

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

«На правах рукопису»

УДК 621.8.024.4

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
механічної інженерії


(підпис)

Мельник О.Л.
(прізвище, ініціали)

**БАКАЛАВРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Розрахунок та конструювання конічного редуктора з
конструкторсько-технологічною підготовкою виготовлення тихохідного валу

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00 - ПЗ

Студент групи

ЗПМ-19
(цифр і групи)

Пінчук Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник

д.т.н., проф. Пилипенко О.М.
(науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)


(підпис)

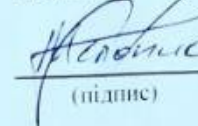
Житомир – 2023 рік

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

Пінчука Олександра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Керівник роботи: Пилипенко Олександр Михайлович

Затверджена наказом по університету від «02» 03 2023 р. № 101/с

2. Строк подання студентом роботи: згідно графіку захисту.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики, яким має відповідати проектний конічний редуктор; схеми та креслення конічних передач та редукторів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): зробити загальний опис конічних передач; навести технічні характеристики та складові конічних редукторів; розрахувати зубчасту передачу редуктора; провести проектний розрахунок валів; виконати ескізну компоновку редуктора; побудувати 3D збірку конічного редуктора; перевірити вали на міцність засобами САПР; розробити технологічний процес виготовлення тихохідного валу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Опис конічних передач та редукторів – 2-3 слайди; 2. Розрахунки зубчастої передачі та валів редуктора – 1-2 слайди; 3. 3D модель конічного редуктора – 1 слайд; 4. Складальне креслення конічного редуктора – 1 арк. А1; 5. Робочі креслення валу та зубчастого колеса – 2 арк. А2; 6. Епюри напружено-деформованого стану валів редуктора – 2-3 слайди; 7. Технологічний процес виготовлення тихохідного валу – 2-3 слайд

6. Дата видачі завдання 06 березня 2023 року.

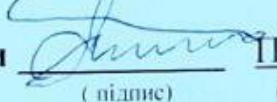
Студент


(підпис)

Пінчук О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

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 технологічної 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.	

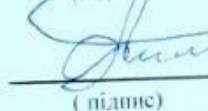
Студент


(підпис)

Піпчук О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Пилипенко О.М.

(прізвище та ініціали)

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
			<u>Документація</u>			
A4			МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Пояснювальна записка	68	
			<u>Конструкторська документація</u>			
A3			МІ 131.00.1/Б 101/с 113 01 КД	Тихохідний вал	1	
				3D модель збірки кінцевого редуктора		
				3D модель збірки кінцевого редуктора з модернізованим карцсом		
			<u>Графічні матеріали до розділів роботи</u>			
A4				Презентація	18	
			<u>Технологічна документація</u>			
A2			МІ 131.00.1/Б 101/с 113 02 КН	Карта наладки на операцію 005	1	
A2			МІ 131.00.1/Б 101/с 113 03 КН	Карта наладки на операцію 010	1	
A2			МІ 131.00.1/Б 101/с 113 04 КН	Карта наладки на операцію 035	1	

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ВР		
Зн	Арх	№ докум	Підп.	Дата	Лист	Лист	Листов
Розроб.	Пінчук О.А.					1	1
Перевір.	Пилипенко О.М.						
Нконтр.							
Затверд.	Мельник О.Л.						

Відомість бакалаврської кваліфікаційної роботи

Державний університет «Житомирська політехніка», група ЗПМ-19

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційної бакалаврської роботи
студента факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
групи ЗПМ-19

Пінчука Олександра Анатолійовича

на тему:

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

Бакалаврська кваліфікаційна робота представлена в обсязі 68 сторінок формату А4 пояснювальної записки, в тому числі 31 рисунків, 16 таблиць та списку літератури з 23 джерел.

До конструкторської документації додано складальне креслення конічного редуктора формату А2 разом зі специфікацією, креслення деталі «тихохідний вал» на форматі А3, та креслення деталі «зубчасте колесо» на форматі А3.

До технологічної документації додано карти наладок на токарну операцію 010, та шліфувальну операцію 035, які оформлені на форматах А2.

В пояснювальній записці розглянуто галузь застосування, класифікацію та конструкції конічних зубчастих коліс та конічних редукторів.

За технічним завданням проведені розрахунки і розроблено конструкцію конічного редуктора. Побудовано 3Д модель збірка та проведено статичний аналіз валів.

Також виконано аналіз призначення та технічних умов на виготовлення деталі «тихохідний вал», обґрунтовано метод отримання заготовки. Розроблено маршрутно-операційний технологічний процес, вибрано технологічне обладнання та засоби технологічного оснащення. Розраховані міжопераційні та загальні припуски на обробку деталі, режими різання та норми часу.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	4
1.1. Зубчасті конічні передачі	4
1.2. Конструкція конічних редукторів	8
1.3. Виготовлення зубчастих конічних коліс	10
1.4. Огляд патентів в напрямку удосконалення конструкції конічного редуктора.....	13
1.5. Висновки до першого розділу.....	15
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	16
2.1. Вихідні данні для проектування конічного редуктора.....	16
2.2. Вибір електродвигуна. Кінематичний та силовий розрахунок приводу.....	19
2.3. Розрахунок зубчастої конічної передачі редуктора.....	19
2.4. Навантаження валів редуктора	26
2.5. Проектний розрахунок валів.....	27
2.6. Конструктивна компоновка редуктора	29
2.7. Змашення редуктора.....	33
2.8. Виконання 3Д моделі редуктора.....	34
2.9. Модернізація конструкції редуктора.....	36
2.10. Розрахунок валів на міцність.....	39
2.11. Висновки до другого розділу.....	44
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	45
3.1. Характеристика, хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі	46
3.2. Аналіз технологічності конструкції деталі	47
3.3. Вибір типу заготовки та обґрунтування методу її виготовлення.....	49
3.4. Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі.....	50
3.5. Технологічне обладнання.....	54
3.6. Розрахунок режимів різання.....	59
3.6.1. Операція 010 – «Токарна».....	59
3.6.2. Операція 035 – «Круглошліфувальна».....	63
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	67

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ЗМІСТ		
Разроб.	Пінчук О.А.						
Перевір.	Пилипенко						
Н.контр.							
					Лит.	Лист	Листов
						2	68
					Державний університет		

Затверд.	Мельник				«Житомирська
----------	---------	--	--	--	--------------

ВСТУП

Машинобудування є важливою галуззю промисловості будь-якої країни, яке повинно забезпечувати всі інші галузі високоефективними машинами та обладнанням.

Для якісного економічного зростання країни необхідно, щоб продуктивність нових машин підвищувалась, а вартість одиниці потужності знижувалася. Від рівня розвитку машинобудування залежить темпи зростання промисловості та насичення її новою технікою.

Одночасно з впровадженням нової техніки і подальшого зростання кваліфікації кадрів будуть рости масштаби виробництва з переходом до велико-серійного, безперервного, автоматизованого виробництва, яке буде базуватися на широкому використанні комп'ютерної техніки і механізмів програмного управління.

Сучасній машинобудівній промисловості необхідно:

- створювання нових знарядь праці, нових матеріалів та досконалішої технології;
- прискорення темпів оновлення та зміни застарілої техніки;
- механізації трудомісткої роботи для зміни ручної праці на машинну;
- впровадження автоматизованих систем управління.

Один з механізмів який широко використовується у машинобудівній промисловості є – редуктори. Редуктор – це самостійний вузол, що встановлюється між електродвигуном і машиною (механізмом). Редукторами різних типів та типорозмірів комплектуються різні підйомно-транспортні машини, вентилятори, конвеєри, верстати, гірничі. Редуктори характеризуються передаточним числом, крутним моментом, міжосьовою відстанню, масою, температурою нагрівання, шумовими характеристиками та ін.

Дана робота присвячена конструюванню конічного редуктора та виготовленню його тихохідного валу.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Зубчасті конічні передачі

Зубчасті конічні передачі застосовуються для передачі крутного моменту під кутом. Осі валів у таких передачах перетинаються або схрещуються під деяким міжосьовим кутом. Міжосьовий кут може змінюватися в широкому діапазоні: від 10° до 170° , але найбільш поширені у машинобудуванні конічні передачі з кутом $\Sigma = 90^\circ$ [1, 2, 3, 4]. Конічні колеса бувають з прямими, косими (тангенціальними), круговими та рідко із шевронними зубами (рис. 1). Передачі із круговими зубами відрізняються високою плавністю роботи та технологічністю виготовлення зубчастих коліс. Коефіцієнт корисної дії конічних передач не відрізняється від циліндричних і знаходиться в межах $0,96 \dots 0,98$.

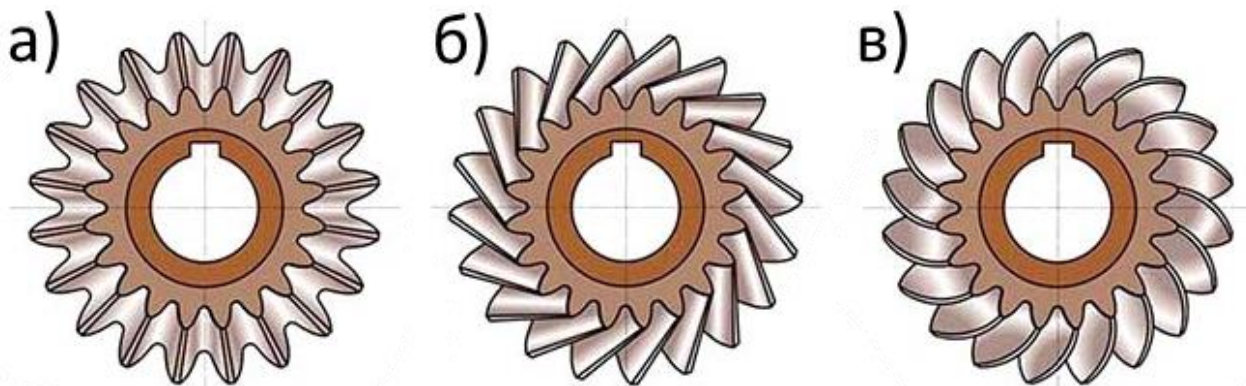


Рис. 1. Види зубів конічних зубчастих коліс:

а) з прямими зубами; б) з косими (тангенціальними) зубами; в) з круговими зубами.

Конічні зубчасті передачі можуть використовуватися як окремі складові механізмів машин, так і у виді редукторів, які виготовляються окремими агрегатами і мають високий ступінь стандартизації та уніфікації.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

У порівнянні з циліндричними зубчастими редукторами конічні редуктори найчастіше мають одну ступінь і їх передаточне число дорівнює одиниці [1, 2, 3, 4]. Тобто їх застосовують лише для зміни напрямку передачі силового потоку. Також конічні зубчасті передачі можна зустріти у комбінованих багатоступінчастих редукторах, найчастіше конічно-циліндричних двоступінчастих, у якості швидкохідної ступіні.

Зуби конічних коліс у перерізі по довжині можуть бути виконані у трьох формах (рис. 2).

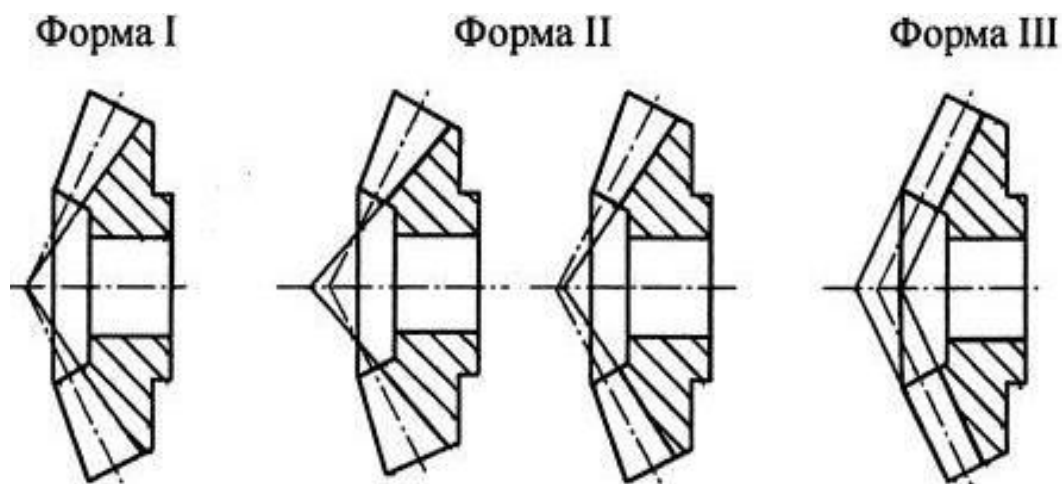


Рис. 2. Форми зубців по довжині [1, 4]

Осьова форма I – нормально знижувані зуби. У таких конічних колесах вершини ділильного та внутрішнього конусів збігаються в одній точці. Цю форму застосовують для конічних передач з прямими та тангенціальними зубами, а також обмежено для передач з круговими зубами.

Осьова форма II – вершини ділильного та внутрішнього конусів не співпадають. Як правило вершину внутрішнього конуса розташовують так, щоб ширина дна западини колеса була постійною, а товщина зуба по ділильному конусу зростала зі збільшенням відстані від вершини. Така форма дозволяє обробляти одним інструментом відразу обидві поверхні зубів колеса. Тому вона є основною для коліс із круговими зубами, широко застосовується у масовому виробництві.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

5

Осьова форма III – рівновисокі зуби. Твірні ділильного та внутрішнього конусів паралельні. Така форма застосовується для кругових зубів, зокрема при середніх конусних відстанях 75-750 мм.

Форми II і III отримують зсувом вершини конуса западин і вершини ділильного конуса. У стандартах ГОСТ 19624-74 – передачі зубчасті конічні з прямими зубцями та ГОСТ 19326-73 – передачі зубчасті конічні з круговими зубцями, детально висвітлені питання розрахунків та вибору форми зубців.

Конічні зубчасті передачі, у порівнянні з циліндричними, мають велику масу та габарити, складніші у виготовленні та монтажі, так як потребують точної фіксації осьового положення зубчастих коліс. Конструктивно, як правило шестерню, монтують консольно, що веде до підвищеної деформації валу. Ця особливість, а також зміна модуля (від внутрішнього до зовнішнього) збільшують нерівномірність розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця і шум у зачепленні, що обмежує швидкість обертання. Також до недоліків можна віднести невелике передатне число конічної передачі, яке становить для прямозубої трохи більше 4, і з круговим зубом – трохи більше 6,3.

Параметри конічного зачеплення

У конічних колесах застосовують поняття «початкові конуси» – це дві конічні поверхні, які перекочуються одна по одній із загальною вершиною в точці «О», (рис. 3) [1, 2, 3, 4, 5]. Початкові конуси завжди збігаються з ділильними конусами. Кут ділильного конуса шестерні позначають δ_1 , а зубчастого колеса – δ_2 . Загальний міжосьовий кут рівний сумі кутів конуса шестерні та колеса $\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$.

Профілювання евольвентних зубів конічних коліс проводять на поверхнях зовнішніх додаткових конусів з вершинами O_1 і O_2 , твірні яких перпендикулярні до твірних ділильних конусів. Поверхні додаткових конусів легко розгортаються на площину. При цьому найбільші радіуси розгортки рівні твірним додаткових конусів $O_1П$ і $O_2П$ і є радіусами ділильних кіл

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

еквівалентних циліндричних коліс, профілі зубів яких використовуються в якості профілів зубів конічних коліс. Діаметри еквівалентних коліс $d_{ve1} = d_{e1} / \cos \delta_1$, $d_{ve2} = d_{e2} / \cos \delta_2$ і $Z_{v1} = Z_1 / \cos \delta_1$, $Z_{v2} = Z_2 / \cos \delta_2$, де Z_1 та Z_2 – дійсна кількість зубів конічних коліс.

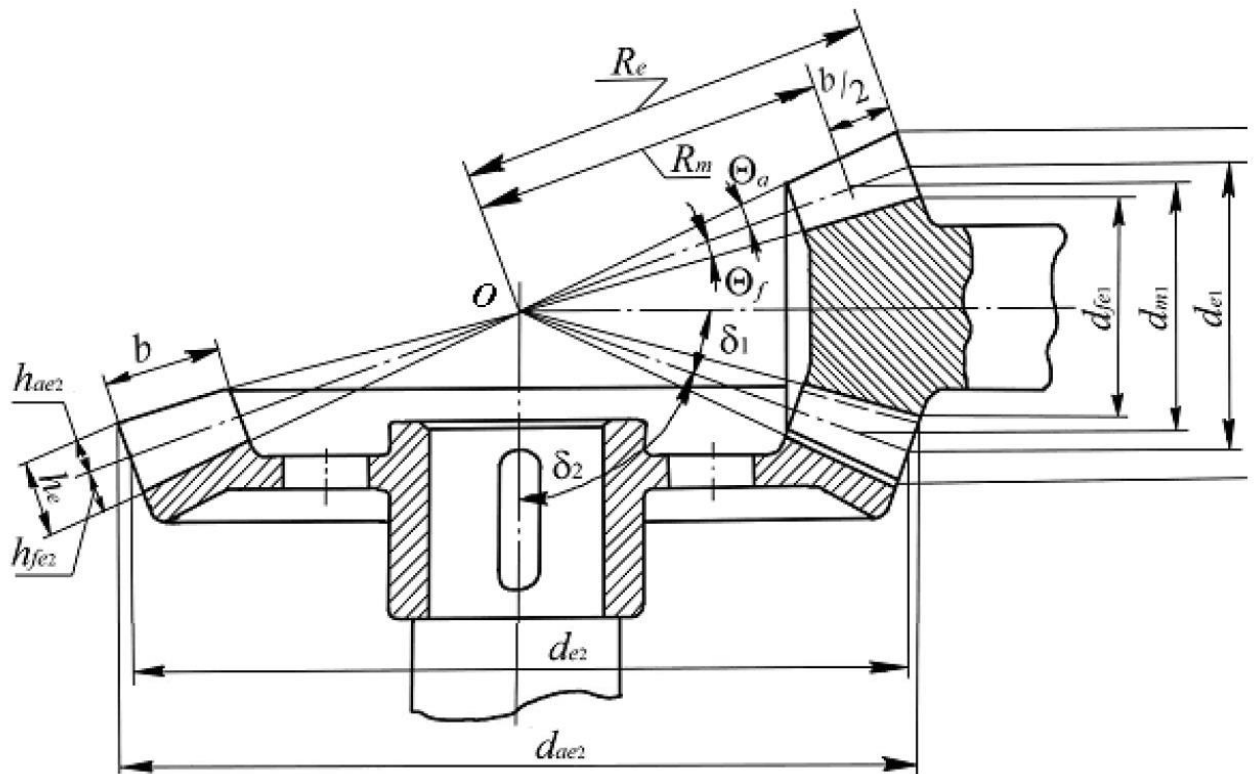


Рис. 3. Параметри конічного зачеплення

У конічній передачі розрізняють зовнішній та внутрішній додаткові конуси, які обмежують зубчастий вінець (ширина b) (див. рис. 3). Перетин твірних поверхонь зовнішніх додаткових і ділительних конусів дають зовнішні ділительні діаметри d_{e1} та d_{e2} . Параметри зубчастого конічного колеса найбільш зручно вимірювати по зовнішнім конусам. Тому крім зовнішніх ділительних діаметрів позначають параметри: R_e – зовнішня конусна відстань; m_e – зовнішній модуль зачеплення.

