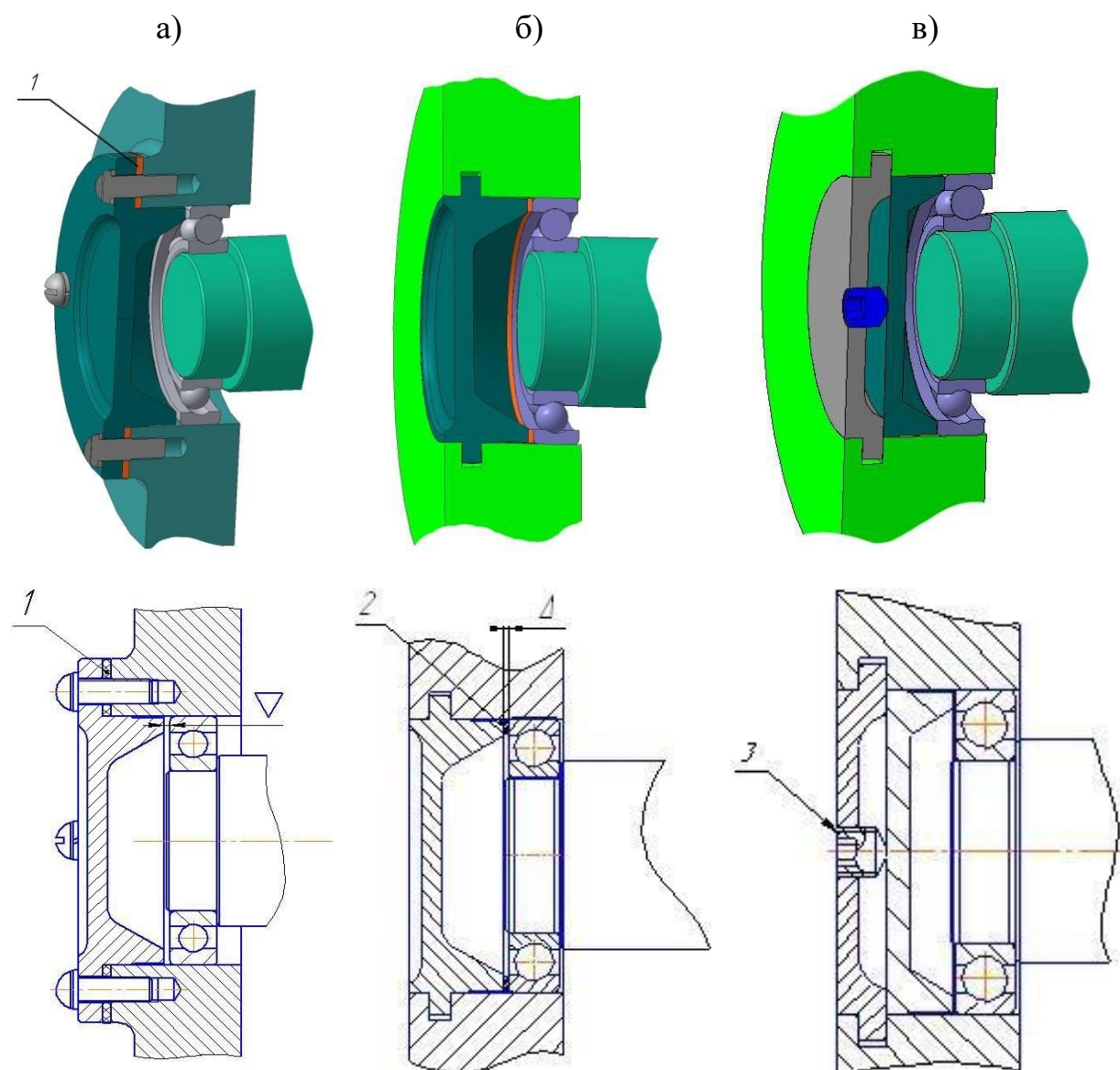


Рис. 1.4. а - прикладна; б - закладна; в - закладна з гвинтом [4].

Кришки підшипників бувають прикладні чи закладні (рис. 1.4). Перші зручні в експлуатації, тому що забезпечують доступ до підшипників

не перебираючи всього редуктора; другі спрощують конструкцію і знижують вагу редуктора [3].

При застосуванні прикладних кришок регулювання необхідного сумарного зазору роблять підбором товщини прокладок 1, а при закладних – товщиною компенсуючого кільця 2; регулювання можна також робити за допомогою гвинта 3 з сферичною поверхнею на кінці.

1.4 Змащення редуктора

Змащення використовується для зниження опору тертя між поверхнями, видалення зношених матеріалів та відведення тепла. У випадку правильно встановлених підшипників, втрати від тертя є незначними (ефективність від 0,99 до 0,995), тому потрібне лише мінімальне змащення [4]. Надмірне змащення навіть шкідливе, оскільки призводить до втрат енергії. Тому підшипники, які розташовані в опорах швидкообертових зубчастих шестерень, захищаються кільцями, які запобігають викиданню масла. Оскільки передавальний коефіцієнт ефективності зубчастого механізму менший, ніж у підшипника (0,97-0,98), для нього потрібне більше змащення. Зазвичай це досягається зануренням всіх або частини зубців в масло на визначену глибину.

Об'єм масляної ванни розраховується зі співвідношенням 0,35-0,7 л на 1 кВт переданої потужності. Підшипники, колеса та шестерні, які не занурені, отримують змащення за рахунок розпилення масла (при швидкості понад 2-4 м/с), потоку по колесах та валах та конденсації парів масла. У корпусі редуктора передбачаються різні елементи для зручного заливання масла, промивання гасом та контролю рівня масла. Для цих цілей встановлений люк і зливна пробка, а також масло показник. Додатково, дно корпусу редуктора виготовлене з нахилом, що сприяє

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

зручному зливанню масла. Щоб уникнути зростання тиску всередині корпусу при нагріванні і витіканні масла через з'єднання, встановлений вентиляційний отвір [5].

1.5. Побудова 3D моделі циліндричного редуктора

Для побудови 3D моделі циліндричного редуктора було обрано з атласу конструкцій редукторів [6] циліндричний одноступінчастий редуктор з: модулем $m = 3,5$ мм, кількістю зубців шестерні і колеса $z_1 = 26, z_2 = 87$; міжосьовою відстанню $a_w = 200$ мм; кутом нахилу зубців $\beta = 8^\circ 30'$; шириною колеса $b_2 = 80$ мм.

На основі наведеної схеми редуктора та його вихідних технічних характеристик розраховуємо геометричні параметри зубчастого зачеплення та по масштабу визначаємо відсутні розміри та будуємо 3D модель збірки редуктора у програмі SolidWorks. Побудована модель представлена на рисунку 1.5, та її розріз на рисунку 1.6.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

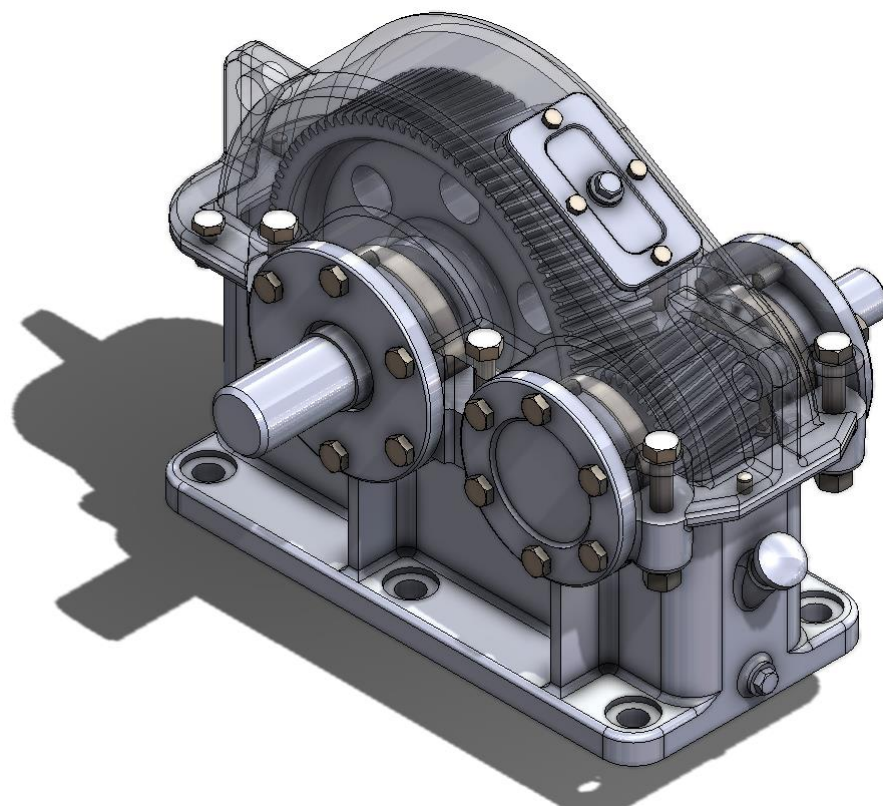


Рис. 1.5. Побудована 3D модель збірки редуктора

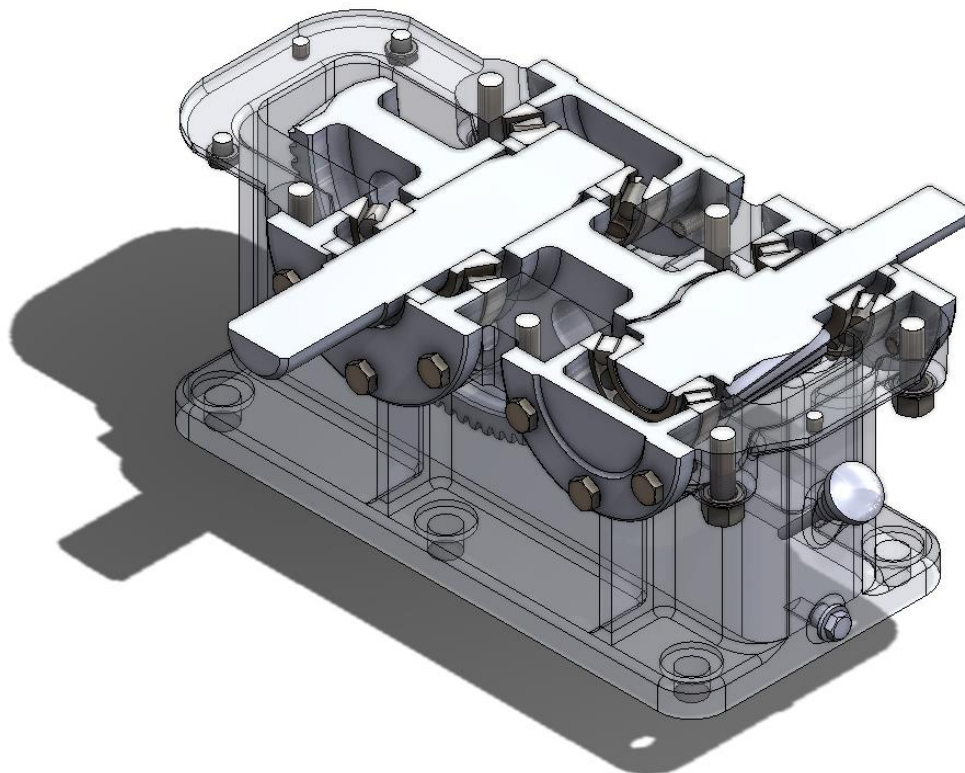


Рис. 1.6. Побудована 3D модель збірки редуктора у розрізі

1.6. Розрахунок зубчастої передачі редуктора

Вихідними даними для розрахунку зубчастої циліндричної передачі редуктора є: модуль $m = 3,5$ мм, кількість зубців шестерні і колеса $z_1 = 26, z_2 = 87$; міжосьова відстань $a_w = 200$ мм; кут нахилу зубців $\beta = 8^\circ 30'$; ширина колеса $b_2 = 80$ мм.

За [7, ст. 16] формула для визначення міжосьової відстані має вигляд:

$$a_w = K_a \cdot (u + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{H\beta}}{\psi_a \cdot ([\sigma_H] \cdot u)^2}},$$

де: $K_a = 430$ – для косозубої передачі;

u – передаточне число, $u = z_2/z_1 = 87/26 = 3,35$;

T_2 – крутний момент на колесі;

$\psi_a = 0,3 \dots 0,5$ – коефіцієнт ширини колеса відносно міжосьової відстані [7, табл. Д7]. Можна визначити за формулою: $\psi_a = b_2/a_w = 80/200 = 0,4$;

$K_{H\beta} = 1,06$ – коефіцієнт концентрації навантажень [7, табл. Д11]. Для визначення необхідно знати коефіцієнт ширини колеса відносно діаметру $\psi_d = 0,5 \cdot \psi_a \cdot (u + 1) = 0,5 \cdot 0,4 \cdot (3,35 + 1) = 2,61$;

$[\sigma_H]$ – допустиме контактне напруження, МПа:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{HO}}{S_H} \cdot K_{HL} = \frac{721}{1,1} \cdot 1 = 655 \text{ МПа.}$$

де: σ_{HO} – межа контактної витривалості при базовому числі циклів навантаження при об'ємному гартуванні [7, табл. Д6]:

$$\sigma_{HO} = 2 \cdot HB_{\text{ср.}} + 70 = 2 \cdot 285,5 + 150 = 721 \text{ МПа;}$$

$$\text{де: } HB_{\text{ср.}} = \frac{HB_{\text{max}} + HB_{\text{min}}}{2} = \frac{269 + 302}{2} = 285,5;$$

$S_H = 1,1$ – коефіцієнт безпеки по [7, табл. Д6];

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$K_{HL} = 1$ – коефіцієнт довговічності.

Отже, маючи вище наведені параметри, з формули для визначення міжосьової відстані, можна розрахувати максимальний крутний момент на колесі.

$$\begin{aligned} T_2 &= \left(\frac{a_w}{K_a \cdot (u + 1)} \right)^3 \cdot \frac{\psi_a \cdot ([\sigma_H] \cdot u)^2}{K_{H\beta}} \\ &= \left(\frac{200}{430 \cdot (3,35 + 1)} \right)^3 \cdot \frac{0,4 \cdot (655 \cdot 3,35)^2}{1,06} = 0,1069 \cdot 1816880,4 \\ &= 194224,5 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 194,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Коефіцієнт сприйманого зсуву для прямозубої передачі:

$$\gamma = \frac{a_w - a}{m} = \frac{200 - 199,946}{3,5} = 0,015;$$

Коефіцієнт вирівнювального зміщення визначається по номограмі [7, Д8]. При $\gamma = 0,015$, $\Delta\gamma = 0$.

Отже зубчасте зачеплення виконується без зміщення вихідного контуру.

Виконуємо розрахунок основних геометричних параметрів передачі

$d_1 = \frac{m \cdot z_1}{\cos \beta} = \frac{3,5 \cdot 26}{\cos 8,5} = 92,01 \text{ мм.}$	$d_2 = \frac{m \cdot z_2}{\cos \beta} = \frac{3,5 \cdot 87}{\cos 8,5} = 307,88 \text{ мм.}$
$d_{a1} = d_1 + 2m = 99,01 \text{ мм.}$	$d_{a2} = d_2 + 2m = 314,88 \text{ мм.}$
$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 83,26 \text{ мм.}$	$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 299,13 \text{ мм.}$
$b_1 = 90 \text{ мм.}$	$b_2 = 80 \text{ мм}$

Вхідний вал редуктора з'єднується з до асинхронним електродвигуном серії **4А типорозмір 132М4** [7, табл. Д2], синхронна частота обертання якого: $n_c = 1500$ об/хв., та номінальна потужність $P_{дв.} = 11$ кВт.

Номінальна частота обертання валу двигуна, хв–1:

$$n_{\text{дв.}} = n_c \cdot \left(1 - \frac{s}{100}\right) = 1500 \cdot \left(1 - \frac{2,8}{100}\right) = 1458 \text{ об/хв.}$$

де: $s = 2,8$ – відносне ковзання, %.

$$n_1 = n_{\text{дв.}} = 1458 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1458}{30} = 152,6 \text{ рад/с.}$$

- на тихохідному валу редуктора:

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\text{ред.}}} = \frac{1458}{3,35} = 435,2 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 435,2}{30} = 45,5 \text{ рад/с.}$$

Крутний момент на тихохідному валу було розраховано вище: $T_2 = 194,2$ Нм, тоді потужність на тихохідному валу визначаємо за формулою:

$$P_2 = T_2 \cdot \omega_2 = 194,2 \cdot 45,5 = 8836,1 \text{ Вт.}$$

Потужність та крутний момент на швидкохідному валу:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{ред}}} = \frac{8836,1}{0,98} = 9016,4 \text{ Вт.}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{9016,4}{152,6} = 59,1 \text{ Нм.}$$

Отже, двигун має потужність з деяким запасом навіть з врахуванням втрат на з'єднувальну муфту $P_{\text{дв.}} \geq P_{\text{роз.}}$ ($11 \text{ кВт} \geq 9,02$).

Таблиця 1

Значення кінематичних та силових параметрів на валах

Номер валу	n , об/хв.	ω , рад/с.	P , кВт	T , Н * м
1	1458	152,6	9,02	59,1
2	435,2	45,5	8,8	194,2

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі розрахунків

Перевірочний розрахунок на контактну міцність

Розрахуємо колові швидкість за формулою [7]:

$$V = \frac{\pi \cdot n_2 \cdot d_2}{60000} = \frac{3,14 \cdot 435,2 \cdot 307,88}{60000} = 7,01 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$K_H = K_{HV} \cdot K_{H\beta} = 1,08 \cdot 1,08 = 1,16$$

де: $K_{HV} = 1,06$ – коефіцієнт динамічного навантаження обирається з [7, табл. Д10]. Ступінь точності передачі (приймаємо 8) вибирається з [7, табл. Д9].

$K_{H\beta} = 1,08$ – коефіцієнт концентрації навантаження [7, табл. Д11].

Контактне напруження, МПа:

$$\sigma_H = \frac{340}{u} \cdot \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_H \cdot (u + 1)^3}{a^3 \cdot \psi_a \cdot K_{\text{ПН}}}} = \frac{340}{3,35} \times \\ \times \sqrt{\frac{194,2 \cdot 10^3 \cdot 1,16 \cdot (3,35 + 1)^3}{200^3 \cdot 0,4 \cdot 1,6}} = 101,5 \cdot \sqrt{\frac{18542785,98}{5120000}} = 193,2 \text{ МПа;}$$

де: $\psi_a = 0,4$ – коефіцієнт ширини колеса відносно міжосьової відстані [7, табл. Д7];

$K_{\text{ПН}}$ – коефіцієнт підвищення міцності по контактній напруженості.

$$K_{\text{ПН}} = \frac{\varepsilon_a}{K_{Ha} \cdot \cos^2 \beta} = \frac{1,7}{1,1 \cdot \cos^2 8,5} = 1,6$$

$$\varepsilon_a = \frac{\left(\sqrt{d_{a1}^2 - (d_1 \cdot \cos \alpha_t)^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - (d_2 \cdot \cos \alpha_t)^2} - 2a_w \cdot \sin \alpha_{tw}\right) \cdot \cos \beta}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot \cos \alpha_t}$$

$$= \frac{(\sqrt{99,01^2 - (92,01 \cdot \cos 20,2)^2} + \sqrt{314,88^2 - (307,88 \cdot \cos 20,2)^2} - 2 \cdot 200 \cdot \sin 20,2) \cdot \cos 8,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot \cos 20,2}$$

$$= \frac{(48,44 + 125,14 - 138,12) \cdot 0,9890}{20,63} = 1,7$$

Допустиме контактне напруження, МПа:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{HO}}{S_H} \cdot K_{HL} = \frac{721}{1,1} \cdot 1 = 655 \text{ МПа.}$$

де: σ_{HO} – межа контактної витривалості при базовому числі циклів навантаження при об'ємному гартуванні [7, табл. Д6]:

$$\sigma_{HO} = 2 \cdot HB_{cp.} + 70 = 2 \cdot 285,5 + 150 = 721 \text{ МПа;}$$

$$\text{де: } HB_{cp.} = \frac{HB_{max} + HB_{min}}{2} = \frac{269 + 302}{2} = 285,5;$$

$S_H = 1,1$ – коефіцієнт безпеки по [7, табл. Д6];

$K_{HL} = 1$ – коефіцієнт довговічності.

Отже перевірка показала:

$$\sigma_H = 193,2 \text{ МПа} \leq [\sigma_H] = 655 \text{ МПа.}$$

Перевірочний розрахунок міцності зубів коліс на згин

Еквівалентне число зубів:

$$Z_{E1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{26}{\cos^3 8,5} = \frac{26}{0,9674} = 26,876;$$

$$Z_{E2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{87}{\cos^3 8,5} = \frac{87}{0,9674} = 89,932;$$

Коефіцієнт форми зуба:

$$Y_1 = 3,47 + \frac{13,22}{Z_{E1}} = 3,47 + \frac{13,22}{26,876} = 3,96;$$

$$Y_2 = 3,47 + \frac{13,22}{Z_{E2}} = 3,47 + \frac{13,22}{89,932} = 3,61;$$

Коефіцієнт навантаження:

$$K_F = K_{FV} \cdot K_{F\beta} = 1,23 \cdot 1,2 = 1,48$$

де: $K_{FV} = 1,23$ – коефіцієнт динамічного навантаження обирається з [7, табл. Д13].

$K_{F\beta} = 1,2$ – коефіцієнт концентрації навантаження [7, табл. Д14].

Напруження при згині (розрахунок проводиться для того з коліс у якого відношення $[\sigma_F]/Y$ менше), МПа:

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot T \cdot K_F \cdot K_{\Pi F}}{d \cdot b \cdot m} = \frac{2 \cdot 59,1 \cdot 10^3 \cdot 1,48 \cdot 0,7 \cdot 3,96}{92,01 \cdot 80 \cdot 3,5} = 18,8 \text{ МПа};$$

де: $K_{\Pi F}$ – коефіцієнт підвищення міцності по контактній напруженості.

$$K_{\Pi F} = \frac{K_{F\alpha} \cdot (1 - \frac{\beta}{140})}{\varepsilon_a} = \frac{1,3 \cdot (1 - \frac{8,5}{140})}{1,7} = 0,7$$

Допустиме напруження на згин, МПа:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{FO}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} = \frac{513,9}{1,75} \cdot 0,8 \cdot 1 = 234,9 \text{ МПа.}$$

де: σ_{FO} – межа витривалості на згин при базовому числі циклів навантаження та об'ємному гартуванні визначається по [7, табл. Д6];

$$\sigma_{FO} = 1,8 \cdot HB_{\text{ср.}} = 1,8 \cdot 285,5 = 513,9 \text{ МПа};$$

$S_{F2} = 1,75$ – коефіцієнт безпеки по [7, табл. Д6];

K_{FC} – коефіцієнт, що враховує реверсивність передачі ($K_{FC} = 0,8$ – для реверсивних передач при $HB < 350$ МПа);

$K_{FL} = 1$ – коефіцієнт довговічності.

Отже перевірка показала:

$$\sigma_F = 18,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_F] = 234,9 \text{ МПа.}$$

Сили в зачепленні

Колова сила на шестерні і колесі, Н:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 59,1 \cdot 10^3}{92,01} = 1284,6 \text{ Н.}$$

Радіальна сила на шестерні і колесі, Н:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 1284,6 \cdot \tan 20^\circ / \cos 8,5 = 472,7 \text{ Н.}$$

Осьова сила на шестерні і колесі, Н:

$$F_{a1} = F_{a2} = F_{t2} \cdot \tan \beta = 1284,6 \cdot \tan 8,5 = 192 \text{ Н.}$$

Висновки до першого розділу

У першому розділі бакалаврської роботи було вивчено класифікацію та види редукторів. Було оглянуто типові конструкції циліндричних редукторів.

Побудовано 3D модель одноступінчастого циліндричного редуктора по схемі з атласу [6] та проведено розрахунок зубчастої передачі, а саме: визначені кінематичні параметри редуктора; розраховані всі геометричні розміри шестерні та зубчастого колеса; проведено перевірку зубців на контактну міцність та на згин; визначені сили в зачепленні.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Огляд загальних підходів до виготовлення редукторів

Редуктори циліндричного типу можна вважати одними із найбільш широко розповсюджених агрегатів у машинобудуванні. Через свою популярність, на сьогодні науковцями та практиками, для отримання необхідних експлуатаційних характеристик, виділено широке різноманіття методів їх виготовлення. Здебільшого ці методи спрямовані на підвищення надійності, шляхом покращення характеристик деталей, для мінімізації впливу характерного для них навантаження. Їх розуміння є необхідним для раціонального вибору агрегатів та максимально ефективного виконання ними службового призначення.

Провівши аналітичний огляд методів виготовлення редукторів, варто виділити два напрямки. Перший – це виготовлення корпусних деталей, другий – виготовлення зубчатих коліс.

Розглянувши особливості виготовлення корпусних деталей редукторів, можна їх умовно прокласифікувати за методом отримання:

Лиття. Лиття є поширеним методом виготовлення корпусів редукторів, особливо з чавуну або алюмінію. В процесі лиття розплавлений метал заливають у відповідний формувальний ливарний пісочний відливочник, який має форму, відповідну корпусу редуктора. Після затвердіння металу видаляють формувальний матеріал, а отриманий відливочник піддають механічній обробці для доведення його до необхідних розмірів та властивостей.

Штампування. Штампування використовується для виготовлення корпусів редукторів з металевих листів, особливо сталі. У цьому процесі лист металу покладають на прес-станок, де застосовуються сили стискання

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

та прогинання, щоб утворити форму корпусу. Штамповані деталі піддаються додатковій обробці, такі як обробка краю, свердління отворів тощо.

Фрезерування. Фрезерування є процесом механічної обробки, за допомогою якого можна виготовляти корпуси редукторів зі спеціальних сталей або алюмінію. У цьому процесі використовується верстат з фрезерним інструментом, який видаляє невідповідність матеріалу для отримання потрібної форми та розмірів корпусу. Фрезерування може здійснюватися вручну або автоматизовано за допомогою комп'ютера

Токарна обробка. Токарна обробка використовується для виготовлення корпусів редукторів, які мають циліндричну або конічну форму. У цьому процесі використовується верстат з токарним інструментом, який обертається навколо вісі деталі. Під час токарної обробки невідповідність матеріалу знімається шляхом видалення шару зовнішньої поверхні деталі, що формує форму корпусу.

Аддитивні технології. Одним з сучасних методів виготовлення корпусів редукторів є використання аддитивних технологій, таких як 3D-друкування. За допомогою 3D-друку можна створювати корпуси шар за шаром, додаючи матеріал пошарово на основі цифрової моделі. Цей метод дозволяє виготовляти складносформовані корпуси з різних матеріалів, забезпечуючи гнучкість та скорочення часу виготовлення, а на сьогодні даний підхід через дороговизну в більшій мірі використовуються для прототипування на стадії проектування.

Кування. Кування є іншим методом виготовлення корпусів редукторів, особливо для важких промислових редукторів. У цьому процесі металічний заготовка піддається обробці за допомогою пресу або кувального молота, що дозволяє стиснути та формувати метал в потрібну форму. Ковані корпуси мають високу міцність та стійкість до навантажень.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

У другому випадку також варто виділяти методи :

Фрезерування. Цей метод використовує фрезерний інструмент для виготовлення зубчатих коліс. Фрезерування може бути проведене на верстатах з числовим керуванням (CNC) або на звичайних верстатах. Під час фрезерування спеціальний фрезерний інструмент розташований відповідно до профілю зуба і видаляє матеріал, утворюючи зубчасту форму.