Для розрахунків зубчастих коліс на міцність вигідніше оперувати середніми параметрами (з індексом m), такими як: R_m – середня конусна відстань, d_m – середній ділительний діаметр, m_m – середній модуль.

Для косих і кругових зубів використовують параметри торцевий (коловий) і нормальний модулі. Звичайно стандартним приймають зовнішній нормальний модуль. Для зубів, які виготовляються за допомогою немодульного різального інструменту, є допуск модуля. Для ортогональних конічних передач існує залежність кутів ділительних конусів і передаточного числа.

Також для розрахунків застосовуються коефіцієнти відносної ширини зубчастого вінця.

1.2. Конструкція конічних редукторів

Типова конструкція редуктора (рис. 4) [4, 6] складається з корпусу 17, кришок підшипників 7, 12 і 25, ведучого валу-шестірні 10 (або валу з закріпленою на ньому шестернею), які встановлені в стакані 2, веденого валу 16, на якому через шпонку 11 встановлюється зубчасте колесо 19, радіально-упорних підшипників кочення 9 і 13, маслоутримуючих кілець 14, тонких металевих прокладок 15 і 21, оглядової кришки 4, зливної пробки 18, зливної пробки 23, щупа рівня мастила 20, регулювальної гайки 22 з шайбою 8, кріпильних гвинтів 1, 3, 5, 26. Для запобігання витoku масла з корпусу та попадання всередину пилу в кришці 25 та кришці підшипника 7 встановлюються ущільнення 24 та 6.

Конструкція конічного редуктора має передбачати три регулювання: радіального зазору в підшипниках ведучого валу (натяг підшипників); радіального зазору у зубчастому зачепленні за допомогою підбору прокладок під корпусними кришками 12 і 25.

Регулювання радіального зазору у радіально-упорних конічних роликів підшипниках ведучого валу 10 здійснюється переміщенням гайки 22 з наступною фіксацією її за допомогою лапчастої шайби 8.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

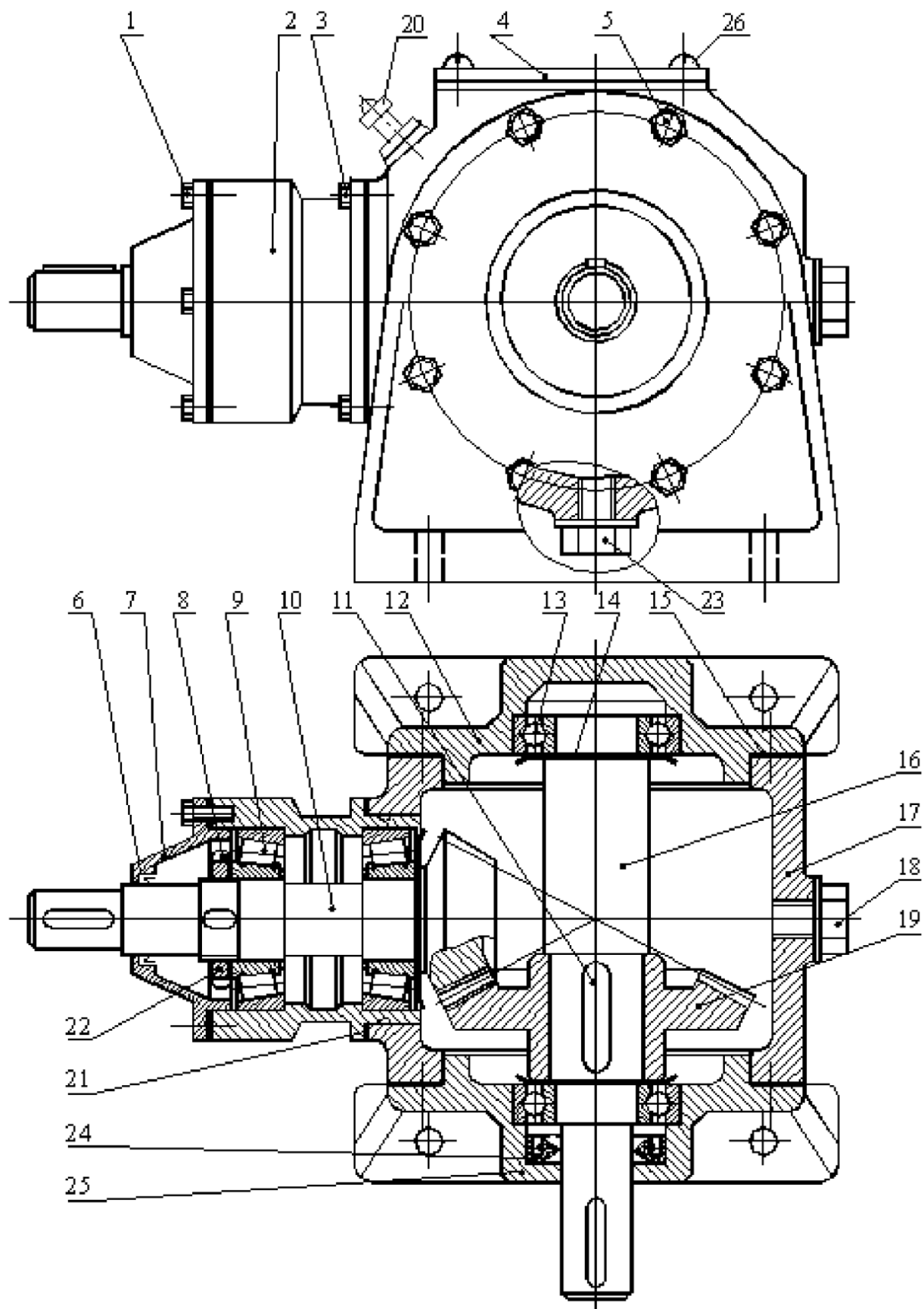


Рис. 4. Типова конструкція конічного редуктора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

9

Регулювання осевого положення веденого валу 16 здійснюється за допомогою набору тонких металевих прокладок 15, які встановлюються між корпусом редуктора 17 і кришками підшипників 12 і 25. Таким чином забезпечується співпадіння вершин ділительних конусів у точці О (рис. 3) після збирання редуктора.

Також у зачепленні необхідно регулювати радіальний зазор за допомогою набору металевих регулювальних прокладок 21 між стаканом 2 та корпусом редуктора 17.

Ведений вал 16 може встановлюється на радіальних кулькових або конічних роликових підшипниках 13 у корпусних кришках підшипників 12 та 25.

Правильність складання редуктора перевіряється поворотом ведучого та веденого валів. У добре зібраному редукторі вали повинні легко повертатися рукою і не мати відчутних бічних і радіальних люфтів.

1.3. Виготовлення зубчастих конічних коліс

Конічні зубчасті колеса із прямими, косими та круговими зубами можуть бути нарізані різними методами [7, 8]. Фрезеруванням дисковими та пальцевими модульними фрезами з використанням методу копіювання на спеціальних або універсально-фрезерних верстатах. В умовах великосерійного виробництва використовують дискові фрези для чорнового нарізування прямозубих коліс (рис. 5). Також даний метод використовують для чистового нарізування невеликих коліс невисокої точності в одиничному виробництві. Підбирають необхідну дискову модульну фрезу зі стандартного ряду фрез, що застосовуються для нарізування звичайних циліндричних коліс, за приведеним числом зубів $z_x = z / \cos \varphi$, та розрахунковим модулем $m_c = m \cdot (1 - 0,5b/L)$.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

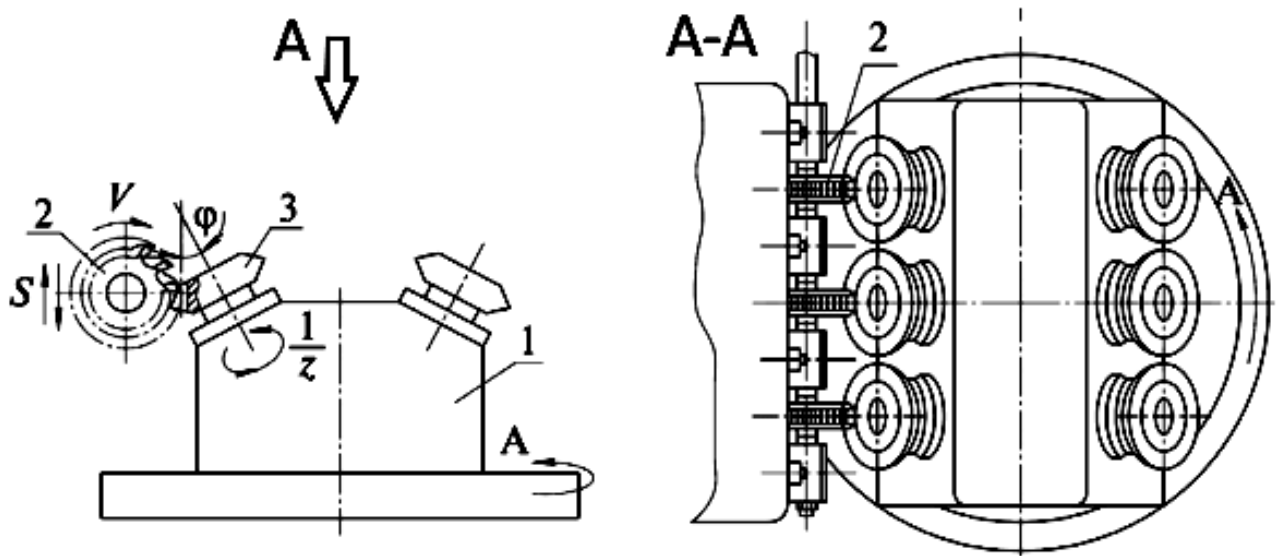


Рис. 5. Схема одночасного нарізання конічних коліс набором дискових фрез:

1 – поворотний пристрій, 2 – дискові фрези, 3 – заготовка

Для нарізання великих зубчастих коліс (діаметром 3-5 м та модулем менше 50 мм) невисокої точності з прямими та криволінійними зубами застосовують модульні кінцеві фрези [7, 8]. Фрезеруванням дисковими або пальцевими модульними фрезами можна отримати 9-10 ступеня точності і параметр шорсткості бічної поверхні зубів $R_a = 10 - 5$ мкм.

В умовах одиничного та серійного виробництва, для нарізання коліс з прямими та косими зубами діаметрами 50-1000 мм, та модулем до 20 мм використовують метод стругання двома різцями за методом обкату на спеціальних зубострогальних верстатах. Стругання двома різцями за методом обкату забезпечує отримання 7-8 ступенів точності і шорсткість поверхні зубів $R_a = 2,5 - 1,25$ мкм.

В умовах великосерійного виробництва доцільно використовувати фрезерування двома дисковими фрезами за методом обкату (рис. 6, а) яке виконують на спеціальних зубофрезерних [7, 8]. Таким методом нарізають прямозубі та косозубі колеса діаметром до 320 мм, та модулем до 8 мм з прямим та бочкоподібним профілем зуба в поздовжньому перерізі. Колеса,

виготовлені даним методом, взаємозамінні з колесами, нарізаними на зубостругальних верстатах. Цей метод продуктивніший за зубостругання.

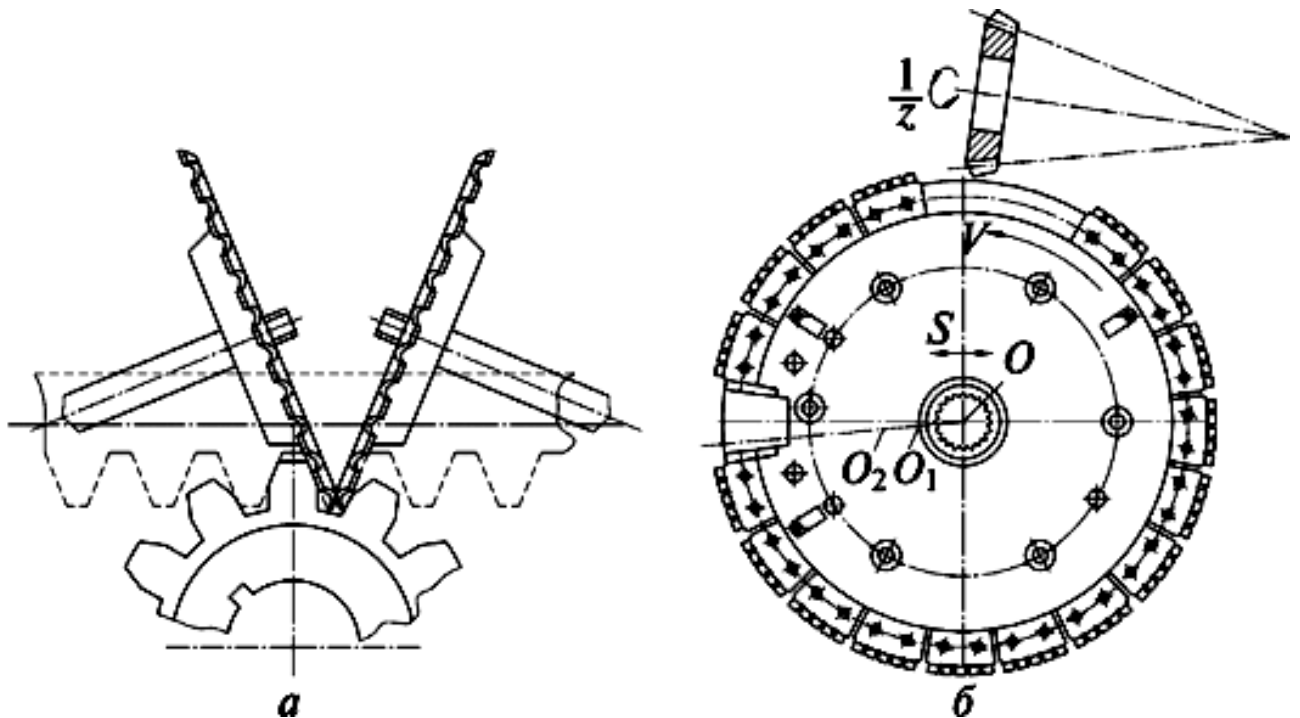


Рис. 6. Схема нарізання конічних коліс: а – фрезерування двома дисковими фрезами по методу обкатки; б – протягування круговою протяжкою

Найбільш продуктивним методом виготовлення прямозубих конічних коліс невеликого діаметра є метод нарізання зубців круговою протяжкою (рис. 6, б). При цьому методі за один оберт протяжки виконується чорнове та чистове прорізання западини, а також зняття фасок з кромek зубів.

Для збільшення точності і зменшення шорсткості проводять фінішну обробку зубів загартованих конічних коліс на спеціальних зубошліфувальних верстатах. Такі верстати за кінематикою аналогічні верстатам для нарізування зубів, але привід інструмента має велику частоту обертання. Шліфування виконують спеціально спрофільованими чашковими шліфувальними кругами зі швидкістю різання, в кілька разів більшою ніж швидкість різцевих головок.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

12

1.4. Огляд патентів в напрямку удосконалення конструкції конічного редуктора

У патенті № 1196567 А «Конічний редуктор» [22] автори Заблонський К.І., Щекін Б.М., Іванов В.В. та Окунь А.В. пропонують конструкцію редуктора у якого на валу з конічним колесом розміщення втулка та упорний підшипник, які притискаються притискним елементом, а розміщена на шийці вала-шестерні опора встановлена у втулці (рис. 7).

Мета винаходу – підвищення надійності та зменшення габаритів конічного редуктора.

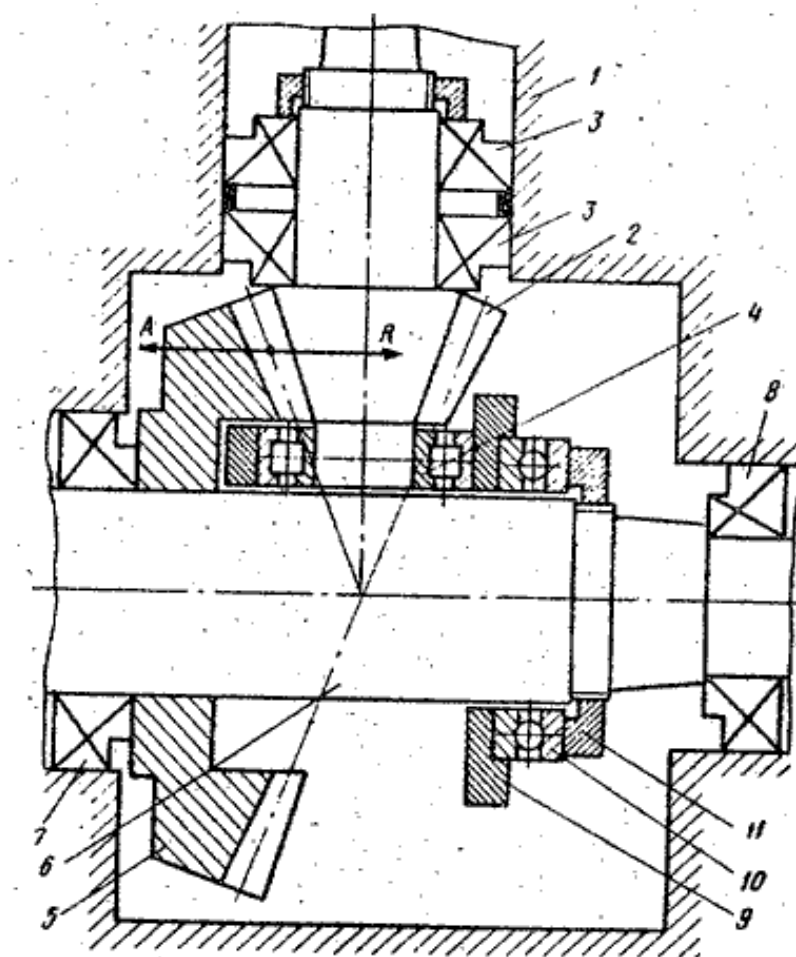


Рис. 7. Конічний редуктор, патент №1196567 [22]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

13

У патенті № 83251 UA «Одноступінчастий конічний редуктор» [23] автори Купріянов А.М. та Пілій В.М. пропонують виконувати корпус редуктора у вигляді квадратної зварної конструкції з заготовок листового металу.