Кування. Кування використовується для виготовлення зубчатих коліс, особливо для великих або важких промислових редукторів. У цьому методі металева заготовка нагрівається до певної температури, а потім обробляється за допомогою пресу або кувального молота, щоб утворити форму зубчатого колеса. Ковані зубчасті колеса мають високу міцність та стійкість до навантажень.

Шліфування. Шліфування використовується для досягнення високої точності та гладкості поверхні зубчатих коліс. У цьому методі зубчасті колеса кріпляться до спеціального пристрою, а потім обробляються шліфувальними інструментами, що видаляють дуже малі шари матеріалу для досягнення необхідних розмірів та якості поверхні.

Лиття. Лиття є іншим методом виготовлення зубчатих коліс, особливо з чавуну або алюмінію. В процесі лиття розплавлений метал заливають у форму, яка має внутрішні контури зубчастого колеса. Після затвердіння металу отримують зубчасту форму. проводиться за допомогою різних методів лиття, таких як пісочне лиття, вакуумне лиття або лиття під тиском. Кожен з цих методів має свої переваги та застосування залежно від конкретних вимог до зубчастого колеса.

Аддитивні технології. Застосування аддитивних технологій, таких як 3D-друкування металу, стає все більш поширеним методом виготовлення зубчастих коліс. За допомогою 3D-друкування можна

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

створювати зубчасті колеса шар за шаром, додаючи матеріал пошарово на основі цифрової моделі. Цей метод дозволяє виготовляти складносформовані зубчасті колеса з високою точністю та можливістю врахування особливих дизайнерських вимог. Як і у випадку корпусів на сьогодні даний підхід через дороговизну в більшій мірі використовуються для прототипування на стадії проектування

Вирізування. Вирізування є технологією (чи, точніше, методом виконання певної обробки), яка використовується для виготовлення зубчастих коліс з пластмас або м'яких матеріалів. У цьому методі застосовуються ріжучі інструменти, які вирізують форму зубців з листового матеріалу. Потім отримане зубчасте колесо може бути піддане додатковій обробці для поліпшення точності та гладкості поверхні.

Вибір конкретного методу виготовлення зубчастих коліс залежить від багатьох факторів, включаючи тип матеріалу, розміри, потрібну точність, економічність та вимоги до якості продукту. Комбінація декількох методів також може використовуватись для отримання найкращих результатів.

2.2. Обґрунтування вибору виду та форми заготовки валу редуктора

В даному випадку розроблена технологія виготовлення вала тихохідного редуктора.

За рекомендаціями [8] для 4 конструктивної групи деталей – гладкі та східчасті вали з невеликим перепадом діаметрів східців, в умовах серійного та одиничного виробництва доцільно виготовляти з прокату. Тому попередньо приймаємо заготовку для валу – прокат круглий.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Враховуючи середньосерійний тип виробництва вибраної деталі «Вал» та її циліндричну ступінчасту форму з відносно малими перепадами діаметрів, яка надає можливість мінімізувати витрати матеріалу приймемо, попередньо, в якості заготовки гарячекатаний круглий прокат та виконаємо техніко-економічний розрахунок для даного методу отримання заготовки.

Заготовка, отримана з прокату

Річний об'єм випуску – 5000 штук.

Робоче креслення деталі – вал.

Матеріал деталі – сталь 40Х ДСТУ 7806:2015.

Маса деталі – 7,35 кг.

Тип виробництва – середньосерійний.

Згідно точності та шорсткості поверхонь оброблюваної деталі визначаємо проміжні припуски табличним методом за [9]. За основу розрахунку проміжних припусків приймаємо максимальний зовнішній діаметр деталі $\varnothing 83$ мм.

Враховуючи низьку твердість поверхонь деталі та шорсткість усіх відповідальних поверхонь не вище Ra 1,6 приймаємо обробку всіх зовнішніх симетричних відносно осі поверхонь та торцевих поверхонь деталі точінням та шліфуванням для найбільш відповідальних поверхонь.

Визначаємо попередній маршрутний технологічний процес обробки поверхні деталі діаметром $\varnothing 75$ р6 (мм), як одної з найбільш відповідальних.

Чорнову обробку поверхні діаметром $\varnothing 75$ мм виконують з встановленням в центрах, на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16K20.

Напівчистову та чистову токарну обробку поверхні діаметром $\varnothing 75$ мм виконують з встановленням в центрах, на токарному верстаті з ЧПК мод. 16K20Ф3.

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Технологічний маршрут обробки даної поверхні:

- операція 015. Токарна чорнова.
- операція 020. Токарна.
- операція 035. Шліфувальна.

Припуски на підрізання торцевих поверхонь та припуски на обробку зовнішніх поверхонь (точіння) – за [8].

При чорновому точінні двосторонній припуск на обробку приймаємо 7 мм, при напівчистовому – 3,0 мм, чистовому – 1,6 мм і шліфуванні – 0,4 мм.

Визначаємо проміжні розміри оброблюваних поверхонь згідно маршрутного технологічного процесу:

- на токарну операцію 020:

$$D^1_{015} = D_0 + 2z_{m.m} = 75 + 0,2 = 75,4 \text{ мм};$$

$$D^2_{015} = D^1_{015} + 2z_{ч.м} = 75,4 + 1,6 = 77 \text{ мм};$$

$$D^3_{015} = D^2_{015} + 2z_{нч.м} = 77 + 3 = 80 \text{ мм};$$

- розрахунковий розмір заготовки:

$$D_{p.з} = D^3_{015} + 2z_{ч.м} = 80 + 7 = 87 \text{ мм};$$

За розрахунковими даними заготовки вибираємо необхідний розмір гарячекатаного прокату звичайної точності за ДСТУ 4738:2007 [8]

Нормальна довжина прокату якісної сталі при діаметрі 53-110 мм в межах 4-7 м. Відхилення для Ø87 мм (для високої точності прокатування) становлять $\begin{matrix} +0,3 \\ -1,1 \end{matrix}$ мм.

Припуск на обробку двох торцевих поверхонь заготовки становить 2,4 мм.

Загальна довжина заготовки:

$$L_з = L_0 + 2 z_{нідр} = 306 + 2,4 = 308,4 \text{ мм}$$

де $L_д$ – номінальна довжина деталі за робочим кресленням, мм.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Граничне відхилення на довжину заготовки встановлюємо за довідковими таблицями.

Враховуючи граничні відхилення на розмір довжини заготовки (-2,3 мм), її загальну довжину округлюємо до більшого цілого значення. Приймаємо довжину заготовки 310 мм.

Об'єм заготовки визначаємо за плюсовими допусками:

$$V = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot L_3 = \frac{3,14 \cdot 87,3^2}{4} \cdot 310 = 1854640 \text{ мм}^3$$

де L_3 – довжина стержня (заготовки) з плюсовим допуском, мм;

D_3 – діаметр заготовки за плюсовими допусками, мм;

Масу заготовки визначаємо за формулою:

$$M = \gamma \cdot V_3 = 0,00000785 \cdot 1854640 = 14,55 \text{ кг}$$

Вибираємо оптимальну довжину прокату для виготовлення заготовки.

Вибираємо спосіб розрізки заготовки за рекомендаціями: [8]: відрізка круглого прокату виконується на стрічкових пилах (ширина різку 0,8-1,3 мм). Це продуктивний та дешевий спосіб.

Втрати матеріалу на затиск заготовки приймаємо 60 мм.

Довжину торцевого обрізку прокату визначаємо із співвідношення:

$$l_{об} = (0,3 \div 0,5)d$$

де d – діаметр заготовки, мм;

$$l_{об} = 0,4 \cdot 87 = 34,8 \text{ мм}$$

Кількість заготовок, виходячи з прийнятої довжини прокату за стандартами, визначаємо за формулою [13].

З прокату довжиною 4 м:

$$x = \frac{L_{пр} - L_{зат} - l_{об}}{L_3 + l_{пр}} = \frac{4000 - 60 - 35}{310 + 1} = 12,55 \text{ шт}$$

Отримуємо 12 заготовок з прокату довжиною 4 м.

З прокату довжиною 7 м:

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$x = \frac{L_{\text{пр}} - L_{\text{зат}} - l_{\text{об}}}{L_{\text{з}} + l_{\text{пр}}} = \frac{7000 - 60 - 35}{310 + 1} = 22,2 \text{ шт}$$

Отримуємо 22 заготовок з даної довжини прокату.

Залишок довжини (некратність) визначається в залежності від прийнятої довжини прокату:

- з прокату довжиною 4 м: $0,55 \cdot 311 = 171,05 \text{ мм}$
- з прокату довжиною 7 м: $0,20 \cdot 311 = 62,2 \text{ мм}$

З розрахунків на некратність слідує, що прокат довжиною 4 м для виготовлення заготовок менш економічний, ніж прокат довжиною 7 м.

Витрати матеріалу на затиск при відрізання по відношенню до довжини прокату складають (для прокату довжиною 7 м, як більш економічного):

$$П_{\text{зат}} = \frac{l_{\text{зат}} \cdot 100}{L_{\text{пр}}} = \frac{60 \cdot 100}{7000} = 0,85\%$$

Втрати матеріалу на довжину торцевого обрізу прокату в процентному відношенні до довжини прокату становлять:

$$П_{\text{обр}} = \frac{l_{\text{об}} \cdot 100}{L_{\text{пр}}} = \frac{34 \cdot 100}{7000} = 0,5\%$$

Загальні втрати (%) до довжини вибраного прокату:

$$П_{\Sigma} = П_{\text{нк}} + П_{\text{обр}} + П_{\text{зат}} = 0,5 + 0,85 + 0,5 = 1,85\%$$

Висновок: в якості заготовки приймаємо гарячекатаний круглий прокат $\varnothing 87^{+0,3}_{-1,1}$ мм сталь 40Х ДСТУ 7806:2015. Довжину прутка на відрізка однієї заготовки визначимо, виходячи з припуску на відрізання деталі. Виходячи з [8] ця довжина буде становити $L = 310 + 1 = 311 \text{ мм}$ враховуючи ширину різку стрічковою пилою шириною 1 мм.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок загальних та міжопераційних припусків на обробку деталі

Розрахуємо припуски на обробку поверхні $\varnothing 83h14 (-0,8774)$ мм, а також припуски і проміжні граничні розміри на поверхню $\varnothing 60h7 (-0,03)$ мм, використовуючи [7].

Аналітично розраховуємо припуски на поверхню $\varnothing 83h14 (-0,87)$. Заготовка деталі отримана прокатом. Маршрут обробки поверхні складається з однократного обточування.

Припуски розраховуємо за формулою [7]:

$$2z_{min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon^2})$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, отриманих на попередній операції;

T_{i-1} – глибина дефектного шару, отриманого на попередній операції;

ρ_{i-1} – просторове відхилення, отримане на попередній операції .

ε – похибка базування на даній операції.

Виписуємо значення R_z і T для всіх операцій [9]:

- для заготовки:

$$R_z = 160 \text{ мкм}, T = 200 \text{ мкм};$$

- для чорнового точіння:

$$R_z = 63 \text{ мкм}, T = 60 \text{ мкм}.$$

Розраховуємо просторове відхилення ρ .

$$\rho_z = \rho_{кор} = \Delta_K \cdot L,$$

де Δ_K – питома кривизна стрижня, $\Delta_K = 0,7$ мкм/мм, [7];

L – довжина заготовки, $L = 310$ мм;

$$\rho_z = \rho_{кор} = 0,7 \cdot 310 = 217 \text{ мкм} = 0,217 \text{ мм}$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_z,$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 217 = 13,0 \text{ мкм}.$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Визначаємо похибку закріплення:

$$\varepsilon_1 = 100 \text{ мкм [7].}$$

Розраховуємо припуск для однократного точіння за відповідною формулою з [7]:

$$2z_{\min i} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{Bi}^2} \right),$$

$$2z_{\min 1} = 2(160 + 200 + \sqrt{217^2 + 100^2}) = 2 \cdot 598,9 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір d_p , мм, для прокату:

$$d_p = 87 - 1,1 = 85,9 \text{ мм.}$$

Найбільші граничні розміри обчислимо шляхом додавання допуску до закругленого найменшого граничного розміру:

$$d_{\max 1} = 82,13 + 0,87 = 83 \text{ мм}$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 85,9 + 1,4 = 87,3 \text{ мм}$$

Граничне значення максимального припуску $2z_{\max}^{\text{гр}}$, мм, визначається як різниця найбільших граничних розмірів:

$$2z_{\max}^{\text{гр}} = 87,3 - 83 = 4,3 \text{ мм}$$

Граничне значення мінімального припуску $2z_{\min}^{\text{гр}}$, мм, визначаємо як різницю найменших граничних розмірів:

$$2z_{\min}^{\text{гр}} = 85,9 - 82,13 = 3,67 \text{ мм}$$

Розрахуємо загальні припуски $z_{\min}$, $z_{\max}$ мм, підсумовуючи проміжні припуски: $z_{\min} = 3,67 \text{ мм}$ $z_{\max} = 4,3 \text{ мм}$

Номінальний припуск, $z_{\text{оном}}$ мм, в даному випадку визначаємо з урахуванням несиметричного розташування поля допуску заготовки:

$$z_{\text{оном}} = z_{\min} + H_z - H_d,$$

де H_z – нижнє відхилення розміру заготовки, мм;

H_d – нижнє відхилення допуску деталі, мм;

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$Z_{\text{ном}} = 3,67 + 1,1 - 0,87 = 3,90 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків:

$$2z_{\text{max}}^{\text{гр}} - 2z_{\text{min}}^{\text{гр}} = 4,3 - 3,67 = 0,63 \text{ мм}$$

$$\Delta_1 - \Delta_2 = 1,4 - 0,87 = 0,63 \text{ мм}$$

Перевірка виконана. Всі розрахунки зводимо до таблиці 2.2.

Табл. 2.2

**Розрахунок припусків по технологічних переходах на обробку
поверхні валу $\varnothing 80\text{h}14 (-0,74) \text{ мм}$**

Найменування переходу	Елементи припуску, мкм				Мінімальний припуск $2 \cdot z_{\text{min}}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мкм	
	Rz	T	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2 \cdot z_{\text{min}}^{\text{np}}$	$2 \cdot z_{\text{max}}^{\text{np}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка	160	200	217	-	-	85,900	1400	85,9	87,3	-	-
Чорнове точіння	63	60	15	100	2·600	79,130	870	79,13	80	3670	4300
Разом:										3670	4300

Технологічний маршрут обробки поверхні $\varnothing 60\text{h}7 (-0,03) \text{ мм}$ складається з чорнового, чистового та тонкого точіння. Обточування виконується при встановленні деталі в центрах.

Внесемо технологічний маршрут обробки, а також параметри відповідні кожному технологічному переходу значення елементів припуску в табл. 2.3.

Сумарне значення просторової похибки заготовки ρ_3 , мм, приймаємо рівною розрахованій вище:

$$\rho_3 = \rho_{\text{кор}} = 0,7 \cdot 310 = 217 \text{ мкм} = 0,217 \text{ мм}$$

Залишковий просторове відхилення, $\rho_{\text{зал}}$ мкм, для чорнового, чистового та тонкого точіння обчислимо за формулою:

$$\rho_{\text{зал}} = k_y \cdot \rho_z,$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми, для чорнового $k_y = 0,06$, для чистового: $k_y = 0,04$, тонкого: $k_y = 0,04$.

Після чорнового обточування $\rho_{\text{зал1}}$:

$$\rho_{\text{зал1}} = 0,06 \cdot 217 = 13 \text{ мкм}$$

Після чистового обточування $\rho_{\text{зал2}}$

$$\rho_{\text{зал2}} = 0,04 \cdot 13 = 1 \text{ мкм}$$

Після тонкого обточування $\rho_{\text{зал3}}$

$$\rho_{\text{зал3}} = 0,04 \cdot 1 = 0 \text{ мкм}$$

Визначаємо похибку закріплення з врахуванням встановлення в центрах.

$$\varepsilon_1 = 100 \text{ мкм}; \varepsilon_2 = 0 \text{ мкм}; \varepsilon_3 = 0 \text{ мкм}.$$

Розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків Z_{min} , мкм, виконуємо за формулами та рекомендаціями [7]:

$$2z_{\text{min1}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{\text{Bi}}^2})$$

Під чорнове обточування:

$$2z_{\text{min1}} = 2(200 + 150 + \sqrt{217^2 + 100^2}) = 2 \cdot 600 \text{ мкм}$$

Під чистове обточування:

$$2z_{\text{min2}} = 2(63 + 60 + \sqrt{50^2 + 0^2}) = 2 \cdot 173 \text{ мкм}$$

Під тонке обточування:

$$2z_{\text{min3}} = 2(20 + 25 + \sqrt{25^2 + 0^2}) = 2 \cdot 70 \text{ мкм}$$

Визначимо розрахунковий розмір d_p , мм для кожного з переходів:

$$d_{p3} = 59,97 + 0,14 = 60,11 \text{ мм}.$$

$$d_{p2} = 60,11 + 0,346 = 60,46 \text{ мм}.$$

$$d_{p1} = 60,41 + 1,20 = 61,61 \text{ мм.}$$

Розрахунковий розмір d_p , мм, для прокату:

$$d_p = 87 - 1,1 = 85,9 \text{ мм.}$$

Найбільші граничні розміри обчислимо шляхом додавання допуску до закругленого найменшого граничного розміру:

$$d_{max3} = 59,97 + 0,03 = 60 \text{ мм.}$$

$$d_{max2} = 60,11 + 0,074 = 60,184 \text{ мм.}$$

$$d_{max1} = 60,41 + 0,3 = 60,71 \text{ мм.}$$

$$d_{max\text{ заг}} = 61,61 + 1,4 = 63,0 \text{ мм.}$$

Допустимі значення максимальних припусків $2z_{max}^{rp}$, мм, визначаємо як різницю найбільших допустимих розмірів:

$$2z_{max3}^{rp} = 60,184 - 60 = 0,184 \text{ мм}$$

$$2z_{max2}^{rp} = 60,71 - 60,184 = 0,526 \text{ мм}$$

$$2z_{max1}^{rp} = 63 - 60,71 = 2,29 \text{ мм}$$

Допустимі значення мінімальних припусків $2z_{min}^{rp}$, мм, визначаємо як різницю найменших допустимих розмірів:

$$2z_{min3}^{rp} = 60,11 - 59,97 = 0,14 \text{ мм}$$

$$2z_{min2}^{rp} = 60,41 - 60,11 = 0,30 \text{ мм}$$

$$2z_{min1}^{rp} = 62,61 - 60,41 = 1,2 \text{ мм}$$

Розраховуємо загальні припуски z_{0min} , z_{0max} , мм, підсумовуючи проміжні припуски:

$$z_{0min} = 0,14 + 0,3 + 1,2 = 1,64 \text{ мм}$$

$$z_{0max} = 0,184 + 0,526 + 2,29 = 3,0 \text{ мм}$$

Номінальний припуск $z_{оном}$, мм, в даному випадку можна визначити з урахуванням несиметричного розташування поля допуску заготовки за формулою:

$$Z_{оном} = Z_{0min} + H_3 - H_d$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

де H_3 – нижнє відхилення поля допуску заготовки, $H_3 = 1,1$ мм;

H_d – нижнє відхилення поля допуску деталі, $H_d = 0,074$ мм;

$$Z_{O_{\text{ном}}} = 1,64 + 1,1 - 0,074 = 2,666 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків:

$$2z_{\text{max}3}^{\text{rp}} - 2z_{\text{min}3}^{\text{rp}} = 0,184 - 0,14 = 0,04 \text{ мм}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 0,074 - 0,03 = 0,04 \text{ мм}$$

$$2z_{\text{max}2}^{\text{rp}} - 2z_{\text{min}2}^{\text{rp}} = 0,526 - 0,3 = 0,226 \text{ мм}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 0,3 - 0,074 = 0,226 \text{ мм}$$

$$2z_{\text{max}1}^{\text{rp}} - 2z_{\text{min}1}^{\text{rp}} = 2,29 - 1,2 = 1,1 \text{ мм}$$

$$\delta_{\text{заг}} - \delta_1 = 1,4 - 0,3 = 0,1 \text{ мм}$$

Перевірка виконана. Результати розрахунків зведено до табл. 2.3.

Табл. 2.3

Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічних переходах
на обробку поверхні $\phi 60h7 (-0,03)$ мм

Найменування переходу	Елементи припуску, мкм				При- пуск $2 \cdot z_{\text{min}}$, мкм	Розраху- нковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Допустимі розміри, мм		Допустимі припуски, мм	
	Rz	T	ρ	ϵ				d_{min}	d_{max}	$2 \cdot z_{\text{min}}^{\text{np}}$	$2 \cdot z_{\text{max}}^{\text{np}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка				-		61,61	1400	61,6	63,0	-	-
Точіння чорнове	200	150	217	100	2·600	60,46	300	60,46	60,76	1200	2290
Точіння чистове	63	60	50	0	2·173	60,11	74	60,11	60,84	300	526
Точіння тонке	20	25	25	0	2·70	59,97	30	59,97	60,0	140	184
Разом:										1600	3000

2.4. Технологічний процес обробки деталі «Вал»

Розроблений технологічний маршрут відображений в таблиці 2.4.

Табл. 2.4

Технологічний процес обробки деталі «Вал»

№ п/п	Найменування та зміст операції	Обладнання та технологічне оснащення	Технологічні бази
1	2	3	4
005	Заготівельна 1. Відрізання заготовки з прокату в розмір 310 _{-1,3}	Стрічково-пилний верстат BS 550G	Зовнішня циліндрична поверхня ($\varnothing 87^{+0,3}_{-1,1}$)
010	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати 2 торці деталі витримуючи розмір 306±0,5 мм 2. Центрувати 2 торці деталі у розмір А6,3 ДСТУ ISO 2540:2018	Фрезерно- центрувальний верстат МР-71	Тимчасова технологічна база, чорнова ($\varnothing 87^{+0,3}_{-1,1}$)
015	Токарна Установ А Точити начорно по контуру поверхні $\varnothing 60$, $\varnothing 75$ та $\varnothing 83$ та уступи сходинок валу. Установ Б Точити начорно по контуру поверхні $\varnothing 55$ та $\varnothing 60$ та уступи сходинок валу.	Токарно- гвинторізний верстат мод. 16K20; трьохкулачковий патрон, центр	Вісь і торець, циліндрична поверхня
017	Свердлувальна Свердлувати отвір в торці деталі під повідок	Вертикально- свердлувальний верстат 2Н125, спеціальне пристосування	Вісь і циліндрична поверхня

1	2	3	4
020	Термічна Об'ємне загартування і високий відпуск до твердості HB 269...302	-	-
025	Токарна з ЧПУ 1. Точити начисто по контуру поверхні $\varnothing 60$, $\varnothing 75$ та $\varnothing 83$, $\varnothing 55$ та $\varnothing 60$, уступи сходинок валу, фаски та конічну поверхню. 2. Точити 4 канавки під вихід шліфувального круга на поверхнях $\varnothing 60$, $\varnothing 75$, $\varnothing 55$ та $\varnothing 60$. 3. Точити тонко по контуру поверхні $\varnothing 60$, $\varnothing 75$, $\varnothing 55$ та $\varnothing 60$.	Токарний верстат мод. 16K20Ф3; центр та центр повідковий	Вісь і торець, циліндрич на поверхня
030	Шпонково-фрезерна 1.Фрезерувати шпонковий паз ($b = 16P9$, $L = 59$ мм). 2.Фрезерувати шпонковий паз ($b = 22P9$, $L = 43$ мм).	Шпонково-фрезерний мод. 692P; спеціальний пристрій	Поверхня шийки $\varnothing 55$ і торець; Поверхня шийки $\varnothing 75$ і торець
035	Круглошліфувальна 1. Шліфувати поверхню $\varnothing 60k6$ на довжину 45 мм остаточно. 2. Шліфувати поверхню $\varnothing 60k6$ на довжину 32 мм остаточно.	Круглошліфувальний верстат мод 3M151; повідковий центр	Вісь і торець
040	Контрольна 1. Контролювати всі розміри деталі	Контрольні інструменти	

2.5. Вибір засобів технологічного оснащення

При розробці технологічного процесу виготовлення заготовки необхідно правильно вибрати пристосування, які повинні реалізовувати призначену раніше схему базування із заданою точністю, сприяти

підвищенню продуктивності праці, ліквідації попередньої розмітки заготовки і вивірення їх при установці на верстаті.

Правила вибору технологічного оснащення передбачають шість систем технологічного оснащення, які призначені для виконання різних видів робіт залежно від типу виробництва.

Таблиця 2.5

Вибір засобів технологічного оснащення

Номер та найменування операції	Ріжучий інструмент	Вимірювальний та допоміжний інструмент
1	2	3
010 Фрезерно-центрувальна (МР-71)	1. Фреза торцева Ø100 Т15К6 ГОСТ 24359-90 2. Свердло центрувальне Р6М5 ГОСТ14952-75	1. Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1-2 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
015 Токарна (16К20)	Різець токарний прохідний Т15К6 ГОСТ 266-85	1. Штангенглибиномір ШГ-500-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Штангенглибиномір ШГ-250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
020 Токарна (16К20Ф3)	1. Різець токарний прохідний Т15К6 ГОСТ 266-85 2. Різець канавочний Т5К10 ОСТ 2И10-7-84	1. Штангенглибиномір ШГ-250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Шаблон на фаску 3*45 3. Шаблон на канавку (b=3)
017 Вертикально-свердлильна (2Н125)	1. Свердло Ø8 Р6М5 ГОСТ 10902-77	1. Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1-2 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

025 Шпонково- фрезерна (692Р)	1. Фреза шпонкова Ø16T15K6 ГОСТ 9473-80 2. Фреза шпонкова Ø22T15K6 ГОСТ 9473-80	Штангенциркуль ШЦ-250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
035 Круглошліфув альна	Круг 1300 × 40 × 145 24А 40-П С1 7КПГ 35 м/с А кл.1 ГОСТ 2424-83	1. Скоба ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 2. Набір зразків шорсткості 0,2-3,2-ШЦ

2.6. Розрахунок режимів різання

При призначенні та розрахунку режимів різання необхідно враховувати тип і розміри інструменту, матеріал його різальної частини, матеріал і стан заготовки, тип металообробного обладнання.

Розраховуємо режими різання на дві операції за формулами теорії різання використовуючи формули і дані з таблиць [10].

Операція № 015 – Токарна

Інструмент – різець токарний прохідний Т15К6 ГОСТ 266-85. Матеріал різальної частини інструменту – твердий сплав Т15К6. Різець з механічним кріпленням багатогранної пластини.

Геометричні параметри ріжучої частини інструмента: $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 12^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 8^\circ$ [10].

Оскільки в якості заготовки обраний прокат діаметром 85 мм, а саме цей діаметр оброблюваної деталі буде обмежувати розрахункову силу різання.

а) глибина різання [10]:

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Ø80 мм – розмір, який утворюється після токарної чорновий обробки (для найбільшої ступені валу, оброблюваної на поздовжньому переході), Ø85мм – діаметр прокату.

Глибина різання t дорівнює:

$$t_3 = \frac{85 - 80}{2} = 2,5 \text{ мм}$$

Аналогічно розраховуємо припуски на інші переходи (з врахуванням обробки з прокату):

$$t_1 = t_4 = 2,5 \text{ мм (багатопрхідна обробка, } i = 4);$$

$$t_2 = t_3 = 2,5 \text{ мм; } t_5 = 2,5 \text{ мм (багатопрхідна обробка, } i = 5);$$

б) призначаємо подачу, [4, с. 266, таблиця 11]:

$$S = 0,5 \dots 0,9 \text{ мм/об; [4, табл. 11, с. 266]}$$

За паспортом верстата 16K20 (токарна чорнова операція) приймаємо:

$$S = 0,5 \text{ мм/об.}$$

в) визначаємо швидкість різання $V_{\text{розр}}$, м/хв.:

$$V_{\text{розр}} = \frac{C_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} \cdot K_v$$

де C_v – коефіцієнт, враховуючий оброблювальний матеріал, $C_v = 340$ (4, таблиця 17);

T – стійкість інструмента, $T = 60$ хв. [10];

x – показник ступеня, $x = 0,15$ [10];

y – показник ступеня, $y = 0,45$ [10];

m – показник ступеня, $m = 0,20$ [10];

K_v – загально правовий коефіцієнт на швидкість різання.