До недоліків відомих редукторів можна віднести:

- литий чавунний корпус і кришку, а отже є енерго- та матеріалоємним в виробництві, а також нестійким до ударних навантажень;
- значні габарити та масу, що призводить до обмеженості використання у складі сільськогосподарських машин та агрегатів;
- складність поточного обслуговування та ремонту у разі відмов.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення відомого редуктора за рахунок зміни конструкції його корпусу, підвищити надійність, та розширити область його застосування.

Поставлена задача вирішується тим, що у редукторі, що складається з корпусу та кришки, зубчасті колеса якого розташовані на валах, що обертаються в підшипниках, згідно з корисною моделлю, корпус виконано у вигляді квадратної зварної конструкції з заготовок листового металу. Також як матеріал для виготовлення корпусу редуктора можливе використання сталейних профільних труб необхідного перерізу. Це забезпечить необхідну міцність конструкції. Герметичність редуктора в агресивних умовах використання, наприклад як привод розкидальних тарілок розкидача мінеральних добрив, забезпечують гумові ущільнювальні кільця, які встановлені в розточеннях відкритих бічних фланцях, та стакані.

Крім того, виготовлення такого корпусу редуктора дозволяє зменшити його вагу, та габаритні розміри, а використання роз'ємного, наприклад болтового з'єднання деталей редуктора з корпусом спрощує обслуговування пристрою в цілому. Виконання такого конструктивного рішення дозволить забезпечити редуктор необхідною надійністю та розширити сферу його застосування.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

На рисунку 8, Фіг. 1 – редуктор одноступінчатий конічний (загальний вигляд); Фіг. 2 – редуктор одноступінчатий конічний (в розрізі).

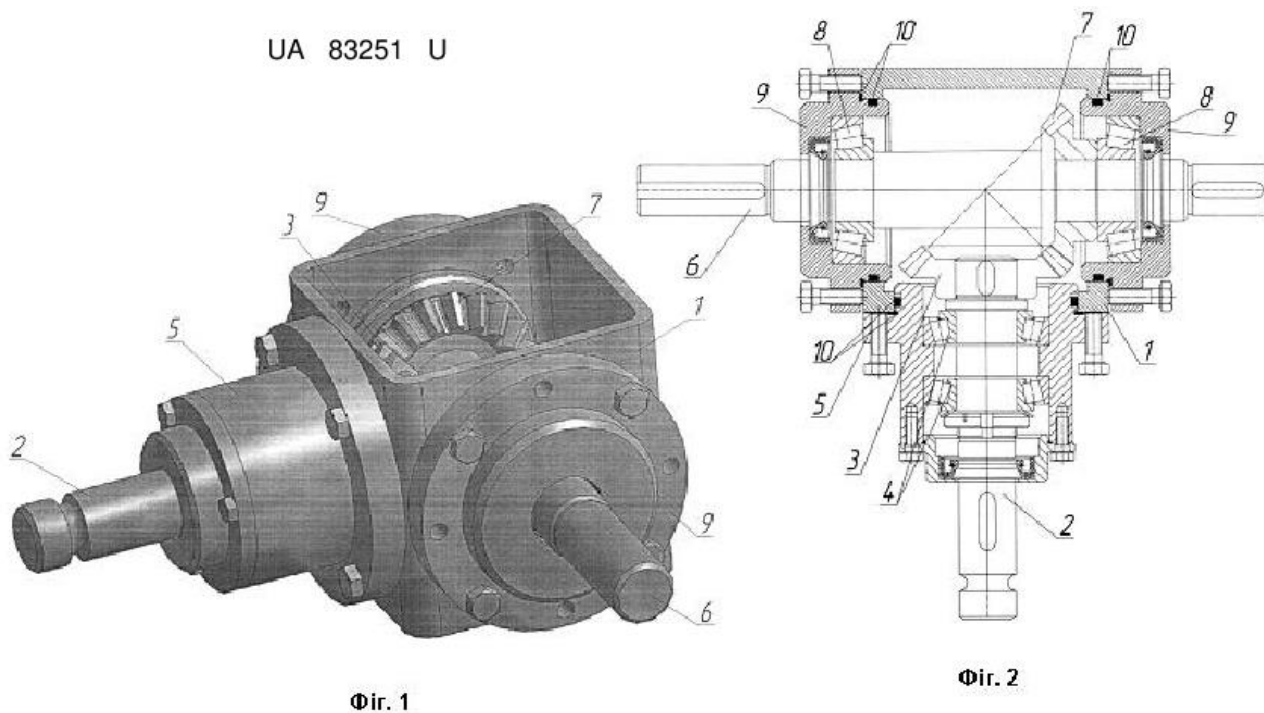


Рис. 8. Одноступінчастий конічний редуктор, патент № 83251 UA [23]

1.5. Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто конічні передачі, в саме: їх види класифікацію, області застосування, параметри. Вивчено будову конічних редукторів. Також розглянуто методи виготовлення конічних зубчастих коліс для різних типів виробництва. Проведено патентний огляд напрямків модернізації конічних редукторів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

15

2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вихідні данні для проектування конічного редуктора

За отриманим завданням вихідними даними для проектування конічного редуктора є наступні параметри:

- потужність, яку повинен розвивати привід – $P_{\text{вих}} = 2,5$ кВт;
- кутова швидкість на вихідному валу редуктора – $\omega_{\text{вих}} = 118,2$ рад/с;
- зовнішній ділительний діаметр зубчастого колеса – $d_{e2} = 125$ мм;
- навантаження постійне;
- строк служби – 10 років;
- коефіцієнт річного використання $K_p = 0,8$;
- коефіцієнт добового використання $K_d = 0,3$;
- тип виробництва редуктора – одиничне;
- схема редуктора представлена на рисунку 9 (вертикальне розміщення швидкохідного валу та горизонтальне – тихохідного);

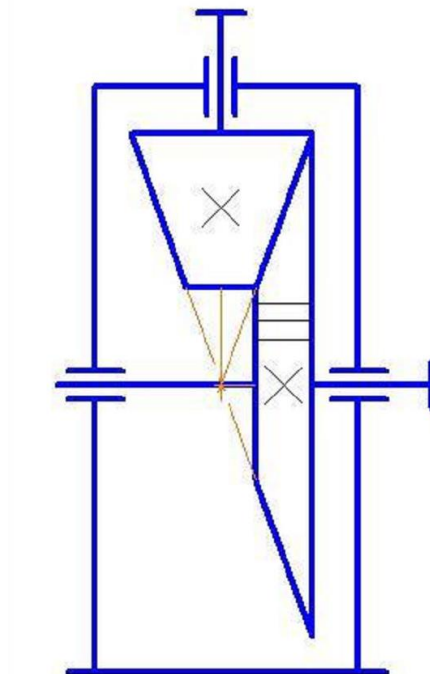


Рис. 9. Схема редуктора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

16

2.2. Вибір електродвигуна. Кінематичний та силовий розрахунок приводу

Визначаємо загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу:

$$\eta = \eta_{m1} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{m2} = 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,92$$

де: $\eta_m = 0,98$ – ККД муфти на швидкохідному валу;

$\eta_{ред} = 0,96$ – ККД кінцевого редуктора з врахуванням втрат у підшипниках;

$\eta_{пас} = 0,95$ – ККД муфти на тихохідному валу.

Потрібна потужність електродвигуна, кВт:

$$P_{роз.} = P_{вих.}/\eta = 2,5/0,92 = 2,72 \text{ кВт.}$$

Визначаємо частоту обертання приводного валу:

$$n_{вих.} = \frac{30 \cdot \omega_{вих}}{\pi} = \frac{30 \cdot 118,2}{3,14} = 1129,3 \text{ об/хв.}$$

З огляду на що рекомендоване передаточне число редуктора знаходиться в межах 1...3 (максимально 4) обираємо асинхронний електродвигун серії **4А типорозмір 100S4** [9, табл. Д2], синхронна частота обертання $n_c = 1500$ об/хв. та з номінальною потужністю $P_{дв.} \geq P_{роз.}$ ($3 \geq 2,72$).

Номінальна частота обертання валу двигуна, хв⁻¹:

$$n_{дв.} = n_c \cdot \left(1 - \frac{s}{100}\right) = 1500 \cdot \left(1 - \frac{4,4}{100}\right) = 1434 \text{ об/хв.}$$

де: $s = 4,4$ – відносне ковзання, %.

Електродвигун 4А100S4У3.

Визначаємо розрахункове передаточне число редуктора:

$$u_{роз. ред.} = \frac{n_{дв.}}{n_{вих.}} = \frac{1434}{1129,3} = 1,27$$

Із стандартного ряду передаточних відношень кінцевих редукторів [9, 10] приймаємо передаточне відношення проектного редуктора $u_{ред.} = 1,25$

Відхилення від заданого:

$$\Delta u = \frac{|u_{роз. ред.} - u_{ред.}|}{u_{ред.}} \cdot 100\% = \frac{|1,27 - 1,25|}{1,25} \cdot 100\% = 1,6\% \leq 4\%$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Визначаємо частоти обертання та кутові швидкості валів:

- на швидкохідному валу редуктора:

$$n_1 = n_{\text{дв.}} = 1434 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1434}{30} = 150,1 \text{ рад/с.}$$

- на тихохідному валу редуктора:

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\text{ред.}}} = \frac{1434}{1,25} = 1147,2 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 1147,2}{30} = 120,1 \text{ рад/с.}$$

Потужності P , кВт та обертові моменти T , Н·м:

- на швидкохідному валу редуктора:

$$P_1 = P_{\text{дв.}} \cdot \eta_{\text{м1}} = 3 \cdot 0,98 = 2,94 \text{ кВт.}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{2940}{150,1} = 19,59 \text{ Н * м.}$$

- на тихохідному валу редуктора:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{\text{ред}} = 2,94 \cdot 0,96 = 2,82 \text{ кВт.}$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{2820}{120,1} = 23,48 \text{ Н * м.}$$

Отримані параметри зведемо у таблицю 1.

Таблиця 1

Значення кінематичних та силових параметрів на валу

Номер валу	n , об/хв.	ω , рад/с.	P , кВт	T , Н * м
1	1434	150,1	2,94	19,59
2	1147,2	120,1	2,82	23,48

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі розрахунків

2.3. Розрахунок зубчастої конічної передачі редуктора

На підставі вимог технічного завдання і результатів кінематичного та силового розрахунку приводу визначаємо вихідні дані для розрахунку редуктора (табл. 2).

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку редуктора

Назва	Розмірність	Позначення	Величина
Крутний момент на колесі	Н*м	T_2	23,48
Частота обертання колеса	об/хв.	n_2	1147,2
Передаточне число		$u_{ред.}$	1,25
Тип передачі (реверсивна/нереверсивна, відкрита/закрита, прямозуба/косозуба)			Нереверсивна Закрита Прямозуба
Строк служби передачі	років	L_p	10
Коефіцієнт використання передачі протягом року		K_p	0,8
Коефіцієнт використання передачі протягом доби		K_d	0,3

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі отриманого завдання та розрахунків

Попередньо обираємо матеріал з середніми механічними характеристиками [9, табл. Д5]: для шестерні – **сталь 40Х**, термічна обробка – поліпшення, твердість **HB 269...302**; для колеса – **сталь 45**, термічна обробка – поліпшення, твердість **HB 235...262**.

Визначаємо середню твердість:

– шестерні:

$$HB_{1\text{ср.}} = \frac{269 + 302}{2} = 285$$

– колеса:

$$HB_{2\text{ср.}} = \frac{235 + 262}{2} = 248$$

Допустиме контактне напруження, МПа:

– шестерні:

$$[\sigma_H]_1 = \frac{\sigma_{HO1}}{S_{H1}} \cdot K_{HL1} = \frac{640}{1,1} \cdot 1 = 581,8 \text{ МПа.}$$

– колеса:

$$[\sigma_H]_2 = \frac{\sigma_{HO2}}{S_{H2}} \cdot K_{HL2} = \frac{566}{1,1} \cdot 1 = 514,5 \text{ МПа.}$$

де: σ_{HO} – межа контактної витривалості при базовому числі циклів навантаження:

$$\sigma_{HO1} = 2 \cdot HB_{1\text{ср.}} + 70 = 2 \cdot 285 + 70 = 640 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{HO2} = 2 \cdot HB_{2\text{ср.}} + 70 = 2 \cdot 248 + 70 = 566 \text{ МПа;}$$

S_H – коефіцієнт безпеки по [9, табл. Д6]:

$$S_{H1} = S_{H2} = 1,1$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N}} \text{ – коефіцієнт довговічності.}$$

$$N = 60 \cdot n \cdot t$$

$$t = 365 \cdot L_p \cdot K_p \cdot K_d \cdot 24 = 365 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot 0,3 \cdot 24 = 21024 \text{ год.}$$

$$N_1 = 60 \cdot n_1 \cdot t = 60 \cdot 1434 \cdot 21024 = 1,8 \cdot 10^9;$$

$$N_2 = 60 \cdot n_2 \cdot t = 60 \cdot 1147,2 \cdot 21024 = 1,4 \cdot 10^9;$$

$$N_{HO} = 30 \cdot HRC_{\text{ср.}}^{2,4};$$

$$N_{HO1} = 30 \cdot HRC_{1\text{ср.}}^{2,4} = 30 \cdot 29,9^{2,4} = 0,1 \cdot 10^6;$$

$$N_{HO2} = 30 \cdot HRC_{2\text{ср.}}^{2,4} = 30 \cdot 24,2^{2,4} = 0,06 \cdot 10^6.$$

Якщо $N > N_{HO}$, то $K_{HL} = 1$.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Допустиме напруження на згин, МПа:

– шестерні:

$$[\sigma_F]_1 = \frac{\sigma_{FO1}}{S_{F1}} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL1} = \frac{513}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 293,1 \text{ МПа.}$$

– колеса:

$$[\sigma_F]_2 = \frac{\sigma_{FO2}}{S_{F2}} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL2} = \frac{446,6}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 255,2 \text{ МПа.}$$

де: σ_{FO} – межа витривалості на згин при базовому числі циклів навантаження $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ визначається по [9, табл. Д6];

$$\sigma_{FO1} = 1,8 \cdot HB_{1cp.} = 1,8 \cdot 285 = 513 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{FO2} = 1,8 \cdot HB_{2cp.} = 1,8 \cdot 248 = 446,4 \text{ МПа;}$$

S_{F2} – коефіцієнт безпеки по [9, табл. Д6];

$$S_{F1} = S_{F2} = 1,75$$

K_{FC} – коефіцієнт, що враховує реверсивність передачі ($K_{FC} = 1$ – для нереверсивних передач);

$$K_{FL} = \sqrt[m]{\frac{4 \cdot 10^6}{N}} \text{ – коефіцієнт довговічності;}$$

Якщо $N > 4 \cdot 10^6$, то $K_{FL} = 1$.

Розрахунок на контактну міцність

Зовнішній дільний діаметр колеса, мм:

$$d_{e2} = 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_H \cdot u \cdot 10^3}{[\sigma_H]^2 \cdot \vartheta_H}} = 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{23,48 \cdot 1,35 \cdot 1,25 \cdot 10^3}{514,5^2 \cdot 0,85}} = 92,48 \text{ мм}$$

де: ϑ_H – визначається по [9, Д54] (для прямозубої передачі $\vartheta_H = \vartheta_F = 0,85$).

$$K_H = 1,2 \dots 1,5.$$

Зовнішній дільний діаметр колеса округлюють до стандартного значення, мм: 80; 100; 125.

За завданням бакалаврської роботи приймаємо $d_{e2} = 125$ мм.

Число зубів шестерні: $z_1 = 1,6 \cdot z_1'$ при HB_1 та $HB_2 \leq 350$;

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Значення z_1' визначається по графікам [9], де зовнішній діаметр шестірні
 $d_{e1} = d_{e2}/u = 125/1,25 = 100$ мм.

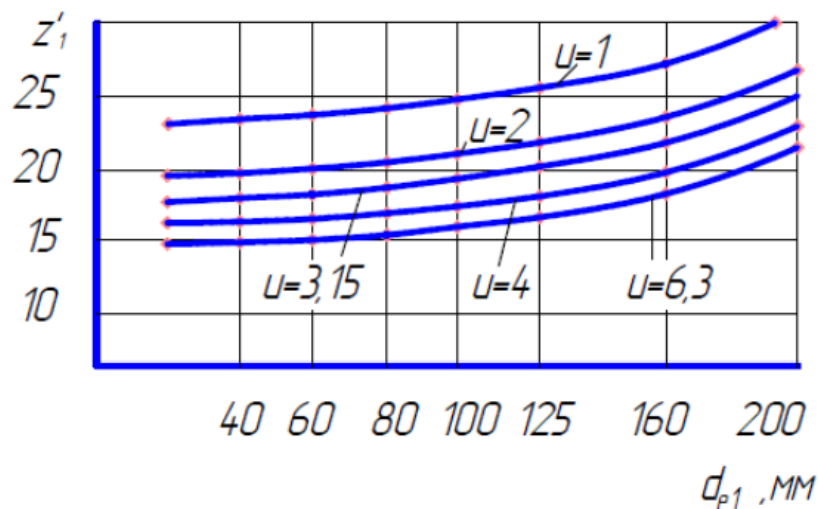


Рис. 10. Графік для визначення числа зубців прямозубої шестерні

Число зубців шестерні: $z_1 = 1,6 \cdot z_1' = 1,6 \cdot 22 = 35,2 = 36$

Число зубів колеса: $z_2 = z_1 \cdot u = 36 \cdot 1,25 = 45$

Середній коловий модуль, мм:

$$m = \frac{d_{e2} \cdot (1 - 0,5 \cdot \psi_{Re})}{z_2} = \frac{125 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,285)}{45} = 2,38 \text{ мм.}$$

де: $\psi_{Re} = 0,285$ – коефіцієнт ширини зубчастого вінця;

Зовнішній коловий модуль, мм:

$$m_e = \frac{m}{(1 - 0,5 \cdot \psi_{Re}) \cdot \cos \beta_n} = \frac{2,38}{(1 - 0,5 \cdot 0,285) \cdot \cos 0} = 2,8 \text{ мм.}$$

де: $\beta_n = 0^\circ$ – середній кут нахилу зуба, для прямозубих передач.