Визначаємо коефіцієнт K_v за формулою:

$$K_v = K_{Mv} + K_{Пv} + K_{Иv}$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, враховуючий якість оброблювального матеріалу;

$K_{Иv}$ – коефіцієнт, враховуючий матеріал інструмента на швидкість

різання, $K_{mv} = 1$ [10];

K_{pv} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні, $K_{pv} = 0,8$ [10];

Значення коефіцієнта K_{mv} розраховуємо за формулою:

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

де σ_B – межа міцності, $\sigma_B = 610$ МПа;

K_{Γ} – коефіцієнт, що враховує групу сталі, $K_{\Gamma} = 1,0$ [10];

n_v – показник степені, $n_v = 0,9$ [10];

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{610} \right)^{0,9} = 1.2$$

$$K_v = 1.2 \cdot 0.8 \cdot 1 = 0.96$$

Тоді за формулою швидкість різання:

$$V_{розр} = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,45} \cdot 2,5^{0,15}} = 150,33 \text{ м/хв}$$

г) розраховуємо число обертів шпинделя для найбільшого оброблюваного діаметра:

$$n_{розр} = \frac{1000 \cdot V_{розр}}{\pi \cdot 3,14 \cdot 80} = \frac{1000 \cdot 150,33}{3,14 \cdot 80} = 598 \text{ об/хв}$$

д) вибираємо паспортне число обертів за умови: $n_{пасп} \leq n$

$$n_{пасп} = 500 \text{ об/хв}$$

е) визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V_{дійс} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 500}{1000} = 125,6 \text{ м/хв}$$

ж) визначаємо головну складову сили різання P_z , Н

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v_n \cdot K_p$$

де C_p – коефіцієнт, враховуючий оброблювальний матеріал, $C_p = 300$ [10];

t – глибина різання, мм [10];

s – подача, мм/об [10];

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

V – швидкість різання м/хв;

K_p – загальний поправочний коефіцієнт на силу різання;

x – показник степені, $x = 1,0$ [10];

y – показник степені, $y = 0,75$ [10];

n – показник степені, $n = -0,15$ [10];

$$K_p = K_{MP} + K_{\varphi p} + K_{\gamma p} + K_{\lambda p}$$

де K_{MP} – коефіцієнт враховує вплив якості оброблюваного матеріалу;

$K_{\varphi p}$ – поправочний коефіцієнт враховує вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту, $K_{\varphi p} = 1$ [10];

$K_{\gamma p}$ – поправочний коефіцієнт враховує вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту, $K_{\gamma p} = 1,1$ [10];

$K_{\lambda p}$ – поправочний коефіцієнт враховує вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту, $K_{\lambda p} = 1$ [10];

Значення коефіцієнта K_{MP} розраховуємо за формулою:

$$K_{MP} = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,90,75} = 0.85$$

Тоді за формулою загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_p = 0.85 * 1 * 1,1 = 0.94$$

Тоді за формулою головна складова сили різання P_z , Н:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 125,6^{-0,15} \cdot 0,94 = 2032 \text{ Н}$$

з) Визначимо ефективну потужність різання N_e , кВт, по формулі (по найбільшій силі різання):

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2032}{1020 \cdot 60} 125,6 = 4,17 \text{ кВт}$$

Потужність двигуна приводу головного руху верстата 16K20 $N = 10$ кВт, потужність з урахуванням втрат за формулою:

$$N_n = N_{ст} \cdot \eta$$

де η – КПД приводу верстата.

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$N_n = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт.}$$

Перевіримо умову для забезпечення обробки приводом верстата $N_e < N_n$, :

$$4,17 < 8 \text{ кВт.}$$

Таким чином, привід верстата забезпечує обробку на заданих режимах різання.

Операція №025. Шпонково-фрезерна

Інструмент – 1. Фреза шпонкова Ø16T15K6 ГОСТ 9473-80.

2. Фреза шпонкова Ø22T15K6 ГОСТ 9473-80

а) глибина різання для фрезерування пазів кінцевою фрезою, за умови роботи з маятниковою подачею [9]:

$$t_1 = 0,4 \text{ мм;}$$

$$t_2 = 0,4 \text{ мм.}$$

б) розрахуємо довжину робочого ходу L_{px} , мм, по формулі:

$$L_{p.x} = L_{різ} + y$$

де $L_{різ}$ – довжина різання, мм;

y – величина на підвід, врізання і перебіг інструмента, мм.

$$L_{px1} = 59 \cdot 15 + 2 + 2 = 900 \text{ мм;}$$

$$L_{px2} = 43 \cdot 22 + 2 + 2 = 950 \text{ мм;}$$

в) призначимо рекомендовану подачу на один зуб фрези за нормативами S_z , мм/зуб [10]:

- подача за нормативами на зуб: $S_1 = 0,25 \text{ мм/зуб}$, $S_2 = 0,35 \text{ мм/зуб}$.

г) визначаємо швидкість різання $V_{розр}$, м/хв.:

$$V_{розр} = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v$$

де C_v – коефіцієнт, враховуючий оброблювальний матеріал, $C_v = 145$ [10];

T – стійкість інструмента , $T = 80 \text{ хв.}$ [10];

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

x – показник ступеня, $x = 0,24$ [10];

y – показник ступеня, $y = 0,26$ [10];

q – показник ступеня, $q = 0,44$ [10];

p – показник ступеня, $p = 0,13$ [10];

u – показник ступеня, $u = 0,1$ [10];

m – показник ступеня, $m = 0,37$ [10];

K_v – загально правовий коефіцієнт на швидкість різання.

Визначаємо коефіцієнт K_v за формулою:

$$K_v = K_{Mv} + K_{Пv} + K_{Иv}$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, враховуючий якість оброблювального матеріалу;

$K_{Иv}$ – коефіцієнт, враховуючий матеріал інструмента на швидкість різання, $K_{Иv} = 1$ [10];

$K_{Пv}$ – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні, $K_{Пv} = 0,8$ [10];

Значення коефіцієнта K_{Mv} розраховуємо за формулою:

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

де σ_B – межа міцності, $\sigma_B = 610$ МПа;

K_{Γ} – коефіцієнт, що враховує групу сталі, $K_{\Gamma} = 1,0$ [10];

n_v – показник степені, $n_v = 0,9$ [10];

$$K_{Mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{610_B} \right)^{0,9} = 1.2$$

$$K_v = 1.2 * 0.8 * 1 = 0.96$$

Тоді за формулою швидкість різання:

$$V_{розр1} = \frac{145 \cdot 16^{0,44}}{80^{0,37} \cdot 0,4^{0,24} \cdot 0,25^{0,26} \cdot 6^{0,1} \cdot 4^{0,13}} 0,96 = 95,93 \text{ м/хв}$$

$$V_{розр2} = \frac{145 \cdot 22^{0,44}}{80^{0,37} \cdot 0,4^{0,24} \cdot 0,25^{0,26} \cdot 9^{0,1} \cdot 4^{0,13}} 0,96 = 105,94 \text{ м/хв}$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

д) розрахункову частоту обертання фрези n_p , хв^{-1} при обробці визначаємо за формулою:

$$n_p = \frac{100V_p}{\pi D}$$

де V_p – розрахункова швидкість різання, м/хв ;

D – діаметр інструмента, мм .

$$n_{\text{розр1}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр1}}}{\pi \cdot D_1} = \frac{1000 \cdot 95,93}{3,14 \cdot 16} = 1909 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр2}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр2}}}{\pi \cdot D_2} = \frac{1000 \cdot 105,94}{3,14 \cdot 22} = 1533 \text{ об/хв}$$

е) Приймаємо за паспортними даними верстата найближчі менші значення частот обертання шпинделя фрези $n_1 = 1800 \text{ хв}^{-1}$, $n_2 = 1440 \text{ хв}^{-1}$.

ж) дійсна швидкість різання V , м/хв . становитиме:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 1800}{1000} = 90,4 \text{ м/хв.};$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 22 \cdot 1440}{1000} = 99,47 \text{ м/хв.};$$

Операція №035. Круглошліфувальна

Інструмент – Круг $1300 \times 40 \times 145$ 24А 40-П С1 7КПГ 35 м/с А кл.1 ГОСТ 2424-83.

Визначаємо швидкість шліфувального круга $V_{кр}$, м/с :

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n}{1000 \cdot 60}$$

де D – діаметр круга, $D = 500 \text{ мм}$;

$n_{кр}$ – частота обертання круга, $n_{кр} = 1590 \text{ об/хв}$, [за паспортом верстата].

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 1590}{1000 \cdot 60} = 41,6 \text{ м/с}$$

Визначаємо швидкість обертання деталі за рекомендацією [10], $V_{дет} = 30 \text{ м/хв}$.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Визначити рекомендовану частоту обертання шпинделя деталі n_d , хв^{-1} , по формулі:

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_d}{\pi \cdot d},$$

де d – діаметр обробки, $d = 60$ мм;

$$n_d = \frac{1000 \cdot 30}{\pi \cdot 60} = 159 \text{ об/хв}$$

Так як верстат 3М151 має діапазон частот плавного обертання шпинделя від 50 до 500 хв^{-1} , то приймаємо $n_{\text{верст}} = 160 \text{ хв}^{-1}$.

Поперечна (радіальна) хвилина подача S_M , мм/хв, визначається за формулою, за рекомендаціями [10]:

$$S_M = S_0 \cdot n_{\text{ст}},$$

$$S_M = 0,002 \cdot 200 = 0,4 \text{ мм/хв}$$

Висновки до другого розділу

У другому розділі бакалаврської роботи розроблено технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора. Було обґрунтовано вибір виду та форми заготовки, а саме в якості заготовки прийнято гарячекатаний круглий прокат $\varnothing 87^{+0,3}_{-1,1}$ мм сталь 40Х ДСТУ 7806:2015. Розраховані загальні та міжопераційні припуски на обробку деталі. Підібране металорізальне обладнання, інструмента та допоміжні пристосування для здійснення технологічного процесу. Розраховані режими різання на токарну, шпонково-фрезерну та круглошліфувальну операції.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Розробка 3D моделі пристосування для фрезерування шпонкового пазу

При виконанні фрезерування шпонкового пазу кінцевою фрезою на заготовку вала діють 2 сили: сила різання P_z і сила подачі P_x . При цьому сила P_z прикладена на діаметрі фрези, який дорівнює 22 мм, і її напрям змінюється. Розглядаємо найгірший варіант - сила P_z діє перпендикулярно осі обертання заготовки і може прокручувати вал редуктора (заготовку) навколо його осі обертання. Сила P_x діє паралельно осі заготовки, але заготовка спирається на упор, який утримує її в цьому напрямі. Нерухомість заготовки буде забезпечуватись силами тертя між заготовкою і базовими поверхнями призм, які повинні надаватись зусиллям затиску.

Методом твердотілого моделювання у SolidWorks Simulation виконано 3D модель пристосування для фрезерування шпонкового пазу, яка показана на рис. 3.1.

Пристрій спроектовано для обробки деталі на консольно-фрезерному вертикальному верстаті з копіювальним пристроєм моделі 6P12K-1.

Застосування даного пристрою забезпечує точну й швидку установку та закріплення деталей.

Пристрій складається з наступних елементів:

- настановні елементи призначені для додання заготовці певного положення щодо різального інструменту. У цьому випадку настановними елементами будуть дві призми з кутом 90° поз. 2 і 3 та як упор для торця постійна опора поз. 4.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- затискні елементи призначені для запобігання зсуву заготовки під дією сили різання або власної ваги. Як затискний елемент приймаємо ручний різбовий пересувний (відвідний) важіль затиску поз. 6.

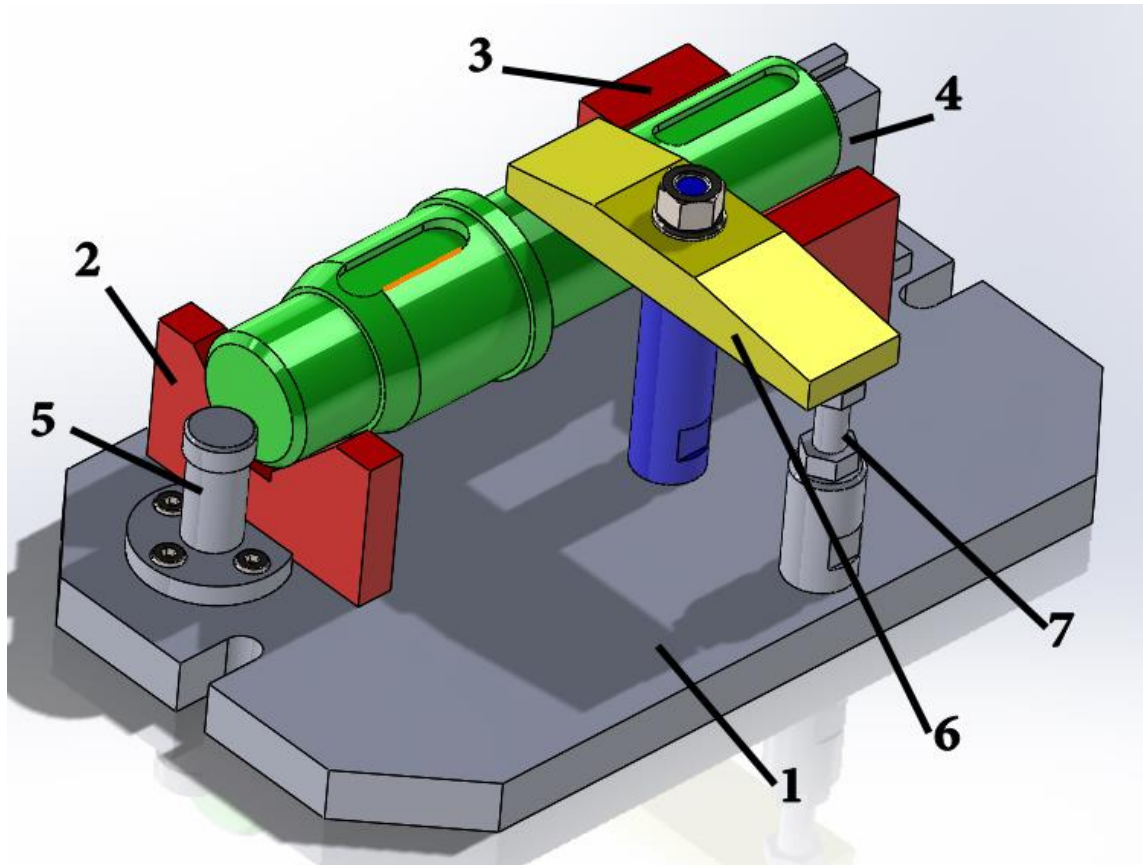


Рис.3.1. 3D модель пристосування для фрезерування шпонкового пазу
($b=22\text{мм}$)

Всі елементи пристрою розміщені на його корпусі (основі), що має вид плити поз. 1. Корпус має два вушка для кріплення на столі верстата.