Приймаємо: $m_e = 3$ мм.

Фактичне передаточне число:

$$u_\phi = \frac{z_2}{z_1} = \frac{45}{36} = 1,25$$

Відхилення від заданого:

$$\Delta u = \frac{|u_\phi - u|}{u} \cdot 100\% = \frac{|1,25 - 1,25|}{1,25} \cdot 100\% = 0\% \leq 4\%$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

22

Розрахунок основних геометричних параметрів

Кут ділительного конуса, град:

– колесо:

$$\delta_2 = \arctan u_\phi = \arctan 1,25 = 51,34 \\ = 51^\circ 20' 20'';$$

– шестерня:

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2 = 90^\circ - 51,34 = 38,66 \\ = 38^\circ 39' 40''.$$

Зовнішня конусна відстань, мм:

$$R_e = 0,5 \cdot m_e \cdot \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = 0,5 \cdot 3 \cdot \sqrt{36^2 + 45^2} = 86,44 \text{ мм.}$$

Ширина зубчатого вінця, мм:

$$b = \psi_{Re} \cdot R_e = 0,285 \cdot 86,44 = 24,6 \text{ мм,} \quad \text{Приймаємо } b = 25 \text{ мм.}$$

Зовнішній ділительний діаметр, мм:

– шестерня:

$$d_{e1} = m_e \cdot z_1 = 3 \cdot 36 = 108 \text{ мм.}$$

– колесо:

$$d_{e2} = m_e \cdot z_2 = 3 \cdot 45 = 135 \text{ мм.}$$

Зовнішня висота головки зуба, мм:

– шестерня:

$$h_{ae1} = (1 + x_1) \cdot m_e = (1 + 0,1) \cdot 3 \\ = 3,3 \text{ мм.}$$

– колесо:

$$h_{ae2} = (1 - x_2) \cdot m_e = (1 - 0,1) \cdot 3 \\ = 2,7 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт зміщення інструменту x_1 та x_2 обирається з [9, табл. Д55].

Зовнішня висота ніжки зуба, мм:

– шестерня:

$$h_{fe1} = (1,2 - x_1) \cdot m_e = (1,2 - 0,1) \cdot 3 \\ = 3,3 \text{ мм}$$

– колесо:

$$h_{fe2} = (1,2 + x_2) \cdot m_e = (1,2 + 0,1) \cdot 3 \\ = 3,9 \text{ мм}$$

Зовнішня висота зуба, мм:

$$h_e = 2,2 \cdot m_e = 2,2 \cdot 3 = 6,6 \text{ мм.}$$

Кут ніжки зуба, град:

– шестерня:

$$\theta_{f1} = \arctan \frac{h_{fe1}}{R_e} = \arctan \frac{3,3}{86,44} \\ = 2,186 = 2^\circ 11' 10''.$$

– колесо:

$$\theta_{f2} = \arctan \frac{h_{fe2}}{R_e} = \arctan \frac{3,9}{86,44} \\ = 2,583 = 2^\circ 35'.$$

Кут головки зуба, град:

– шестерня:

$$\theta_{a1} = \theta_{f2} = 2^\circ 35'.$$

– колесо:

$$\theta_{a2} = \theta_{f1} = 2^\circ 11'10''.$$

Зовнішній діаметр вершин зубів, мм:

– шестерня:

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2 \cdot h_{ae1} \cdot \cos \delta_1 = 100 + 2 \cdot 3,3 \cdot \cos 38,66 = 105,15 \text{ мм.}$$

– колесо:

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2 \cdot h_{ae2} \cdot \cos \delta_2 = 125 + 2 \cdot 2,7 \cdot \cos 51,34 = 128,37 \text{ мм.}$$

Перевіряємо придатність заготовок коліс

Діаметр заготовки шестерні, мм:

$$D_{\text{заг}} = d_{ae1} + 6 = 105,15 + 6 = 111,15 \text{ мм} \leq D_{\text{гран}} = 125 \text{ мм.}$$

Товщина заготовки колеса, мм:

– обід:

$$S_{\text{заг}} = 8 \cdot t = 8 \cdot 2,5 = 20 \text{ мм} \leq S_{\text{гран}} = 80 \text{ мм.}$$

– диск:

$$C_{\text{заг}} = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ мм} \leq S_{\text{гран}} = 80 \text{ мм.}$$

Перевірочний розрахунок на контактну міцність

Колова швидкість, м/с:

$$V = \frac{\pi \cdot n_2 \cdot d_2}{60000} = \frac{3,14 \cdot 1147,2 \cdot 125}{60000} = 7,5 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$K_H = K_{HV} \cdot K_{H\beta} = 1,26 \cdot 1,02 = 1,28$$

де: $K_{HV} = 1,26$ – коефіцієнт динамічного навантаження обирається з [9, табл. Д57]. Ступінь точності передачі вибирається з [9, табл. Д56].

$K_{H\beta} = 1,02$ – коефіцієнт концентрації навантаження. Обирається з графіку [9].

Контактне напруження, МПа:

$$\sigma_H = \frac{340}{R_e - 0,5 \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_H \cdot (u_\phi^2 + 1)^{\frac{3}{2}}}{b \cdot \vartheta_H \cdot u_\phi^2}} = \frac{340}{86,44 - 0,5 \cdot 25} \times$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\times \sqrt{\frac{23,48 \cdot 10^3 \cdot 1,28 \cdot (1,25^2 + 1)^{\frac{3}{2}}}{25 \cdot 0,85 \cdot 1,25^2}} = 4,6 \cdot \sqrt{\frac{123283,19}{33,2}} = 280,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_H = 280,3 \text{ МПа} \leq [\sigma_H] = 514,5 \text{ МПа}.$$

Перевірочний розрахунок міцності зубів коліс на згин

Еквівалентне число зубів:

– шестерня:

$$z_{E1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{36}{\cos 38,66} = 46,1$$

– колесо:

$$z_{E2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = \frac{45}{\cos 51,34} = 72$$

Коефіцієнт форми зуба:

– шестерня:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 3,47 + \frac{13,2}{z_{E1}} - \frac{27,9 \cdot x_1}{z_{E1}} + 0,092 \cdot x_1^2 \\ &= 3,47 + \frac{13,2}{46,1} - \frac{27,9 \cdot 0,1}{46,1} + 0,092 \cdot 0,1^2 \\ &= 3,47 + 0,2863 - 0,0605 + 0,0009 = 3,6967 \end{aligned}$$

– колесо:

$$\begin{aligned} Y_2 &= 3,47 + \frac{13,2}{z_{E2}} - \frac{27,9 \cdot x_2}{z_{E2}} + 0,092 \cdot x_2^2 \\ &= 3,47 + \frac{13,2}{72} - \frac{27,9 \cdot (-0,1)}{72} + 0,092 \cdot (-0,1)^2 \\ &= 3,47 + 0,1833 + 0,039 - 0,0009 = 3,6914 \end{aligned}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$K_F = K_{FV} * K_{F\beta} = 1,62 * 1,03 = 1,67$$

де: $K_{FV} = 1,62$ – коефіцієнт динамічного навантаження обирається з [9, табл. Д57]. Ступінь точності передачі вибирається з [9, табл. Д56].

$K_{F\beta} = 1 + (K_{H\beta} - 1) \cdot 1,5 = 1 + (1,02 - 1) \cdot 1,5 = 1,03$ – коефіцієнт концентрації навантаження.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруження при згині, МПа:

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot T \cdot K_F \cdot Y}{d \cdot b \cdot \vartheta_F \cdot m}$$

$$\sigma_{F1} = \frac{2 \cdot 19,59 \cdot 10^3 \cdot 1,67 \cdot 3,6967}{100 \cdot 25 \cdot 0,85 \cdot 2,57} = 44,3 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{2 \cdot 23,48 \cdot 10^3 \cdot 1,67 \cdot 3,6914}{125 \cdot 25 \cdot 0,85 \cdot 2,57} = 42,4 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F1} = 44,3 \text{ МПа} \leq [\sigma_{F1}] = 293,1 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{F2} = 42,4 \text{ МПа} \leq [\sigma_{F2}] = 255,2 \text{ МПа.}$$

2.4. Навантаження валів редуктора

Сили в зачепленні:

– колова сила на шестерні і колесі, Н:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 19,59 \cdot 10^3}{100} = 391,8 \text{ Н.}$$

– радіальна сила на шестерні і осьова сила на колесі, Н:

$$F_{r1} = F_{a2} = F_{t1} \cdot \tan \alpha \cdot \cos \delta_1 = 391,8 \cdot \tan 20^\circ \cdot \cos 38,66 = 111,4 \text{ Н.}$$

– осьова сила на шестерні і радіальна сила на колесі, Н:

$$F_{a1} = F_{r2} = F_{t1} \cdot \tan \alpha \cdot \sin \delta_1 = 391,8 \cdot \tan 20^\circ \cdot \sin 38,66 = 89,1 \text{ Н.}$$

де: d_1 – середній ділительний діаметр шестерні;

δ_1 – кут ділительного конуса;

$\alpha = 20^\circ$ – кут зачеплення.

– сила тиску на швидкохідний вал від з'єднувальної муфти, Н:

$$F_{m1} = 125 \cdot \sqrt{T_1} = 125 \cdot \sqrt{19,59} = 553,3 \text{ Н.}$$

– сила тиску на тихохідний вал від з'єднувальної муфти, Н:

$$F_{m2} = 125 \cdot \sqrt{T_2} = 125 \cdot \sqrt{23,48} = 605,7 \text{ Н.}$$

Сили тиску на вал від з'єднувальної муфти F_m рекомендується направляти протилежно F_t .

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.5. Проектний розрахунок валів

Визначаємо діаметри ступенів швидкохідного валу (вала-шестерні).

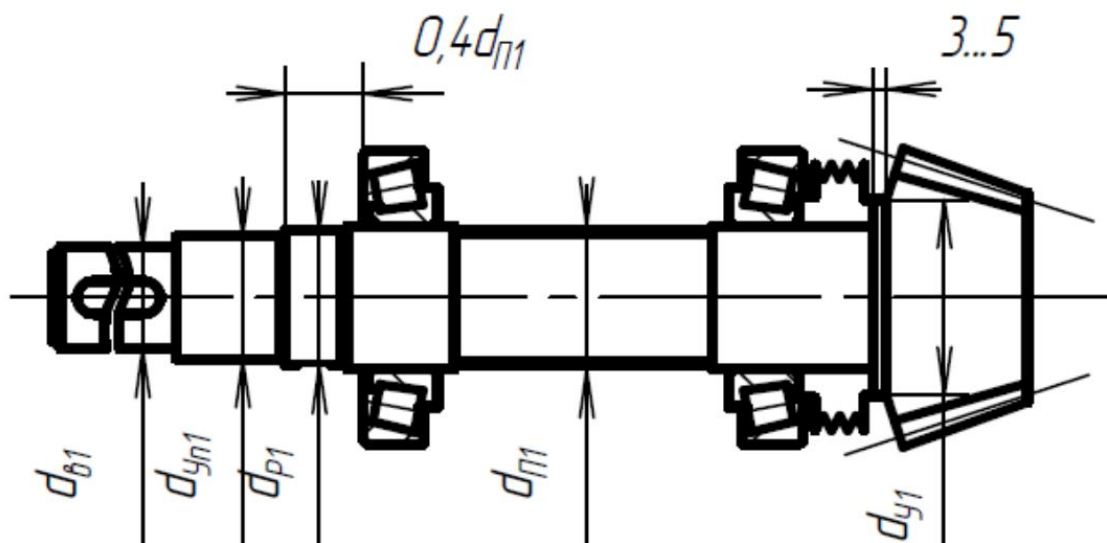


Рис. 11. Типова конструкція швидкохідного валу кінцевого редуктора

Діаметр вихідного кінця, мм:

$$d_{в1} = \sqrt[3]{\frac{T_1}{0,2 \cdot [\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{19,59 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20 \dots 50}} = 16,98 \dots 12,51 \text{ мм.}$$

де: $[\tau]_k = 20 \dots 50$ МПа – допустиме напруження при крученні.

Приймаємо: $d_{в1} = 16$ мм.

Діаметр вала під ущільнення, мм:

$$d_{уп1} = d_{в1} + (4 \dots 10) = 16 + 6 = 22 \text{ мм.}$$

Діаметр вала під різьбу $d_{р1} = M24 \times 1,5$ мм, визначається з [9, табл. 4.3].

Діаметр валу під підшипник, мм:

$$d_{п1} = d_{р1} + (2 \dots 4) = 24 + 1 = 25 \text{ мм.}$$

Діаметр упорної ступені вала, мм:

$$d_{у1} = d_{п1} + (4 \dots 10) = 25 + 7 = 32 \text{ мм.}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

27

Визначаємо діаметри ступенів тихохідного валу.

Вибираємо матеріал для тихохідного валу редуктора – сталь **40Х**, термообробка – поліпшення. Твердість *HV* 269 ... 302 [9, табл. Д5].

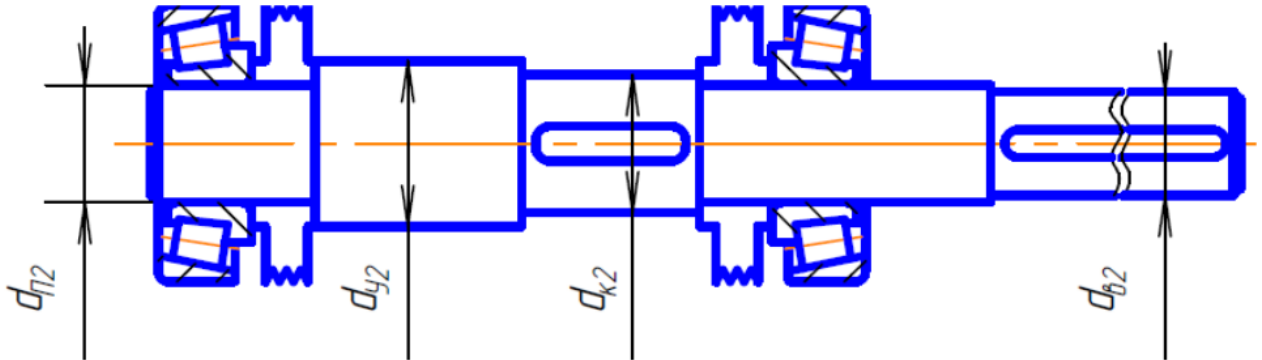


Рис. 12. Типова конструкція тихохідного валу кінцевого редуктора

Діаметр вихідного кінця, мм:

$$d_{в2} = \sqrt[3]{\frac{T_2}{0,2 \cdot [\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{23,48 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20 \dots 50}} = 18,04 \dots 13,29 \text{ мм.}$$

Приймаємо: $d_{в2} = 20 \text{ мм.}$

Діаметр валу під підшипник, мм:

$$d_{п2} = d_{в2} + 2 \cdot t_2 = 18 + 2 \cdot 2 = 22 \text{ мм.}$$

де $t_2 = 2 \text{ мм}$ – висота буртика вала [9, рис. 3.16].

Приймаємо: $d_{п2} = 25 \text{ мм.}$

Діаметр вала під колесо, мм:

$$d_{к2} = d_{п2} + 2 \cdot t_2 = 25 + 2 \cdot 2 = 29 \text{ мм. Приймаємо: } d_{к2} = 30 \text{ мм.}$$

Діаметр упорної ступені вала, мм:

$$d_{y2} = d_{к2} + 2 \cdot t_2 = 30 + 2 \cdot 2 = 34 \text{ мм.}$$

2.6. Конструктивна компоновка редуктора

Попередньо вибираємо роликові конічні радіально-упорні підшипники [9, табл. Д28]. Параметри підшипників середньої (легкої) серії вибираємо по діаметру $d_{п1}$ і $d_{п2}$ [9, табл. Д32] і заносимо їх у таблицю 3.

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{89,1}{111,4} = 0,8; \quad \frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{111,4}{89,1} = 1,2;$$

Таблиця 3

Параметри підшипників

Вал	Підшипники					
	Позначення	$d \times D \times B(T)$, мм	C_r , кН	C_o , кН	α , град	e
Ш	7205	25x52x16,25	24,0	17,5	12 ... 18°	0,36
Т	7205	25x52x16,25	24,0	17,5	12 ... 18°	0,36

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі ГОСТ 333-79

Обираємо змащення підшипників швидкохідного валу пластичним мастильним матеріалом, так як один з підшипників винесено в середину стакану.

Відстані a_1, a_2 від торця підшипника швидкохідного валу до точки докладання його радіальної реакції визначаються за формулою:

$$a = \frac{T}{2} + \frac{(D + d) \cdot e}{6};$$

Так як підшипники на тихохідному валу та швидкохідному валу однакові:

$$a_1 = a_2 = \frac{16,25}{2} + \frac{(25 + 52) \cdot 0,36}{6} = 12,745 \text{ мм.}$$

Приймаємо відстань від торця підшипників швидкохідного валу до внутрішньої стінки корпусу редуктора $\Delta_3 = 10$ мм. для встановлення маслозатримуючих кілець.

Зазор між торцем маточини і внутрішньою стінкою корпусу, мм:

$$\Delta_1 = 1,2 \cdot \delta = 1,2 \cdot 8 = 9,6 = 10 \text{ мм.}$$

де: $\delta = 0,05 \cdot R_e + 1 = 0,05 \cdot 80,21 + 1 = 5$ мм – товщина стінки корпусу редуктора ($\delta \geq 8$ мм). Приймаємо $\delta = 10$ мм.

Зазор між колесом і внутрішньою стінкою корпусу, мм:

$$\Delta_2 = \delta = 10 \text{ мм.}$$

Конічну шестерню виконуємо окремою деталлю і з'єднуємо з валом через шпонку. Конструктивні розміри конічного колеса (рис. 13) наведено в таблиці 4. Конструктивні розміри корпусу редуктора розраховані у таблиці 5. В основі корпусу робимо отвори під вказівник рівня масла і зливну пробку. Вказівник рівня масла і зливну пробку встановлюємо з прокладками з маслостійкої гуми.

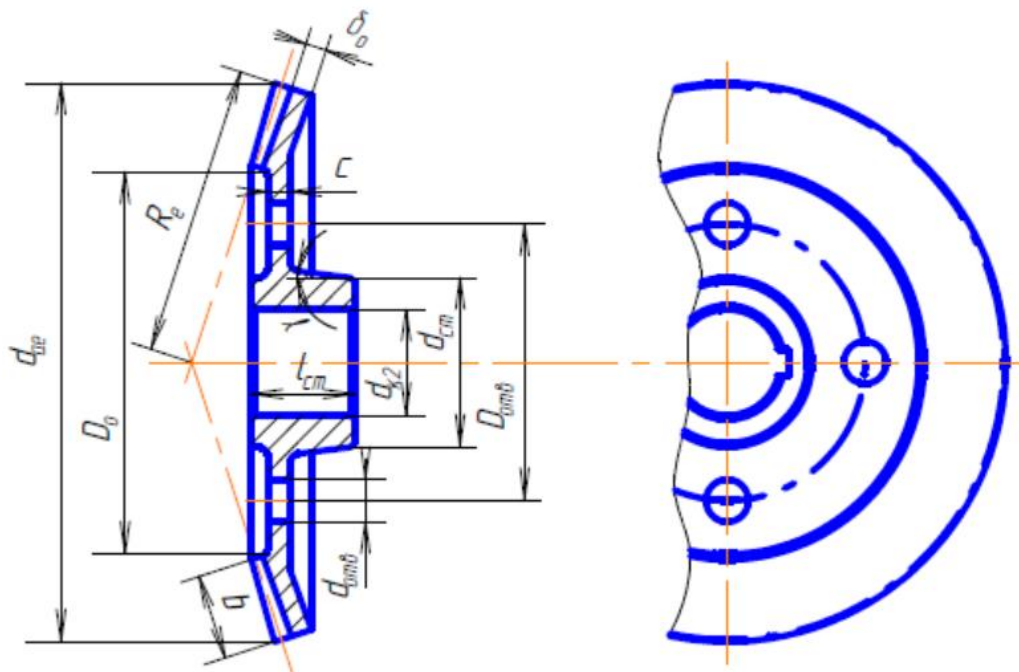


Рис. 13. Конструкція конічного колеса

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

30

Таблиця 4

Конструктивні розміри конічного колеса

Параметр	Формули	Величина, мм
Діаметр маточини сталевих коліс	$d_{\text{ст}} \approx 1,6 \cdot d_{\text{к2}} = 1,6 \cdot 29$	48
Довжина маточини	$l_{\text{ст}} \approx (1,2 \dots 1,5) \cdot d_{\text{к2}} = (1,2 \dots 1,5) \cdot 29$ $= 34,8 \dots 43,5$	38
Товщина обода	$\delta_0 = 2,5 \cdot m_e = 2,5 \cdot 3$	8
Ширина обода	$b_0 = \frac{\delta_0}{2} = \frac{8}{2}$	4
Товщина диска	$C = (0,2 \dots 0,3) \cdot b = (0,2 \dots 0,3) \cdot 20 = 4 \dots 6$	6
Діаметр центрального кола	$D_{\text{отв}} = 0,5 \cdot (D_0 + d_{\text{ст}}) = 0,5 \cdot (90 + 48)$	69
Діаметр отворів	$d_{\text{отв}} \approx \frac{D_0 - d_{\text{ст}}}{4} = \frac{90 - 48}{4}$	11
Фаска	$n = 0,5 \cdot m = 0,5 \cdot 2,5$	1,5
Радіуси заокруглень і уклони	$R \geq 10 \text{ мм}, \gamma \geq 7^\circ$	

Джерело: узагальнено та побудовано автором

Таблиця 5

Конструктивні розміри корпусу редуктора

Параметр	Формули	Величина, мм
Товщина стінки корпусу і кришки редуктора	$\delta = 0,05 \cdot R_e + 1 = 0,05 \cdot 80,21 + 1 = 5;$ $\delta_1 = 0,04 \cdot R_e + 1 = 0,04 \cdot 80,21 + 1 = 4,2;$ $\delta \geq 8 \text{ мм}, \delta_1 \geq 8 \text{ мм}$	10 8
Товщина верхнього пояса (фланця) корпусу	$b = 1,5 \cdot \delta = 1,5 \cdot 10 = 15$	15
Товщина нижнього пояса (фланця) кришки корпусу	$b_1 = 1,5 \cdot \delta_1 = 1,5 \cdot 8 = 12$	12
Товщина нижнього пояса корпусу (без бобишки)	$p = 2,35 \cdot \delta = 2,35 \cdot 10 = 23,5$	23,5
Товщина ребер основи корпусу	$m = (0,85 \dots 1) \cdot \delta = (0,85 \dots 1) \cdot 10$ $= 8,5 \dots 10$	10
Товщина ребер кришки	$m_1 = (0,85 \dots 1) \cdot \delta_1 = (0,85 \dots 1) \cdot 8$ $= 6,8 \dots 8$	8
Діаметр фундаментних	$d_1 = 0,072 \cdot R_e + 12 = 0,072 \cdot 80,21 + 12$ $= 17,8$	18

Параметр	Формули	Величина, мм
болтів (їх число ≥ 4)		
Діаметр болтів: - у підшипників; - що з'єднують основу корпусу з кришкою	$d_2 = (0,7 \dots 0,75) \cdot d_1 = (0,7 \dots 0,75) \cdot 18$ $= 12,6 \dots 13,5;$ $d_3 = (0,5 \dots 0,6) \cdot d_1 = (0,5 \dots 0,6) \cdot 18$ $= 9 \dots 10,8;$	14 10
Розміри, що визначають положення болтів d_2	$e = (1 \dots 1,2) \cdot d_2 = (1 \dots 1,2) \cdot 14$ $= 14 \dots 16,8;$ $q \geq 0,5 \cdot d_2 + d_4 = 0,5 \cdot 14 + 10 = 17$ d_4 – кріплення кришки підшипника	15 20 10
Діаметр отвору гнізда підшипника	$D_{\text{п}}$ – по зовнішньому діаметру підшипника або стакана	

Джерело: узагальнено та побудовано автором

Між торцями підшипників і упорними буртиками валів (маточиною колеса) встановлюємо маслоутримуючі кільця. Підшипники швидкохідного валу розміщуємо в стакані (рис. 14, табл. 6). Взаємне розташування підшипників фіксуємо розпірною втулкою, кільцем і шліцьовою гайкою зі стопорною шайбою [9, табл. Д59, Д60].

Встановлюємо глухі кришки підшипників [9, табл. 3.14] і наскрізні з ущільненням валу [9, табл. Д35]. Зовнішні кільця підшипників фіксуємо торцевими виступами кришок через розпірні кільця. Під кришки підшипників і стакан встановлюємо металеві прокладки для регулювання.

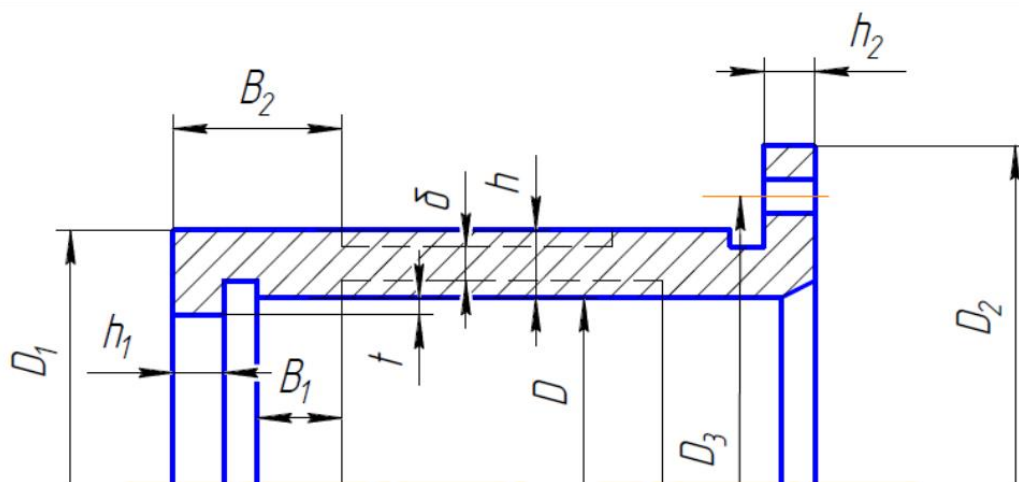


Рис. 14. Конструкція стакана

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

32

Конструктивні розміри стакану

Параметр	Формули	Величина, мм
Товщина стінки	$\delta = h - (1 \dots 1,5) = 6 - 1 = 5$ $h=6\dots 8$ при $50 < D < 80$	5
Товщина упорного буртика	$h_1 = h = 6$	7
Товщина фланця	$h_2 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 6 = 7,2$	8
Висота упорного буртика	$t = (1,2 \dots 1,5) \cdot r = (1,2 \dots 1,5) \cdot 1,5$ $= 1,8 \dots 2,25$	2
Ширина опорної поверхні	$B_1 \approx 1,2 \cdot B = 1,2 \cdot 16,25 = 19,5$ $B_2 \approx (1,3 \dots 1,5) \cdot B$ $= (1,3 \dots 1,5) \cdot 16,25$ $= 21,125 \dots 24,375$ B – ширина підшипника	19,5 22

Джерело: узагальнено та побудовано автором

2.7. Змащення редуктора

Для зубчастого зачеплення застосовується картерне змащення при коловій швидкості $V \leq 12$ м/с. Необхідно щоб зуби конічного колеса або шестерні були повністю занурені в масляну ванну. Об'єм масляної ванни визначається з розрахунку 0,4 ... 0,8 л масла на 1 кВт потужності, що передається. Сорт масла вибираємо з табл. Д38.

$$V_m = (0,4 \dots 0,8) \cdot 2,94 = 1,18 \dots 2,35 \text{ л.}$$

За [9, табл. Д38] при $V=6,71$ м/с, та $\sigma_H = 344$ МПа, кінематична в'язкість мастила 22 мм²/с.

Обираємо мастило **індустріальне И-20А** з кінематичною в'язкістю 17...23 мм²/с.

Підшипники змащуються пластичним (консистентним) мастилом, що закладається в підшипниковий вузол при складанні і повинно займати 2/3 вільного об'єму при $n \leq 1500$ об/хв. та до 1/3...1/2 вільного об'єму при $n > 1500$ об/хв.. Сорт мастила – солідол жировий УС-1

2.8. Виконання 3Д моделі редуктора

На основі розрахункових даних попередніх пунктів виконуємо 3Д конструювання конічного редуктора у програмі SolidWorks.

Загальний вигляд спроектованого конічного редуктора показано на рисунку 15, редуктор у розрізі рисунок 16.

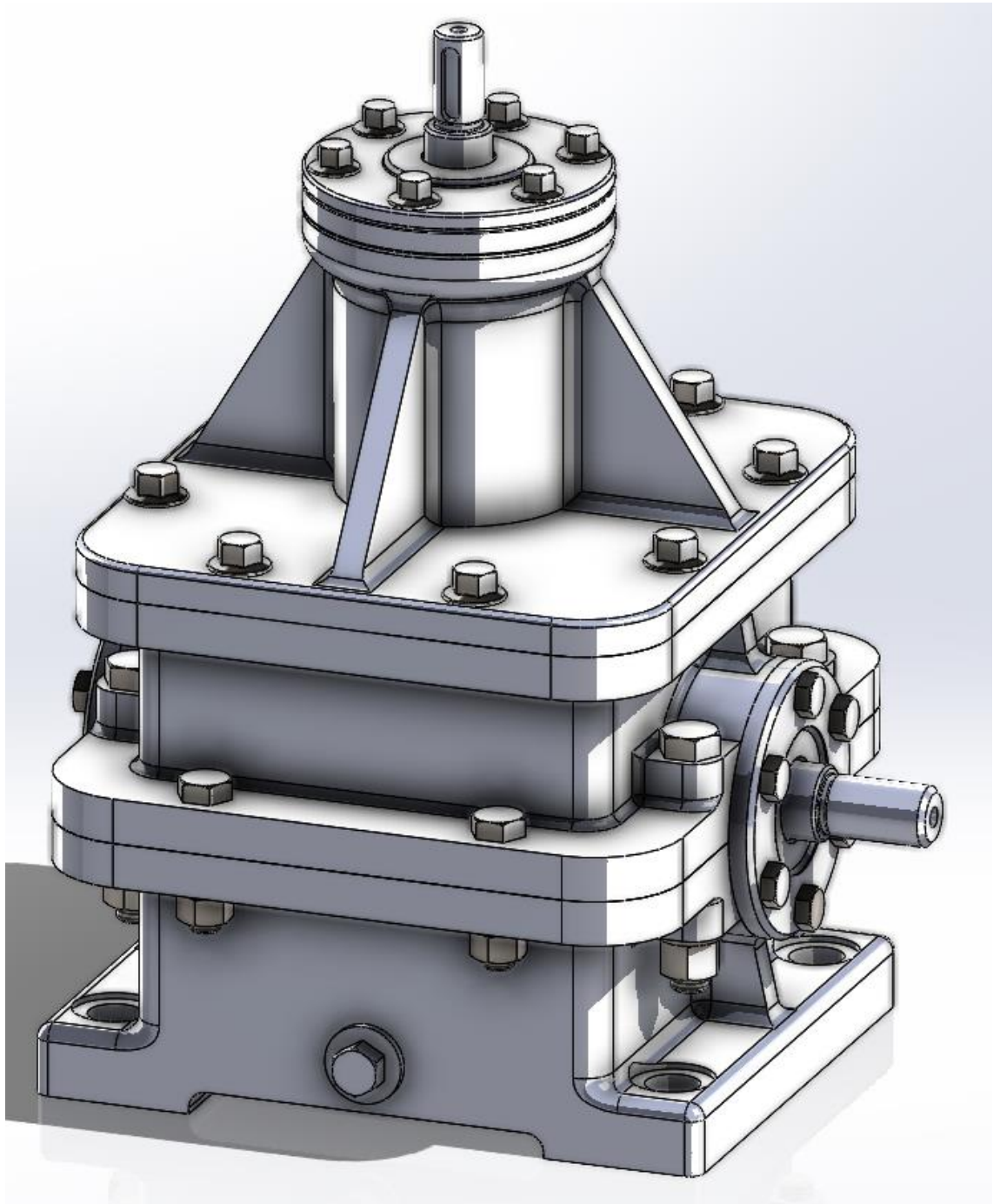


Рис. 15. 3Д модель спроектованого конічного редуктора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

34

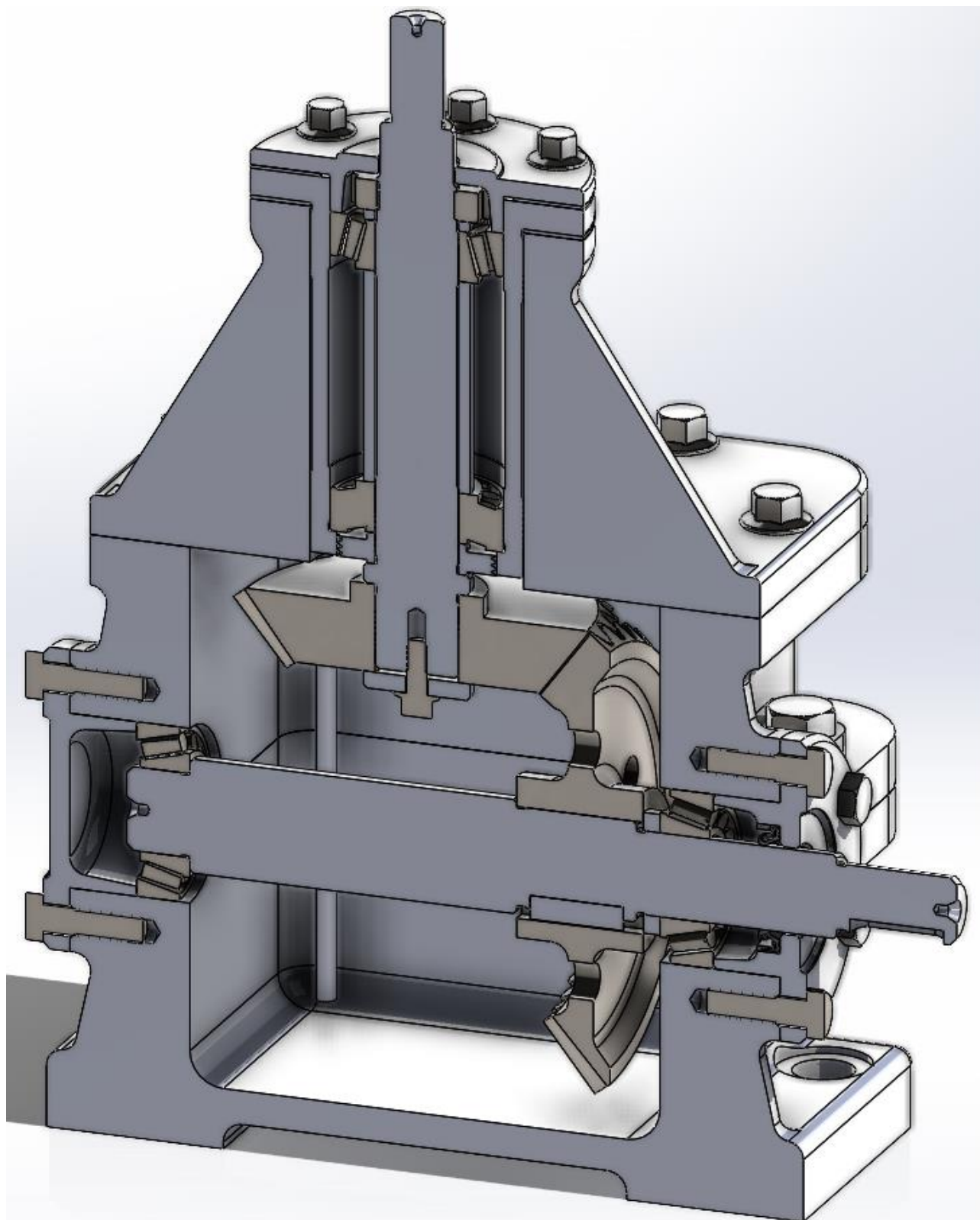


Рис. 16. 3Д модель у розрізі спроектованого конічного редуктора

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

35

2.9. Модернізація конструкції редуктора

У першому розділі цієї роботи було проведено огляд патентів та визначенні напрямки модернізації конструкції конічних редукторів. Увагу звернено на патент № 83251 UA «Одноступінчастий конічний редуктор» [23] в якому пропонують виконувати корпус редуктора у вигляді квадратної зварної конструкції з заготовок листового металу.