Принцип роботи пристрою: після встановлення й закріплення пристрою на столі верстата, деталь, що підлягає обробці, встановлюється на дві призми й підводиться до упору в торець. Після чого затискується ручним різбовим затискачем обертанням затискної гайки. При цьому важіль затиску 6, опираючись з правої сторони на болт опори 5, з лівої сторони прижимає заготовку до призм.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ

Арк.

56

3.2. Виконання кінцево-елементного дослідження розробленого пристосування

Визначення типу дослідження. В даному дослідженні приймаємо, що сили, котрі виникають при фрезеруванні пазу, прикладаються повільно та поступово і після досягнення максимального значення не змінюють не величини ні напрямку. На основі цього приймаємо, що дослідження буде статичним.

Для визначення необхідності лінійної чи нелінійної постановки задачі слід проаналізувати ряд факторів, а саме [15]:

- виконання дослідження в пружній області без пластичної деформації: приймаємо те, що під час дослідження не виникає пластичних деформацій;

- наявність фізичної нелінійності: вважаємо, що для всіх матеріалів виконується закон Гука і тому можна використовувати лінійну пружну ізотропну модель механіки матеріалів деталей пристрою;

- зміна площі контакту під час навантаження: вважаємо, що в даній конструкції таке явище не виникає;

- деформації в моделі є малими і не впливають на жорсткість, також деформації та переміщення не впливають на величину та/або напрямок дії граничних умов (силових факторів та/або закріплення моделі).

На основі вище проаналізованих факторів приймаємо, що можливим є використання лінійного статичного дослідження.

Призначення матеріалів. Як відомо жорсткість залежить від властивостей матеріалів та геометрії конструкції, з цих позицій переходимо до наступного важливого етапу – призначення матеріалів. Матеріал валу 40Х (ДСТУ 7806:2015), європейський аналог даного

матеріалу це сталь 1,7034 (37 Cr4), властивості даного матеріалу показані на рис.3.2.

Material properties
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: **Linear Elastic Isotropic** ☐ Save model type in library

Units: **SI - N/m² (Pa)**

Category: **DIN Steel (Unalloyed)**

Name: **1.7034 (37Cr4)**

Default failure criterion: **Max von Mises Stress**

Description: **37 Cr 4**

Source: **Tensile and Yield Strength for 20<t<=60mm**

Sustainability: **Defined**

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.100000031e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.9e+10	N/m ²
Mass Density	7800	kg/m ³
Tensile Strength	750000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	520000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	14	W/(m·K)
Specific Heat	440	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Рис.3.2. Властивості сталі 1,7034 (37 Cr) з бази даних SolidWorks Simulation

Як виходить із рис.3.2., для даного матеріалу відсутня приставка (SS), отже для нього немає даних по кривій Напруження-Деформації, приймаємо що виконується закон Гука.

Водночас бачимо, що SolidWorks Simulation за замовчуванням для даного матеріалу використовує таку модель механіки матеріалів, як Linear Elastic Isotropic та як критерій руйнування за замовчуванням - Max von Mises Stress.

Аналогічним чином визначаємо матеріали всіх інших деталей пристрою, зокрема для призм призначаємо матеріал 20Х (ДСТУ 7806:2015).

Якість сітки кінцевих елементів. Після встановлення типу дослідження та призначення матеріалів, визначаємо якість кінцевоелементної сітки. Так як в даному випадку використано твердотіле моделювання, то і дискретизація буде здійснюватися об'ємними скінченними елементами. Типи об'ємних скінченних елементів показано на рис.3.3.

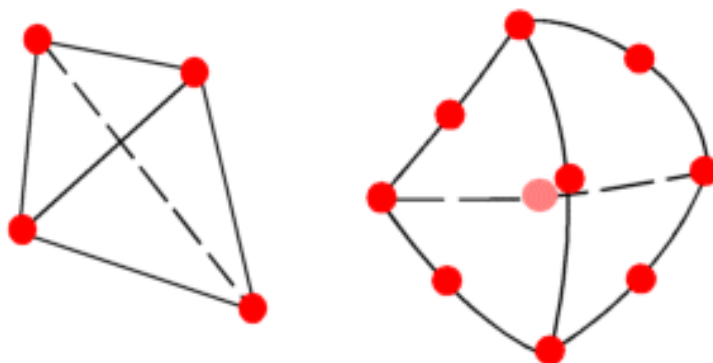


Рис.3.3. Об'ємні кінцеві елементи SolidWorks Simulation: а - лінійні (нижчого порядку, чорнові); б - параболічні (вищого порядку) [16]

Обираємо параболічні кінцеві елементи для побудови сітки для всіх деталей окрім основи, так як немає необхідності аналізу напружено-деформованого стану саме цього компонента збірки.

З'єднувачі в моделі. На наступному етапі визначаємо віртуальні болтові з'єднувачі для імітації зусилля затиску з'єднувачів. Зокрема імітація зусилля притискання важеля затиску реалізується як це показано на рис. 3.4.

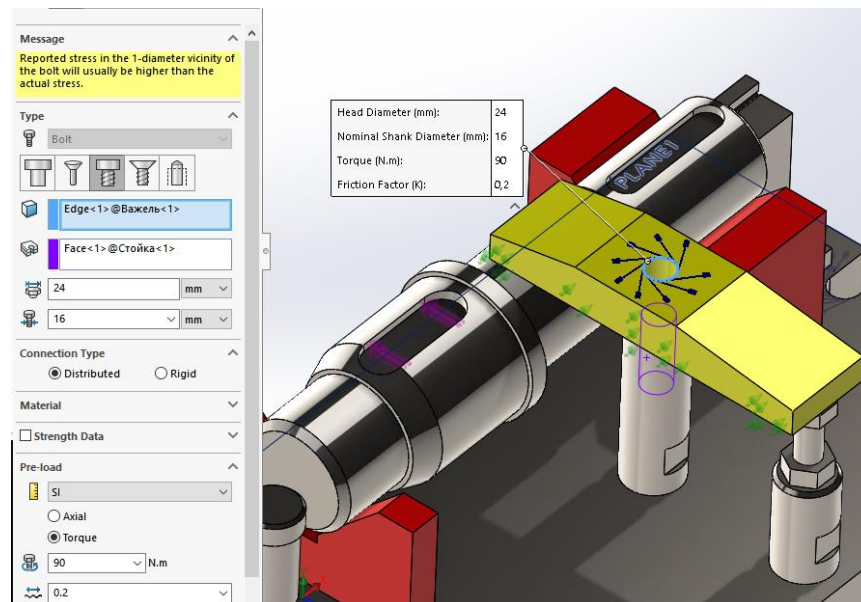


Рис.3.4. Визначення віртуальних болтових з'єднувачів

Контактні умови. Також визначено всі необхідні контактні умови між усіма контактуючими деталями (крім контакту призми із основою) визначено контактні умови, що аналогічні показаним на рис.3.5.

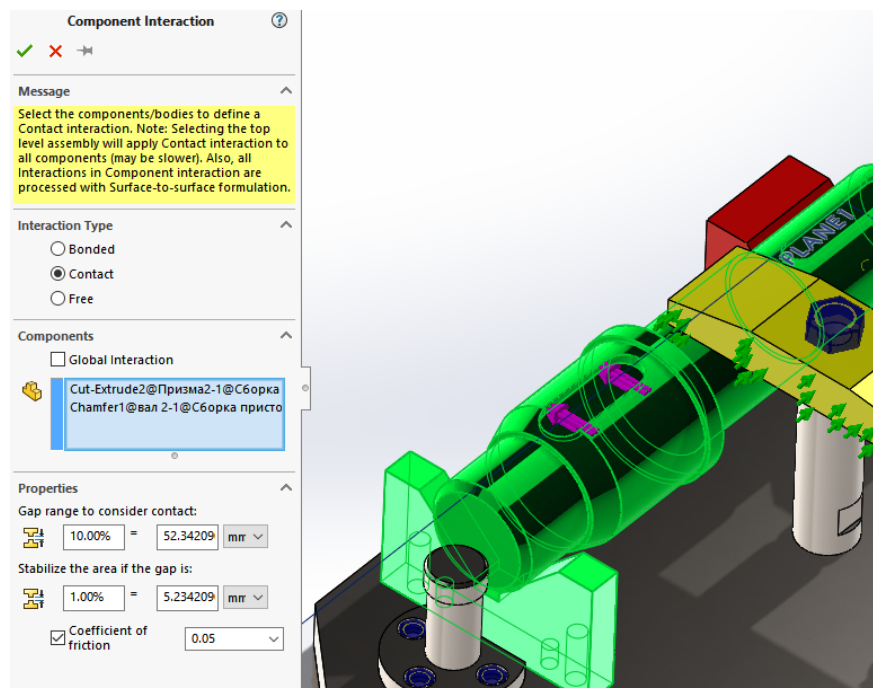


Рис.3.5. Визначення контакту компонентів (Component interaction) по типу Контакт

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ

Арк.

60

Даний тип контактних умов дозволяє контактуючим поверхням входити в контакт, виходити з контакту та формувати зазор (або навпаки - здійснювати вибірку зазору), але унеможлиблює інтерференцію контактуючих елементів.

Контакт призм і основи здійснюється по глобальному контакту типу Bonded.

Закріплення моделі. Для закріплення плити можна використати декілька підходів, але в даному випадку використовується фіксація (прикручування) плити до віртуальної стінки. Для цього виконано контактну умову Local interaction, як це показано на рис.3.6

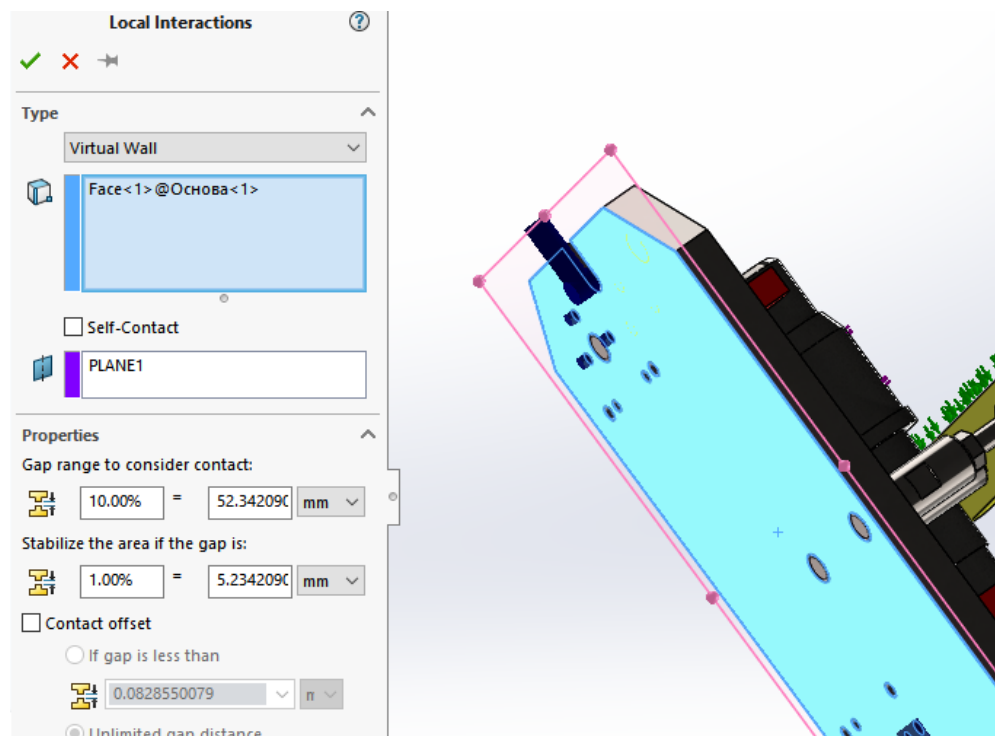


Рис.3.6. Контактна умова Local interaction

Після цього визначені кріпильні елементи плити до віртуальної стінки, як це показано на рис.3.7.

Призначення навантаження. Як уже зазначалося сила P_z діє перпендикулярно осі обертання заготовки і може прокручувати вал

навколо його осі обертання, приймаємо її на рівні 500 Н та прикладаємо до шпонкового пазу, R_x приймаємо 300 Н, як це показано на рис.3.8.