Завданням бакалаврської роботи є проектування конічного редуктора для одиничного виробництва, тому доцільно буде використати запропоновану патентом конструкцію корпусу редуктора, яка виготовляється зварюванням листового металу або профільних труб. Це дозволить знизити матеріалоємність виробництва корпусу та енергозатрати; зменшити габарити та масу корпусу; спростити поточне обслуговування та ремонт у разі відмов.

Виконаємо модернізований корпус з наступних частин:

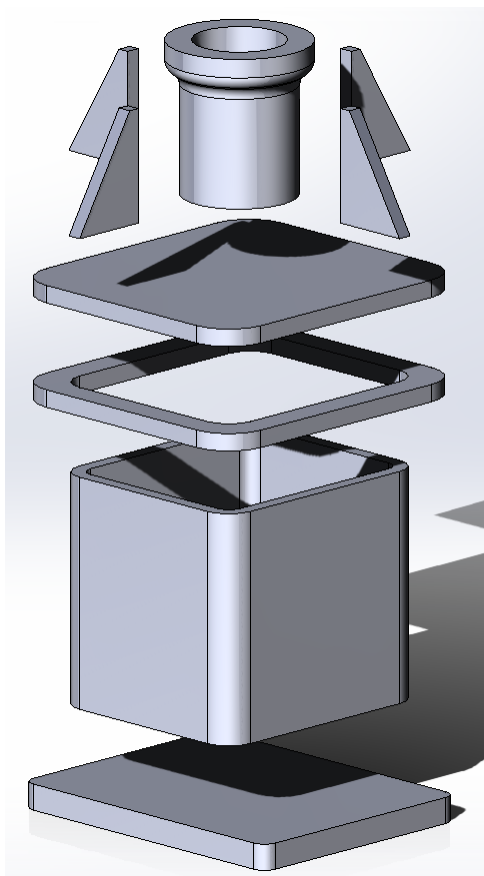


Рис. 17. Частини для зварювання корпусу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

36

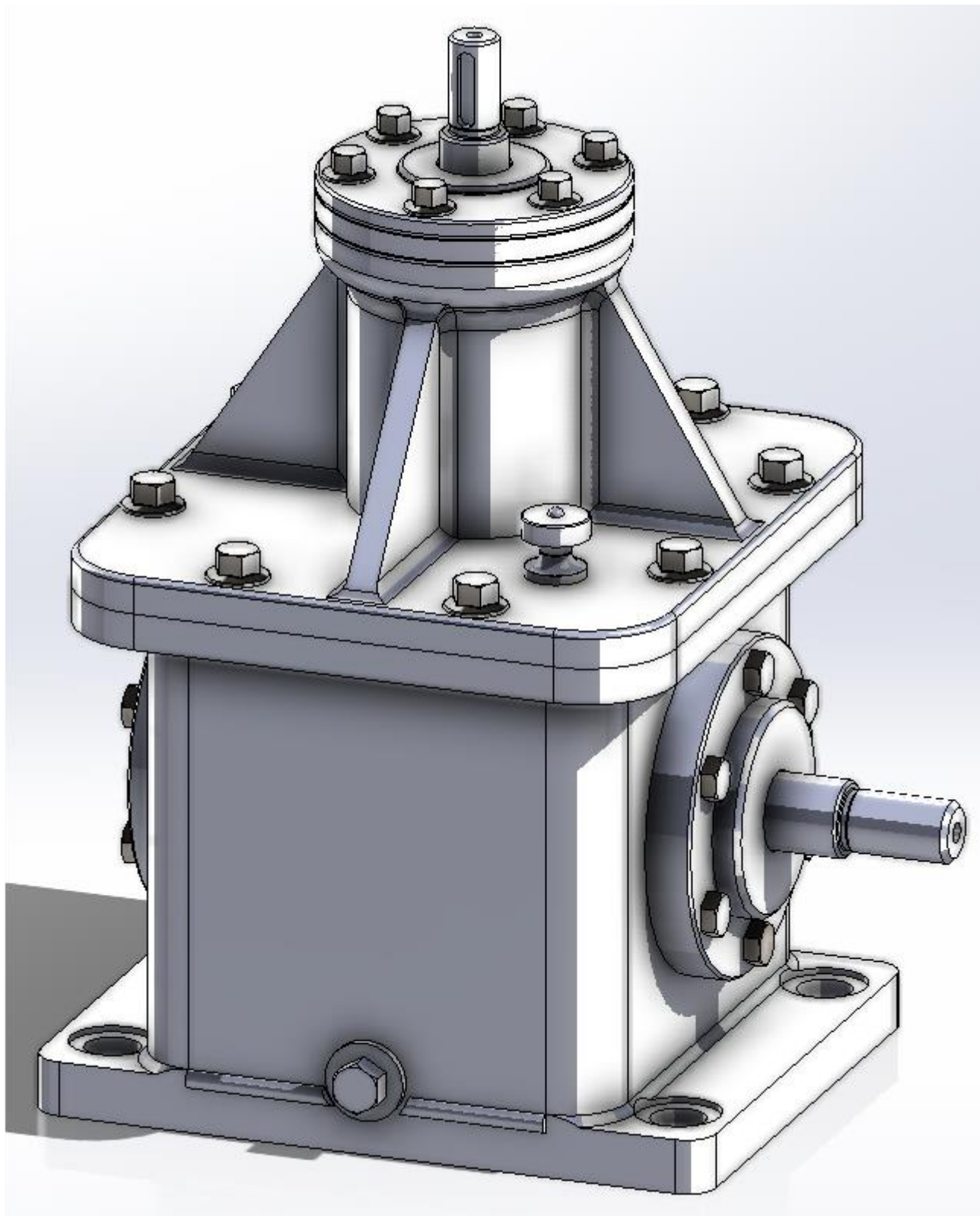


Рис. 18. 3Д модель спроектованого конічного редуктора з модернізованим зварним корпусом

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

37

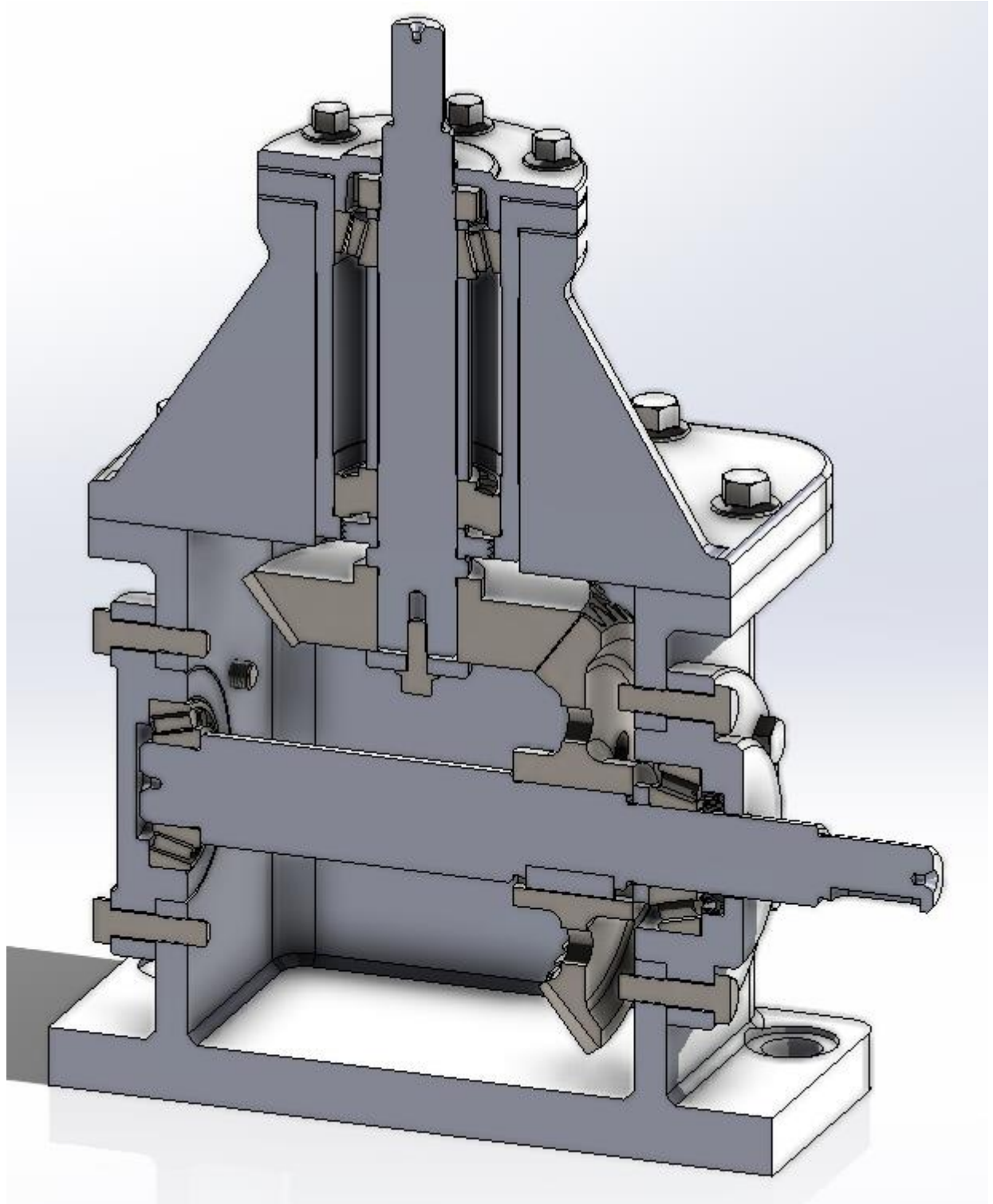


Рис. 19. 3Д модель у розрізі спроектованого конічного редуктора з модернізованим зварним корпусом

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

38

2.10. Розрахунок валів на міцність

Перевірку валів на міцність виконаємо за допомогою програмного продукту SolidWorks додатку Simulation. У даному додатку наявні інструменти для виконання статичного, динамічного, лінійного та нелінійного аналізу.

Для проведення статичного аналізу валів необхідно визначити обмеження та навантаження, які прикладаються до досліджуваних валів.

Також необхідно визначити матеріал з яких виготовляються вали. У нашому випадку прийнято Сталь 40Х. Так як у бібліотеці немає наявних матеріалів по ГОСТ, то створюємо власний матеріал з характеристиками [11, 12], які наведені на рисунку 20.

Свойства материала

Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели: Линейный упругий изотр ☐ Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: СИ - Н/мм² (МПа)

Категория: Сталь

Имя: Сталь 40Х

Критерий разрушения по умолчанию: Максимальное напряжение

Описание: -

Источник:

Sustainability: Не определено Выбрать...

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	206000	Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	0.26	Не применимо
Модуль сдвига	85000	Н/мм ²
Массовая плотность	7826	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	570	Н/мм ²
Предел прочности при сжатии		Н/мм ²
Предел текучести	315	Н/мм ²
Коэффициент теплового расширения	1.19e-05	/К
Теплопроводность	48	Вт/(м·К)
Удельная теплоемкость	473	Дж/(кг·К)
Коэффициент демпфирования материала		Не применимо

Рис. 20. Характеристики матеріалу

Сили, які прикладаються до валів розраховані вище у пункті 2.4.

Швидкохідний вал

У дослідженні швидкохідного валу використовувалися кріплення на циліндричних гранях: верхня опора – обмеження в осьовому, радіальному та тангенціальному напрямках; нижня опора – обмеження в осьовому та радіальному напрямках.

Навантаження, які діють на вал: крутний момент – $T=19,59$ Нм; осьова сила від зубчастого колеса – $F_{a1} = 89,1$ Н; радіальна сила від зубчастого колеса – $F_{r1} = 111,4$ Н; сила тиску на тихохідний вал від з'єднувальної муфти – $F_{m1} = 553,3$ Н.

При визначенні сил реакцій в опорах та найбільшого переміщення крутний момент замінюємо тангенціальною силою $F_{t1} = 391,8$ Н.

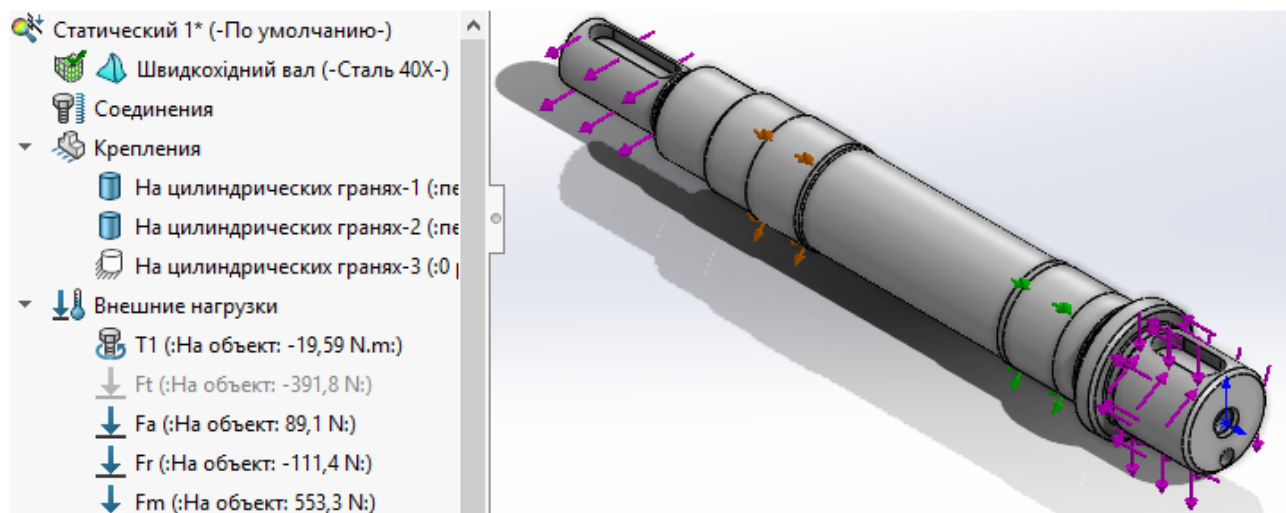


Рис. 21. Обмеження та навантаження, які діють на швидкохідний вал

В ході виконання досліджень були отримані наступні результати для швидкохідного валу:

- максимальні навантаження на вал по von Mises не перевищують 117,7 МПа (рис. 22, а);
- мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 2,7, що є допустимим значенням для валів, які використовуються в редукторах (рис. 22, б);

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

40

- максимальне переміщення валу – 0,017 мм, яке знаходиться в місці кріплення муфти (рис. 22, в);
- результуючі реакції в опорах: верхня – 559 Н, нижня – 422 Н (рис. 22, г).

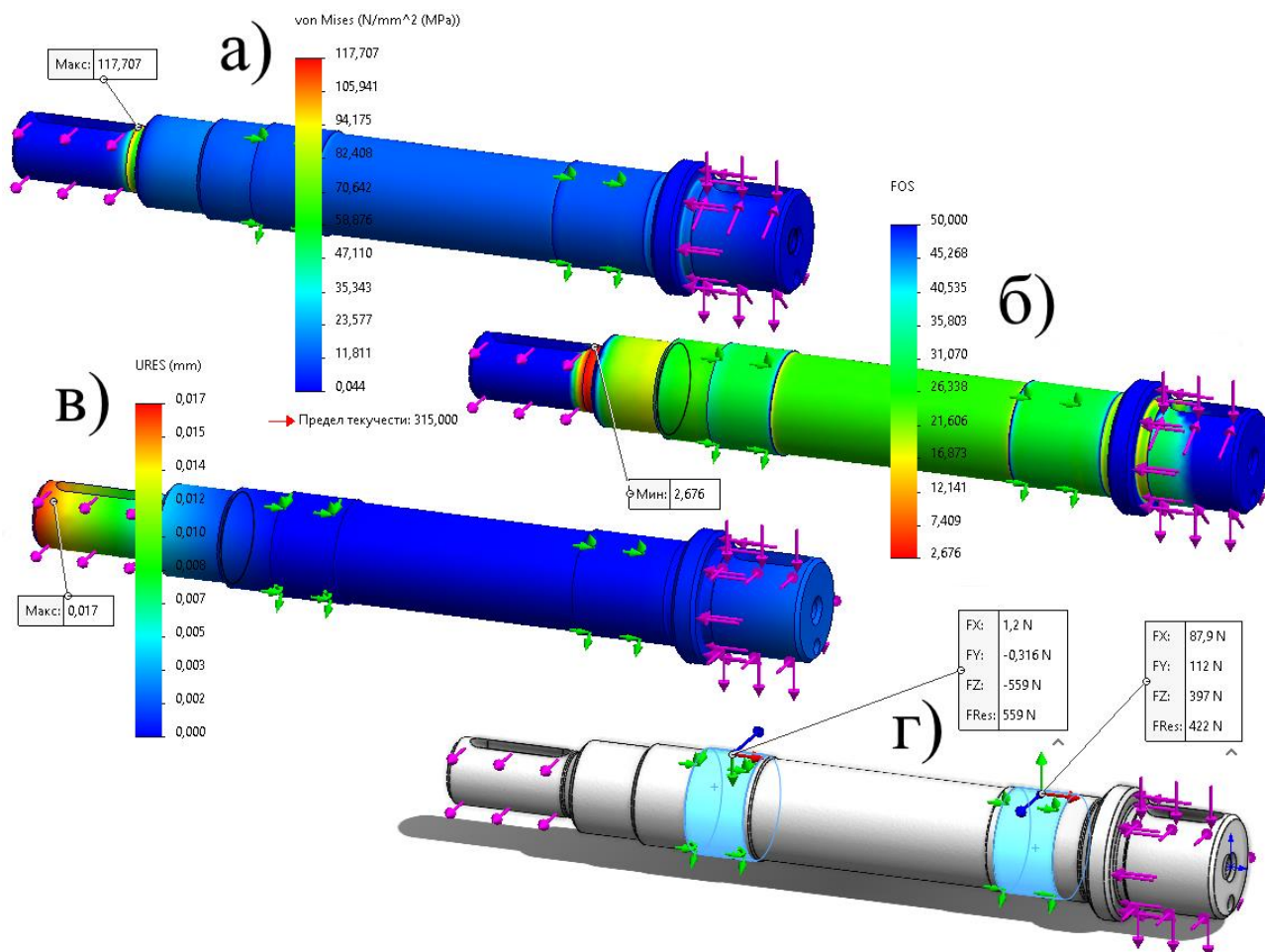


Рис. 22. Результати досліджень швидкохідного валу

Тихохідний вал

У дослідженні тихохідного валу використовувалися кріплення на циліндричних гранях: ліва опора – обмеження в осьовому, радіальному та тангенціальному напрямках; права опора – обмеження в осьовому та радіальному напрямках.