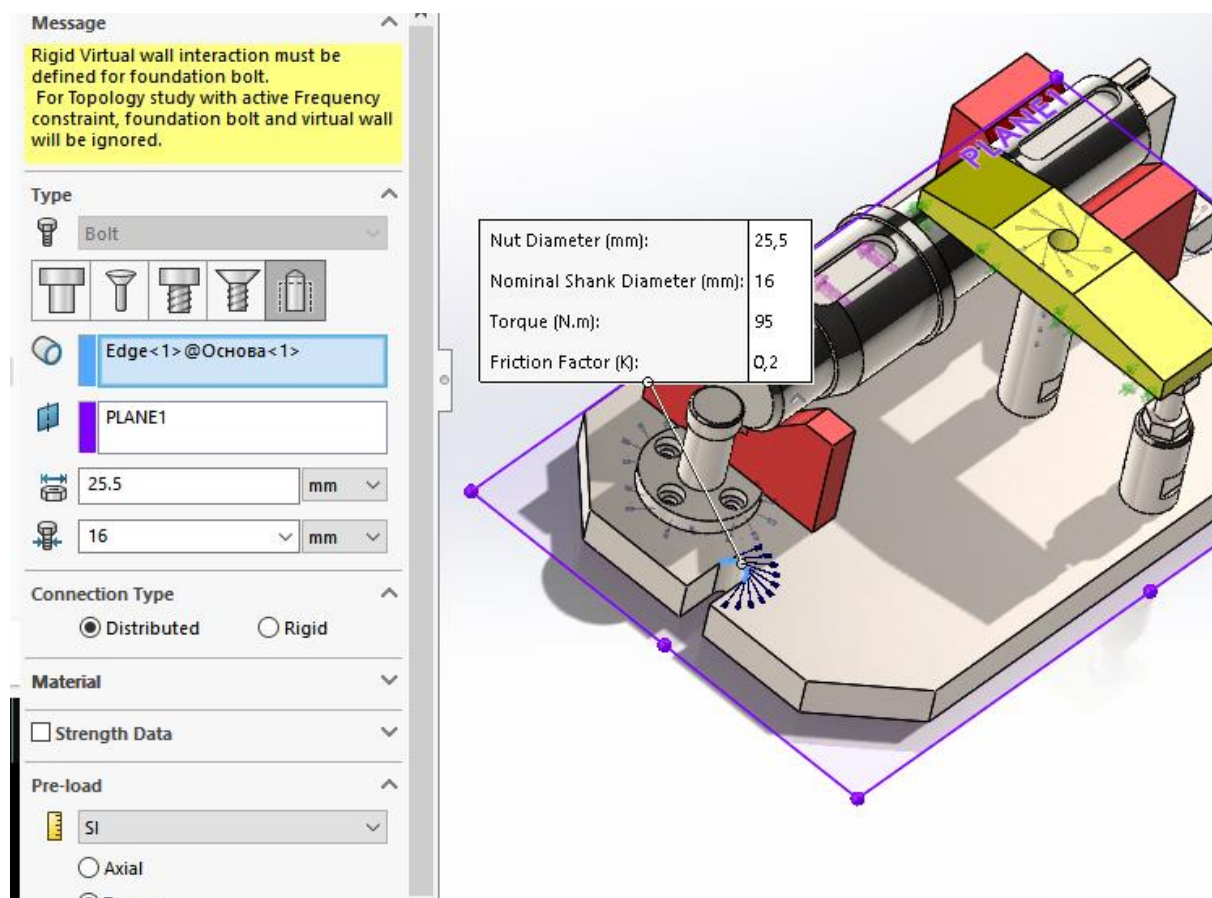


Рис.3.7. Кріплення плити до віртуальної стінки

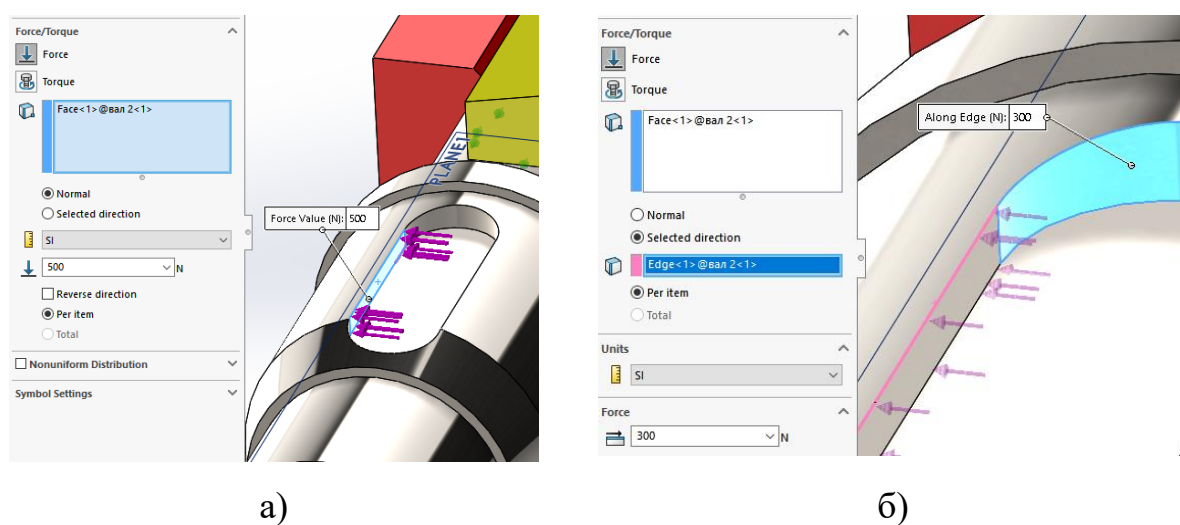


Рис. 3.8. Прикладення зусиль: а – P_z , б – R_x

Створення кінцево-елементної сітки. Як уже було сказано, для всіх деталей крім плити використовуються параболічні кінцеві елементи, як це показано на рис. 3.9.

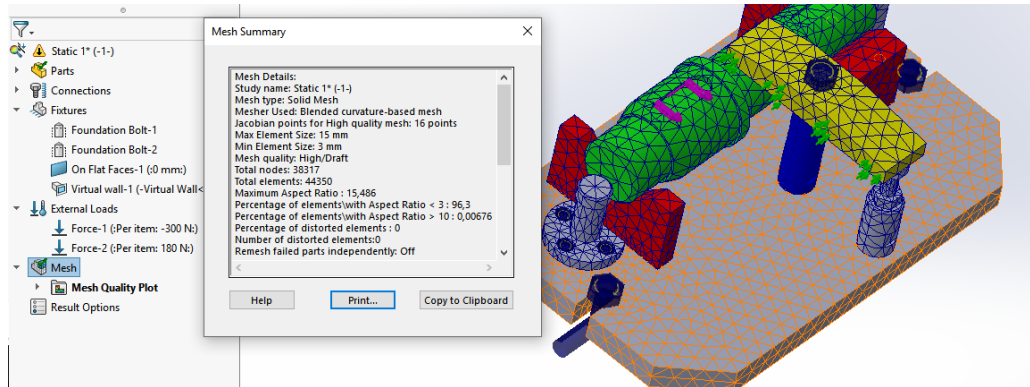


Рис. 3.9. Створення кінцево-елементної сітки пристрою

Результати дослідження напружено-деформованого стану пристрою в SolidWorks Simulation. Епюри еквівалентних напружень по von Mises відображені на рис.3.10-3.11

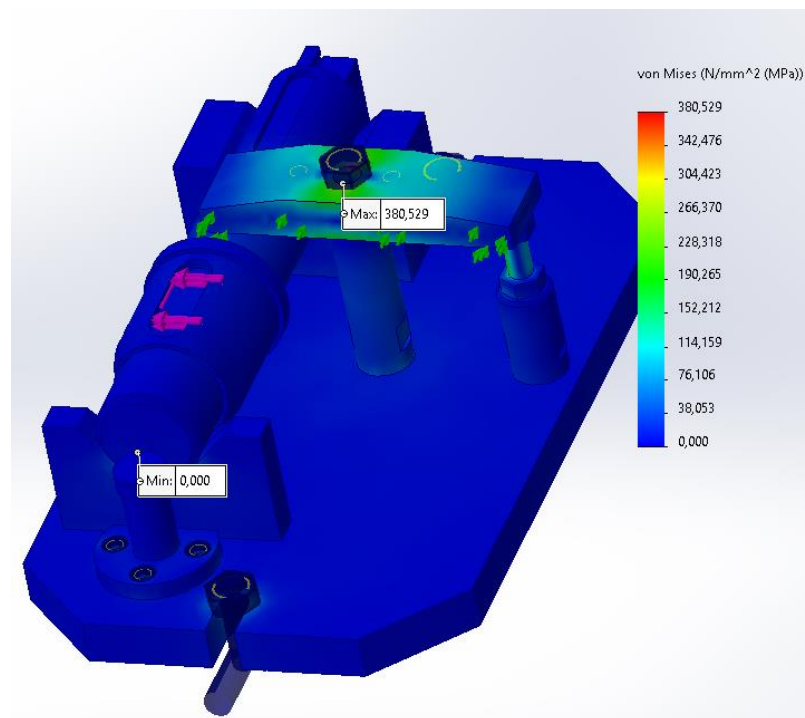


Рис.3.9. Еквівалентні напруження von Mises

Як видно з рис.3.9. найбільші напруження виникають під голівкою віртуального болтового з'єднувача на затискному важелю (зусилля закручування болта становлять 95Н*м).

Як бачимо, максимальні напруги перевищують границю текучості матеріалу затискного важеля, що говорить про необхідність застосування нелінійного статичного дослідження. Але варто враховувати те, що голівка віртуального болта є абсолютно жорсткою та не сприймає пружних деформацій, що і призводить до локального частково «штучного» зростання напружень.

Для більшої візуалізації зон виникнення напружень було знижено верхню межу значень відображуваних напружень, як це показано на рис.3.10.

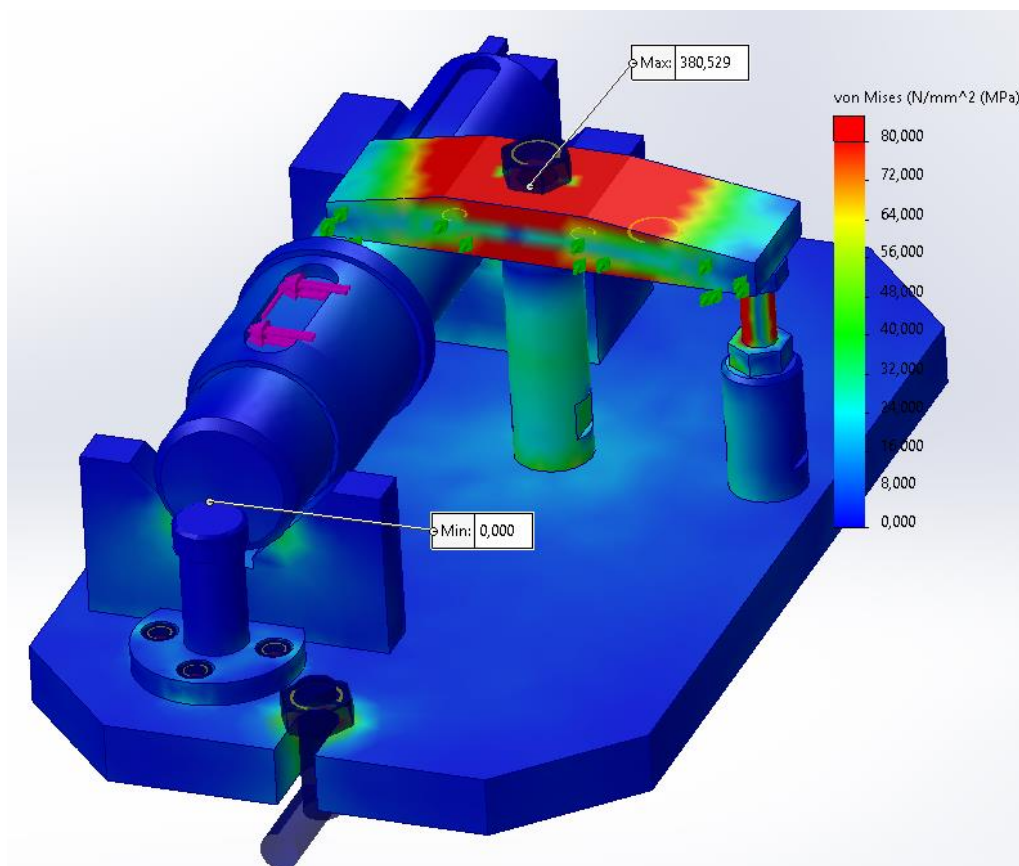


Рис.3.10. Еквівалентні напруження von Mises зі зниженою верхньою межею відображуваних напружень

Для більш точного просторового відображення зон, де рівень напружень вище заданого значення використано такий інструмент епюри як Iso Clipping, що показано на рис. 3.11

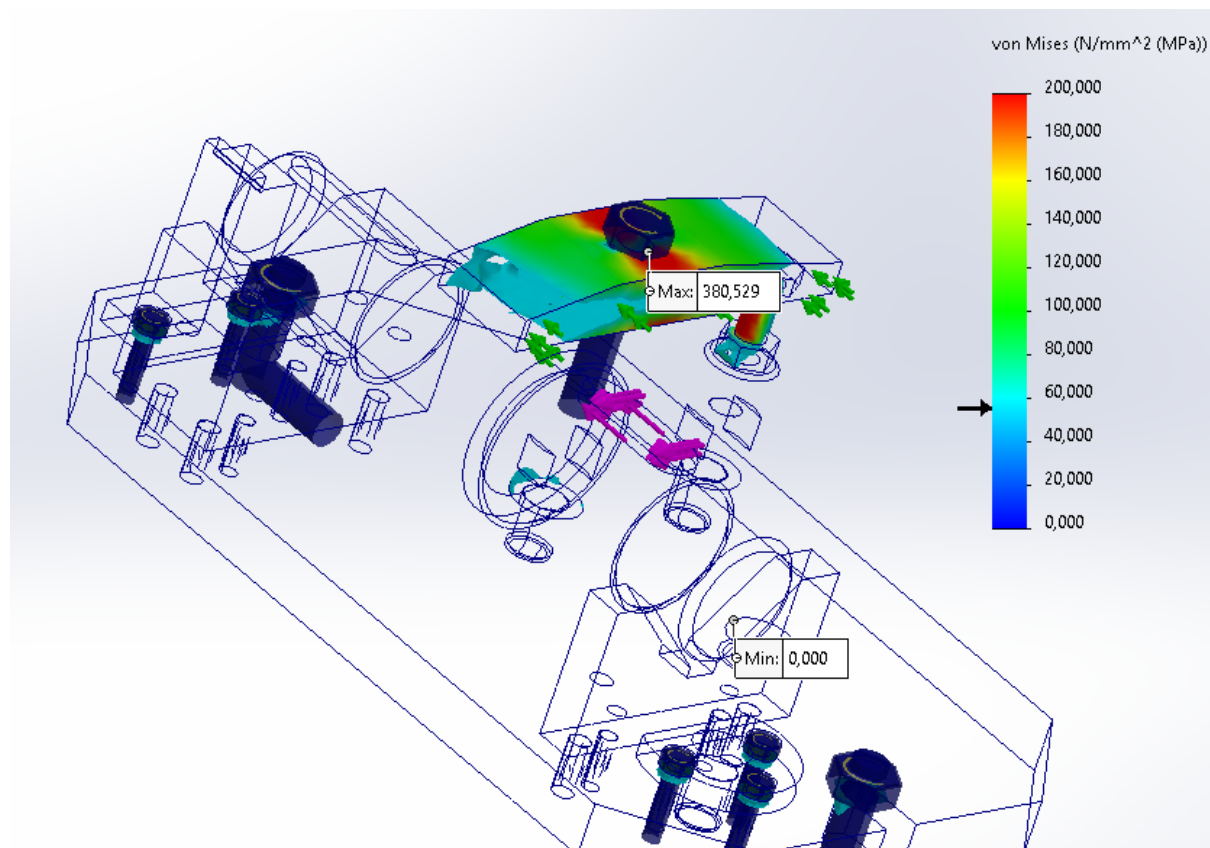


Рис.3.11. Застосування Iso Clipping

Важливим результатом дослідження працездатності пристрою є , з однієї сторони, непровертання валу; з іншої – мінімальний прогин валу від зусилля притискання.

Встановлено, що зусилля затиску (при закручуванні пристискного болта моментом 90 Н*м) достатні для унеможливлення провороту валу, а епюра переміщень по вертикальній осі показано на рис.3.12.

Як виходить з рис.3.12 виникають переміщення валу у вертикальній площині порядку 0,061- 0,075 мм.

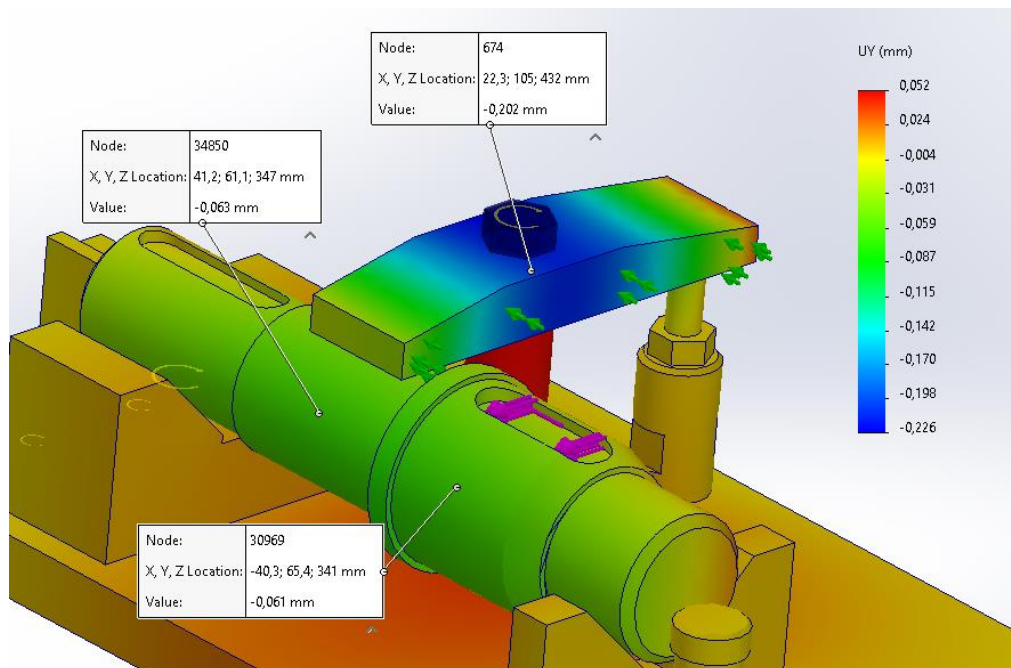


Рис.3.12. Епюра переміщень по вертикальній осі

Дане дослідження було потворено для закручуванні притискного болта моментом $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$, при цьому максимальні напруги (в області голівки притискного болта) становили порядку 177 Н/мм^2

Висновки до третього розділу

Розроблено пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Виконано 3D модель даного пристосування.

Виконано адаптацію 3D моделі для кінцево-елементного дослідження, призначено граничні та кінематичні умови, призначено матеріали деталей, сформовано всі необхідні контактні умови та виконано дослідження напружено-деформованого стану пристрою. Встановлено, що найбільші напруження та деформації виникають у притискному важелі.

На основі розробленої імітаційної моделі шляхом проведення подальших досліджень можливим є отримання графіку відгуку притискної сили залежно від конструктивний параметрів пристрою.

ВИСНОВКИ

У першому розділі бакалаврської роботи було вивчено класифікацію та види редукторів. Було оглянуто типові конструкції циліндричних редукторів та проведено пошук патентів для ознайомлення з нестандартними конструкціями.

Побудовано 3D модель одноступінчастого циліндричного редуктора по схемі з атласу [6] та проведено розрахунок зубчастої передачі, а саме: визначені кінематичні параметри редуктора; розраховані всі геометричні розміри шестерні та зубчастого колеса; проведено перевірку зубців на контактну міцність та на згин; визначені сили в зачепленні.

У другому розроблено технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора. Було обґрунтовано вибір виду та форми заготовки, а саме в якості заготовки прийнято гарячекатаний круглий прокат $\varnothing 87^{+0,3}_{-1,1}$ мм сталь 40Х ДСТУ 7806:2015. Розраховані загальні та міжопераційні припуски на обробку деталі. Підібране металорізальне обладнання, інструмента та допоміжні пристосування для здійснення технологічного процесу. Розраховані режими різання на токарну, шпонково-фрезерну та круглошліфувальну операції.

У третьому розділі розроблено пристосування для фрезерування шпонкового пазу. Виконано 3D модель даного пристосування та його дослідження напружено-деформованого стану. Встановлено, що найбільші напруження та деформації виникають у притискному важелі.

На основі розробленої імітаційної моделі шляхом проведення подальших досліджень можливим є отримання графіку відгуку притискної сили залежно від конструктивних параметрів пристрою.

					MI 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ЛІТЕРАТУРА

1. Механічний редуктор [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/azhhd>.
2. ВИДИ І ПРИЗНАЧЕННЯ РЕДУКТОРІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/inmcd>.
3. Конструкції і параметри циліндричних та конічно-циліндричних редукторів. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи / К.А. Зіборов, О.М. Твердохліб – Дніпропетровськ: НГУ, 2016.
4. Конструкції і параметри циліндричних та конічно-циліндричних редукторів. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи / К.А. Зіборов, О.М. Твердохліб – Дніпропетровськ: НГУ, 2016.
5. Невлюдов І. Ш. "Моделювання та дослідження зносу циліндричного редуктора для мобільного робота" Проблеми тертя та зношування 2.2 (79) (2018): 63-71.
6. Л. И. Цехнович И. П. Петриченко Атлас конструкций редукторов киев: Вища школа. 1979г. 127с.
7. Головня В.Д. Деталі машин. Курсове проектування : навч.-метод. посібник / В.Д. Головня, Г.М. Виговський, Н.О. Балицька. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – 120 с.
8. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
9. Заготовки деталей машин: формоутворення, параметри, характеристики. Частина 1: підручник / В.А. Кирилович, О.Л., Мельник, П.П. Мельничук, В.А. Яновський; за ред. В.А. Кириловича. – Житомир : "Вид. О.О. Євенюк", 2020. – 311 с.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 019 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. 656 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. 640 с.

12. В.А. Кирилович, П. П. Мельничук, В.А. Яновський. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ: Навчальний посібник – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 600 с.

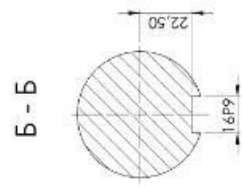
13. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

14. Справочник инструментальщика. / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

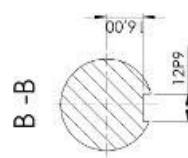
15. Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування: навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 540 с

16. Meshing [Електронний ресурс] // Dassault Systemes. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/ifhqj>.

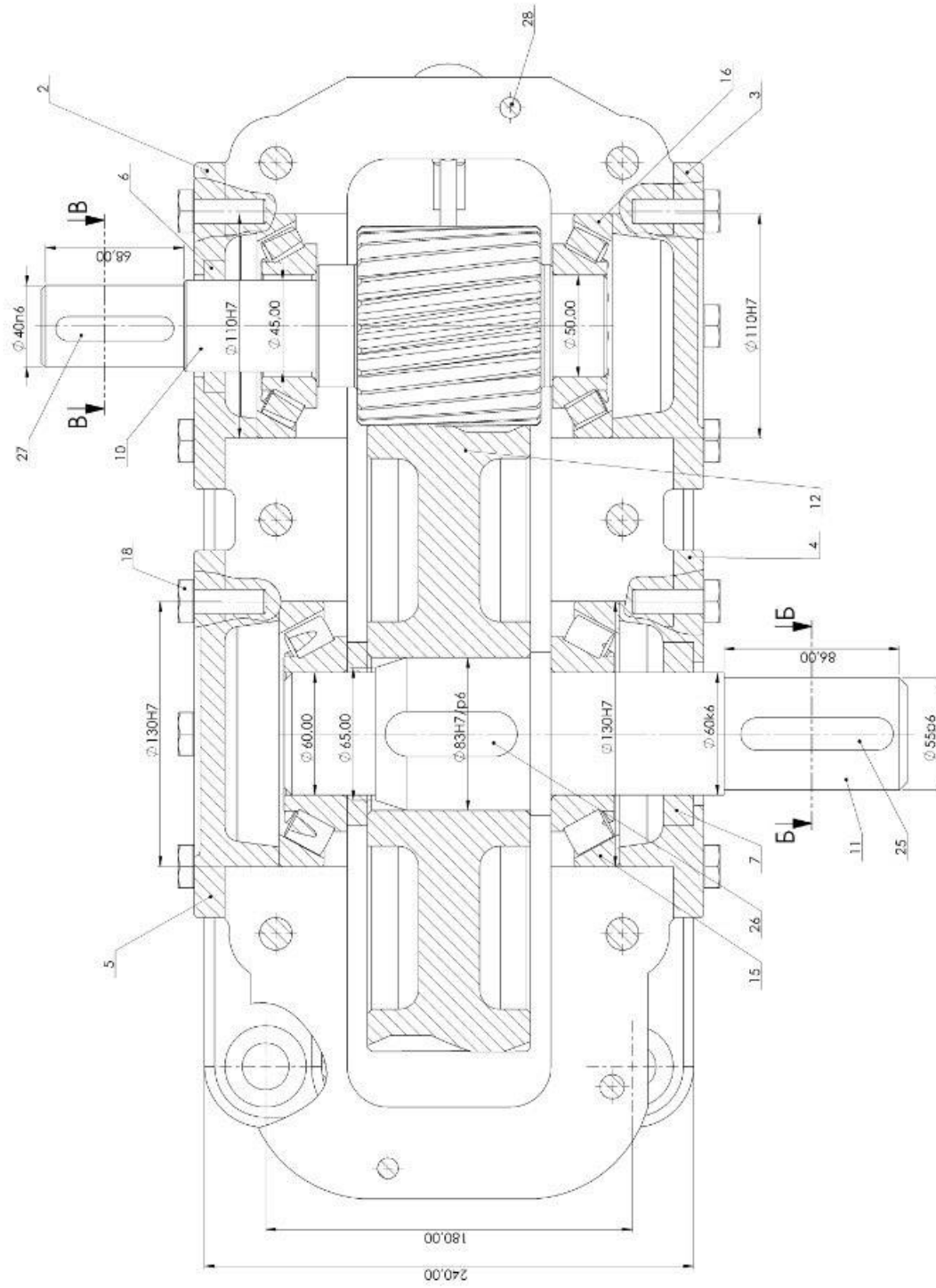
ДОДАТКИ



9-9



B-B



Форм.	Зона	Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Приміт.
				Документація		
			MI 131.00.1/Б 101/с 019 01-СК	Складальний кресленик	1	
				Складальні одиниці		
		1	MI 131.00.1/Б 101	Кришка-віддушина	1	
				Детали		
		2		Кришка підшипника	1	
		3		Кришка підшипника	1	
		4		Кришка підшипника	1	
		5		Кришка підшипника	1	
		6		Розподільне кільце	1	
		7		Розподільне кільце	1	
		8		Пробка	1	
		9		Мастиловказівник	1	
		10		Вал	1	
		11		Вал	1	
		12		Колесо зубчасте	1	
		13		Основа корпусу	1	
		14		Кришка корпусу	1	
		15		Підшипник 7310	2	
		16		Підшипник7312	2	
3	Арж	№докум.	Підп.	Дат	MI 131.00.1/Б 101/с 019 01-СП	
Розроб.	Музика				Редуктор циліндричний	
Перев.	Пилипенко					
Н.контр.						
Затв.	Мельник					
						Державний університет "Житомирська політехніка" гр. ЗПМК-21

[illegible]