Навантаження, які діють на вал: крутний момент – $T=23,48$ Нм; осьова сила від зубчастого колеса – $F_{a2} = 111,4$ Н; радіальна сила від зубчастого

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

41

колеса – $F_{r2} = 89,1 \text{ Н}$; сила тиску на тихохідний вал від з'єднувальної муфти – $F_{m2} = 605,7 \text{ Н}$.

При визначенні сил реакцій в опорах та найбільшого переміщення крутний момент замінюємо тангенціальною силою $F_{t1} = 391,8 \text{ Н}$.

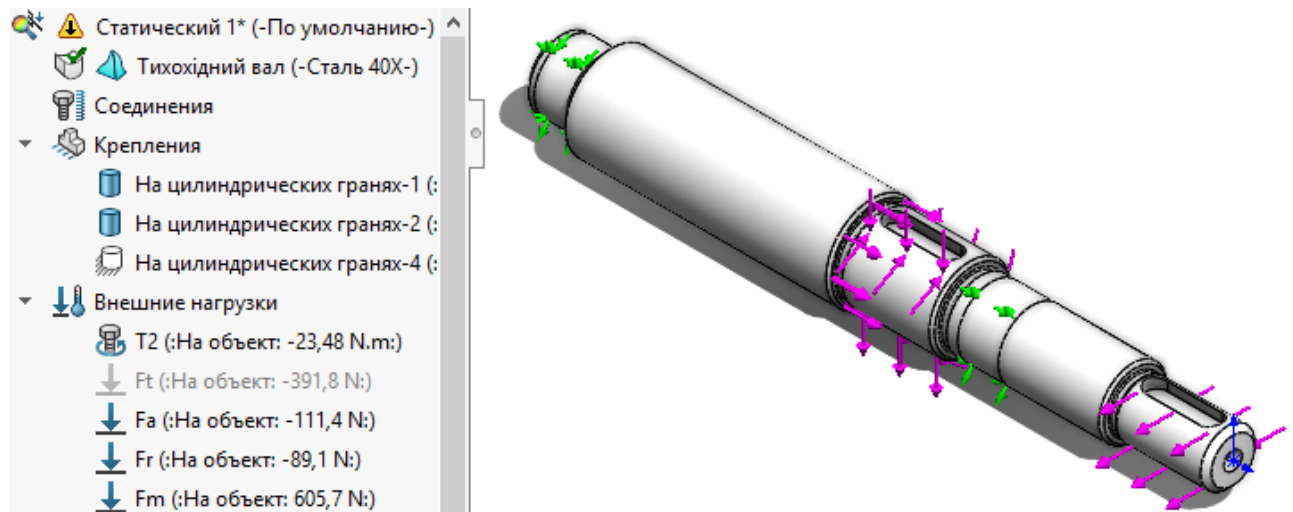


Рис. 23. Обмеження та навантаження, які діють на тихохідний вал

В ході виконання досліджень були отримані наступні результати:

- максимальні навантаження на вал по von Mises не перевищують 74,5 МПа (рис. 24, а);
- мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 4,2, що є цілком допустимим значенням для валів, які використовуються в редукторах (рис. 24, б);
- максимальне переміщення валу – 0,018 мм, яке знаходиться в місці кріплення муфти (рис. 24, в);
- результуючі реакції в опорах: права – 49,4 Н, ліва – 719 Н (рис. 24, г).

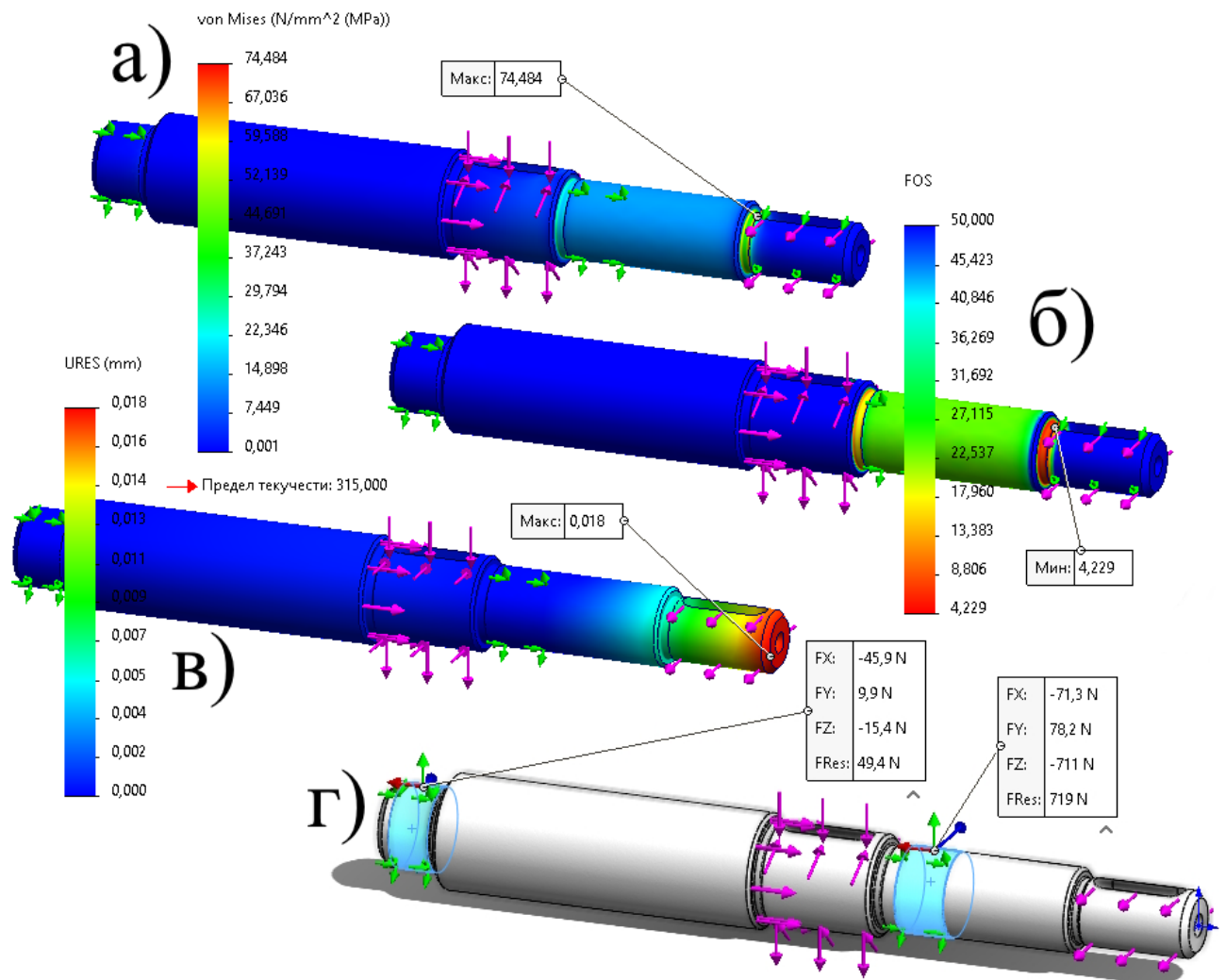


Рис. 24. Результати досліджень тихохідного валу

Перевірочний розрахунок підшипників

Розрахункову довговічність підшипників швидкохідного валу визначаємо за найбільш навантаженому підшипнику, год:

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P_{res}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1} = \left(\frac{24000}{559} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1434} = 919809,5 \text{ год.} \geq 21024 \text{ год.}$$

Розрахункову довговічність підшипників тихохідного валу визначаємо за найбільш навантаженому підшипнику, год:

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P_{res}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1} = \left(\frac{24000}{719} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1147,2} = 540327 \text{ год.} \geq 21024 \text{ год.}$$

2.11. Висновки до другого розділу

У другому розділі згідно завдання бакалаврської роботи було розраховано і сконструйовано одноступінчастий конічний редуктор з передаточним числом 1,25, і необхідною потужністю на виході 2,5 кВт.

Обрано двигун, проведено розрахунки конічної зубчастої передачі. Виконано перевірку зубів шестерні та зубчастого колеса на контактну міцність і на згин. Визначено діаметрів валів, та проведено розрахунки валів на міцність за допомогою додатку Simulation програми SolidWorks.

На основі отриманих параметрів конічного редуктора побудована 3Д модель.

Запропоновано провести модернізацію конструкції редуктора, а саме виготовлення корпусу у вигляді зварної деталі з листового металу та сортового прокату з метою зниження матеріалоємності виробництва корпусу та енергозатрат; зменшення габаритів та маси корпусу; спрощення поточного обслуговування та ремонту у разі відмов.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянемо технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора.

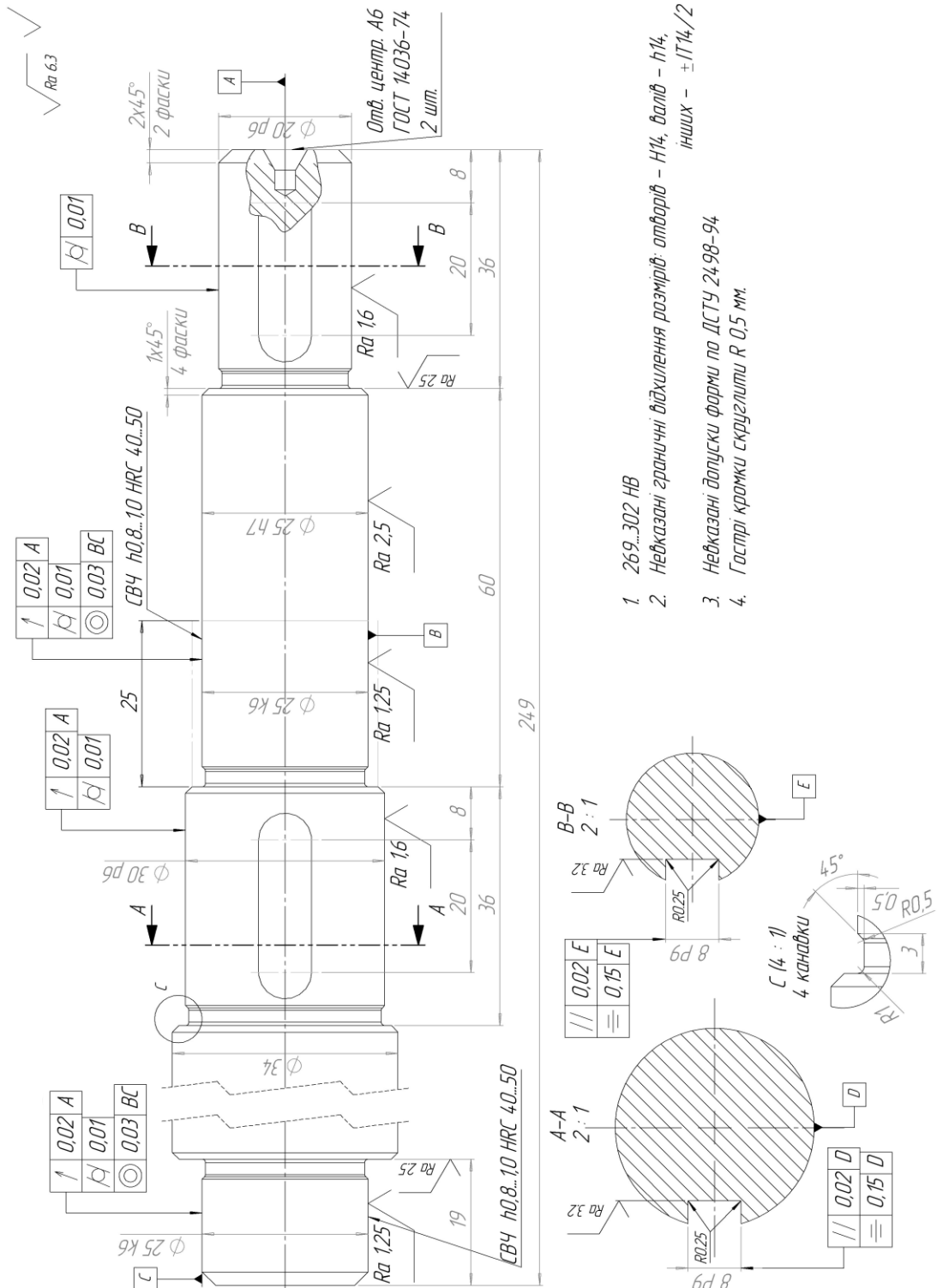


Рис. 25. Креслення деталі «Тихохідний вал»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

45

3.1. Характеристика, хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Конструкційна легована сталь 40Х використовується для виготовлення якісних деталей, що володіють підвищеною міцністю – вали, осі, диски, ротори, плунжери, вал-шестірні, зубчасті колеса, кулачкові/колінчасті вали, поршні, штоки, шпинделі, кільця, зубчасті вінці, рейки, оправки .

Також вона затребувана при виробництві безшовних труб різного перерізу та численних кріпильних елементів парових котлів та водогрійних установок.

Маркування Сталь 40Х за ГОСТ визначає наступний вміст [11, 12]:

1. Перша цифра 40 означає вміст основного елемента у складі, зокрема вуглецю, який становить 0,44%, і визначає основні експлуатаційні характеристики.

2. Наступна літера Х свідчить про те, що у складі є легуючий елемент – хромом, концентрація якого становить 1,1%. Хром підвищує корозійну стійкість структури. Однак, марка сталі 40Х не характеризується високими антикорозійними якостями.

3. Також до складу входить досить велика кількість нікелю, кремнію та марганцю. Вони визначають деякі експлуатаційні характеристики металу, але вони не відзначаються у маркуванні.

Таблиця 7

Механічні властивості сталі 35

Переріз, мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²	НВ, МПа
до 100	570	315	17	38	39	174...217
100...300	570	315	14	35	34	167...207

Джерело: [11, 12]

3.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісний аналіз технологічності

Деталь – вал може бути виготовлена з різних типів заготовок (прокат, штампування, лиття).

Певну складність представляє собою обробка поверхонь під підшипники (ø25k6) ці поверхні повинні бути виконані в межах зазначених відхилень, відхилень допуску циліндричності 0,01 мм і мати радіальне биття в межах 0,02 мм.

В загальному деталь досить технологічна, можуть бути застосовані високопродуктивні режими обробки, має хороші базові поверхні і досить проста по конструкції.

Позначимо всі оброблювані поверхні номерами позицій:

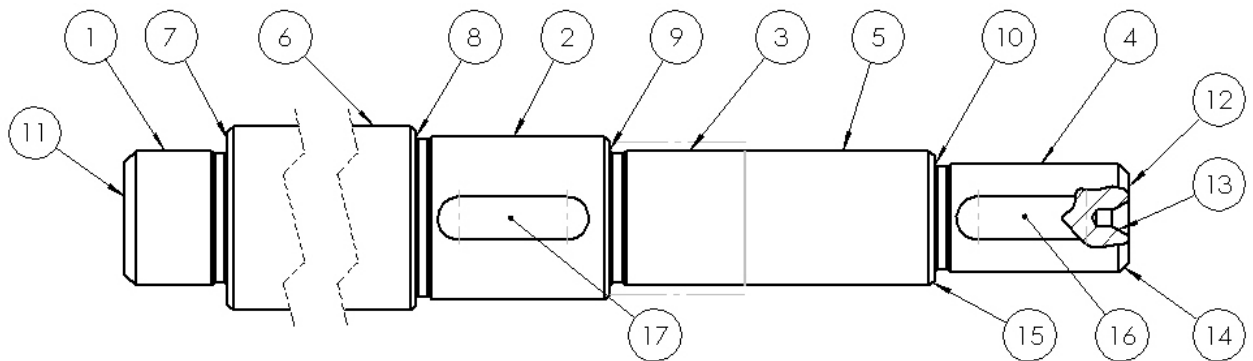


Рис. 26. Оброблювані поверхні

Кількісний аналіз технологічності

Розрахунок технологічності конструкції деталі проводимо за [13, с. 31-33]. Основні показники технологічності деталі:

1. Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{ye} = Q_{ye} / Q_e;$$

де: Q_{ye} – загальна кількість уніфікованих елементів деталі;

Q_e – загальна кількість елементів деталі;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ

Арк.

47

$$K_{ye} = 21/22 = 0,95;$$

За коефіцієнтом уніфікації деталей технологічна, так як $K_{ye} > 0,6$.

2 Коефіцієнт використання металу:

$$K_{MB} = m_d/m_3;$$

де: $m_d = 1,27$ кг. – маса деталі;

$m_3 = 1,78$ кг. – маса заготовки.

$$K_{MB} = 1,27/1,78 = 0,71$$

3. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{IT} = 1 - (1/IT_c);$$

де: IT_c – середній квалітет точності:

$$IT_c = (n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}) / \sum n_i$$

де: n_i – кількість поверхонь деталі, що виконані відповідно за і-им квалітетом точності.

$$IT_c = (6 \cdot 4 + 7 \cdot 1 + 14 \cdot 17) / 22 = 269 / 22 = 12,23;$$

$$K_{IT} = 1 - (1/12,23) = 0,92.$$

За коефіцієнтом точності обробки деталей технологічна, так як $K_{IT} > 0,8$.

4. Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{Ra} = 1/Ra_c;$$

де: Ra_c – середня шорсткість оброблених поверхонь деталі, що визначається в значеннях параметра Ra , мкм.

$$Ra_c = (0,01n_1 + 0,02n_2 + \dots + 40n_{13} + 80n_{40}) / \sum n_i;$$

де: n_i – кількість поверхонь, що мають шорсткість і-го класу шорсткості в параметрах Ra .

$$Ra_c = \frac{1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 13}{22} = \frac{101,5}{22} = 4,61;$$

$$K_{Ra} = 1/4,61 = 0,21$$

За коефіцієнтом шорсткості деталей технологічна, так як $K_{Ra} < 0,32$.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Конструкторський аналіз деталі

Найменування поверхні	Номер оброблюваної поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих елементів	Квалітет точності	Параметр шорсткості
Зовнішні діаметральні поверхні					
Ø 25 k6	1	1	1	6	1,25
Ø 30 p6	2	1	1	6	1,6
Ø 25 k6	3	1	1	6	1,25
Ø 20 p6	4	1	1	6	1,6
Ø 25 h7	5	1	1	7	2,5
Ø 34	6	1	-	14	6,3
Внутрішні діаметральні поверхні					
Ø 3	13	2	2	14	6,3
Лінійні розміри					
19	7	1	1	14	2,5
36	8	1	1	14	6,3
60	9	1	1	14	6,3
36	10	1	1	14	2,5
249	11, 12	2	2	14	6,3
2	14	2	2	14	6,3
1	15	4	4	14	6,3
20	16	1	1	14	3,2
20	17	1	1	14	3,2

Джерело: узагальнено та побудовано автором

Згідно з результатами кількісної оцінки деталі маточина можна зробити висновок, що деталь досить технологічна.

3.3. Вибір типу заготовки та обґрунтування методу її виготовлення

Спосіб отримання заготовок для валів залежить від типу виробництва та розмірів валу.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У одиничному та дрібносерійному виробництві вали з невеликим числом ступенів та незначною різницею діаметрів отримують шляхом різання сортового прокату.

У серійному виробництві вали, діаметром не перевищують 200 мм, з тими ж конструктивними ознаками також отримують з прокату. Великогабаритні вали, заготовки яких мають масу понад 15 кг, доцільно отримувати вільним куванням на молотах з попереднім нагріванням до 1200 ° С в камерних печах. Вільним куванням обробляються заготівлі валів простої форми.

У серійному виробництві заготівлі валів складної конфігурації зі значним перепадом діаметрів ступенів отримують куванням, куванням у підкладних штампах, гарячим штампуванням. Ці способи забезпечують максимальне наближення форми та розмірів заготовки до форми та розмірів готової деталі з мінімальними відходами матеріалу.

Так як виробництво редуктора одиничне, та вал не має великих перепадів діаметрів, то найбільш доцільно використати заготовку з сортового прокату діаметром 35 мм.

3.4 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі

Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі полягає у раціональному та вірному використанні всіх можливостей верстата, інструменту з оптимальними режимами різання та з найефективнішими витратами часу та собівартості.

Технологічний маршрут – це послідовність процесів та операцій які задіяні при обробці деталі.

Для опису технологічного маршруту виготовлення деталі необхідно дотримуватися наступного порядку: опис змісту операцій; опис обладнання; опис технологічного оснащення.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операції описуються за правилами:

1. Починати обробку варто з тих поверхонь, які будуть задіяні установочною базою для подальшої обробки.
2. Операції виконуються від чорнових до чистових та оздоблювальних.
3. Оздоблювальні операції треба виконувати в кінці, після термічних операцій, якщо вони необхідні.
4. Послідовність операцій повинна бути така, щоб обробка забезпечила найменшу шорсткість деталі.
5. Високоточні поверхні деталі варто обробляти разом, за одну операцію та установку.
6. Послідовність має бути така, щоб забезпечити найефективніший спосіб виготовлення деталі.

Для зменшення часу на проектування технологічного маршруту виготовлення деталі, слід використовувати типові процеси виготовлення.

На рисунку 27 наведені припуски на обробку деталі вал.

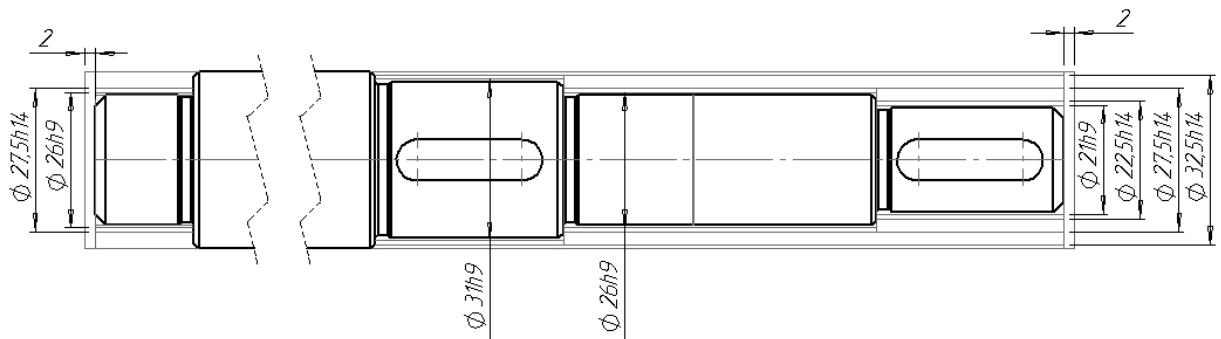


Рис. 27. Припуски на обробку

Технологічний процес виготовлення тихохідного валу редуктора представлено у таблиці 9.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Маршрутна технологія

Номер операції	Назва операції та її опис	Верстат
005	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці деталі витримавши розмір 249мм. 2. Центрувати два отвори центр. А6 ГОСТ 14036-74	Фрезерно-центрувальний 2Г942
010	Токарна 1. Точити попередньо поверхню Ø30 в розмір в розмір Ø32,5 h14 на довжину 132 мм; 2. Точити попередньо поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø27,5 h14 на довжину 96 мм; 3. Точити попередньо поверхню Ø20 в розмір в розмір Ø22,5 h14 на довжину 36 мм; 4. Точити остаточно поверхню Ø20 в розмір в розмір Ø21 h9 на довжину 36 мм; 5. Точити остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø26 h9 на довжину 60 мм; 6. Точити остаточно поверхню Ø30 в розмір в розмір Ø31 h9 на довжину 36 мм; 7. Точити фаску 2x45°; 8. Точити фаску 1x45°; 9. Точити фаску 1x45°; 10. Точити фаску 1x45°; 11. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір Ø19 та 36 мм; 12. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір Ø24 та 60 мм; 13. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір Ø29 та 36 мм.	Bernardo Master 330 Pro
015	Токарна 1. Точити попередньо поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø27,5 h14 на довжину 19 мм;	Bernardo Master 330 Pro

	2. Точити остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø26 h9 на довжину 19 мм; 3. Точити фаску 2x45°; 4. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір Ø24 та 19 мм; 5. Точити фаску 1x45°.	
020	Фрезерна 1. Фрезерувати шпонковий паз D20x8P9 ГОСТ 23360-78 на довжину 20 мм витримуючи розмір 8 мм; 2. Фрезерувати шпонковий паз D30x8P9 ГОСТ 23360-78 на довжину 20 мм витримуючи розмір 8 мм.	692Д
025	Термообробка 1. Загартування.	СВЧ
030	Круглошліфувальна 1. Шліфувати остаточно поверхню Ø20 в розмір в розмір Ø20 p6 на довжину 36 мм.	3м151
035	Круглошліфувальна 1. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 k6 на довжину 19 мм; 2. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 k6 на довжину 25 мм; 3. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 h7 на довжину 35 мм; 4. Шліфувати остаточно поверхню Ø30 в розмір в розмір Ø30 p6 на довжину 36 мм.	3м151
040	Контрольна	Контрольний інструмент

Джерело: побудовано автором

3.5. Технологічне обладнання

Щоб обрати правильне технологічне обладнання, необхідно проаналізувати його технічні характеристики та вимоги для виробництва деталі.

Критерії для того, щоб вибрати правильне обладнання наступні:

1. Можливість працювати із даними розмірами та формами, а також матеріалами виробу;
2. Задовольняти необхідну потужність для обробки;
3. Мати оптимальні режими роботи;
4. Забезпечити необхідну шорсткість.

Для перевірки правильності обраного обладнання, проаналізуємо верстати за їхніми технічними характеристиками.

Фрезерно-центрувальний верстат 2Г942

Основні операції, що виконуються на напівавтоматі 2Г942: фрезерування торців та свердління центрових отворів з двох сторін; обточування шийок на кінцях валів; суцільне цюкування до діаметра 40 мм; кільцева підрізка; розточування [18].

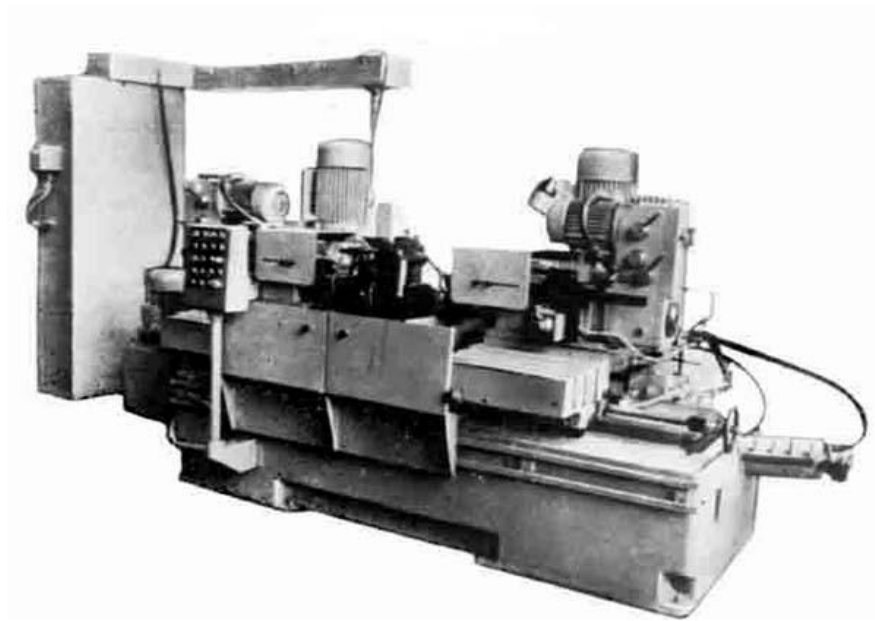


Рис. 28. Фрезерно-центрувальний верстат 2Г942

Фрезерні та свердлильні шпинделі розташовані горизонтально.

Завантаження, фрезерування, зацентрування та вивантаження оброблюваних деталей проводиться послідовно. Оброблювана деталь нерухома, переміщаються фрезерні та свердлильні головки.

Ліві та праві свердлильні та фрезерні головки не забезпечені механізмами синхронізації. Одночасність роботи лівих та правих шпинделів забезпечується гідроприводом.

Приводи подач свердлильних та фрезерних шпинделів, затискання деталей, упору заготовок – гідравлічні.

Таблиця 10

Технічні характеристики фрезерно-центрувального верстата 2Г942

Параметр	
Клас точності верстата	Н
Гранична довжина заготовки	100...1000 мм
Граничні діаметри заготовки	20...160 мм
Межі частот обертання фрезерного шпинделя	125...712 об/хв
Межі подачі фрезерного шпинделя	20...2000 мм/хв
Найбільший діаметр встановлюваної фрези	160 мм
Межі частот обертання свердлильного шпинделя	290...2300 об/хв
Межі подачі свердлильного шпинделя	20...2000 мм/хв
Межі діаметрів встановлюваних центрів	3,15...10,12 мм
Потужність привода фрезерних головок	11х2 кВт
Потужність привода свердлильних головок	4х2 кВт

Джерело: [18]

Токарний гвинторізний верстат Bernardo Master 330 Pro

Верстат призначений [19] для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання (циліндричної, конічної та фасонних), обробки плоских торцевих поверхонь (підрізання торців), нарізування різьби та інших робіт. Використовується у серійному та малосерійному виробництві. Напівавтомат – універсальний та використовується у багатьох галузях машинобудування та

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ремонтних службах. Щоб скоротити час виробництва, ця модель також доступна з 3-осьовим цифровим дисплеєм.



КОНТРОЛЬ
TÜV
AUSTRIA
ЯКОСТІ

Рис. 29. Токарний гвинторізний верстат Bernardo Master 330 Pro

Таблиця 11

Технічні характеристики токарного верстата Bernardo Titan 03-1357

Параметр	
Висота центрів над напрямними	330 мм
Відстань між центрами	880 мм
Кількість поздовжніх та поперечних подач	32
Діапазон поздовжніх подач	0,052...1,392 мм/об
Діапазон поперечних подач	0,014...0,380 мм/об
Кількість частот обертання шпинделя	16
Межі частот обертання шпинделя	60...2000 об/хв
Потужність	2,2 кВт

Джерело: [19]

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Кругло-шліфувальний верстат 3М151

Дана модель круглошліфувального верстата призначена для зовнішнього шліфування торцевих, конічних і циліндричних поверхонь тіл, що обертаються.

Верстат має безступінчасту зміну поперечних і поздовжніх подач, а також швидкості обертання шпинделя [21]. Наявна гвинтова пара кочення поперечної подачі та напрямні кочення, що забезпечує мікронну подачу шліфувальної бабки. Напівавтомат має механізм балансування шліфувального кола під час роботи.

Точність геометричної форми оброблюваних поверхонь: овальність – 0,0032 мм, конусоподібність – 0,008 мм.



Рис. 30. Кругло-шліфувальний верстат 3М151

Таблиця 12

Технічні характеристики кругло-шліфувального верстата 3М151

Параметр	
Клас точності верстата	П/В
Найбільший діаметр оброблюваної заготовки	200 мм
Найбільша довжина оброблюваної заготовки	700 мм
Найбільший/найменший діаметр шліфування	200/10 мм

Найбільша маса оброблюваної заготовки	55 кг
Межі швидкості переміщення стола	0,05...5,0 м/хв
Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки	1590 об/хв
Межі частот обертання оброблюваної заготовки	50...500 об/хв
Потужність двигуна шпинделя шліфувальної бабки	10 кВт
Потужність двигуна привода заготовки	0,85 кВт

Джерело: [21]

Шпонко-фрезерний верстат 692Д

Шпонково-фрезерний верстат 692Д застосовують у серійному виробництві для обробки деталей, подібних до конфігурації, але різних за розміром [21].

Шпонково-фрезерний верстат 692Д призначений для обробки шпонкових пазів на валах мірними та немірними кінцевими та шпонковими фрезами.

На верстаті 692Д можуть оброблятися пази шпонки шириною від 4 до 28 мм в напівавтоматичному циклі.



Рис. 31. Шпонко-фрезерний верстат 692Д

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Технічні характеристики шпонко-фрезерного верстата 692Д [21]

Параметр	
Клас точності верстата	Н
Діаметр встановлюваної заготовки	12...75 мм
Ширина оброблюваного пазу	4...25 мм
Найбільша глибина оброблюваного пазу	9 мм
Поздовжнє переміщення фрезерної головки	5...400 мм
Число частот обертання шпинделя	11
Межі частот обертання шпинделя	400...4000
Межі робочої подачі фрезерної головки	16...140 мм/хв
Потужність двигуна приводу головного руху	3 кВт

Джерело: http://stanki-katalog.ru/sprav_692d.htm

3.6. Розрахунок режимів різання

3.6.1. Операція 010 – «Токарна»

Обладнання: Токарний верстат Bernardo Master 330 Pro

Технологічна база: Зовнішня поверхня $\varnothing 34$, та лівий торець деталі.

Оснастка: Патрон самоцентрувальний трьохкулачковий 7100-0045 за ГОСТ 2675-80

Зміст операції:

1. Точити попередньо поверхню $\varnothing 30$ в розмір в розмір $\varnothing 32,5$ h14 на довжину 132 мм;
2. Точити попередньо поверхню $\varnothing 25$ в розмір в розмір $\varnothing 27,5$ h14 на довжину 96 мм;
3. Точити попередньо поверхню $\varnothing 20$ в розмір в розмір $\varnothing 22,5$ h14 на довжину 36 мм;
4. Точити остаточно поверхню $\varnothing 20$ в розмір в розмір $\varnothing 21$ h9 на довжину 36 мм;
5. Точити фаску 2x45°;

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

6. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір $\varnothing 19$ та 36 мм.
7. Точити остаточно поверхню $\varnothing 25$ в розмір в розмір $\varnothing 26$ h9 на довжину 60 мм;
8. Точити фаску $1 \times 45^\circ$;
9. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір $\varnothing 24$ та 60 мм.
10. Точити остаточно поверхню $\varnothing 30$ в розмір в розмір $\varnothing 31$ h9 на довжину 36 мм;
11. Точити фаску $1 \times 45^\circ$;
12. Точити канавку шириною 3 мм витримуючи розмір $\varnothing 29$ та 36 мм.
13. Точити фаску $1 \times 45^\circ$.

Різальний інструмент: Різець прохідний упорний з механічним кріпленням пластини. T15K6, $\gamma = -6^\circ$; $\lambda = -6^\circ$, $\varphi = 95^\circ$

Вимірювальний інструмент: мікрометр

Режими різання:

Розрахуємо режими різання на чорнову обробку $\varnothing 25$, припуск на обробку $h = 5$ мм.

Для чорнової обробки деталі беремо різець прохідний-упорний, оснащений пластинкою з твердого сплаву T15K6.

Глибина різання при знятті припуску за один прохід $t = h/2 = 5/2 = 2,5$ мм.

Рекомендоване значення подачі $S = 0,4 - 0,5$ мм/об за [16, с. 266, табл. 11].
Приймаємо $S = 0,5$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання в залежності від глибини різання, подачі і стійкості інструменту.

Рекомендована швидкість різання визначається за формулою, м / хв:

$$V_{\text{роз.}} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot k_{Mv} \cdot k_{Pv} \cdot k_{Iv}$$

де: C_v – коефіцієнт у формулі швидкості різання; $C_v = 350$ за [16, с. 269, табл. 17];

T – період стійкості інструменту, хв; $T = 60$ хв;

t – глибина різання, мм;

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S – подача, мм / об;

x, y, m - показники ступеня у формулі швидкості різання; x=0,15; y=0,35; m=0,2 за [16, с. 269, табл. 17];

k_{Mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріал заготовки; $k_{Mv}=(750/530)$ за [16, с. 261, табл. 1];

$k_{Пv}$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки; $k_{Пv}=0,9$ за [16, с. 263, табл. 5];

$k_{Иv}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента; $k_{Иv}=1,0$ за [16, с. 263, табл. 6].

$$V_{роз.} = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot \frac{750}{530} \cdot 0,9 \cdot 1 = \frac{350}{2,27 \cdot 1,15 \cdot 0,78} \cdot 1,27 = 218,3 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

За розрахункової швидкості різання і діаметру оброблюваної деталі знайдемо потрібну кількість обертів шпинделя:

$$n_{розр.} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D};$$

де: V – розрахункова швидкість різання, м/хв;

D – діаметр оброблюваної деталі, мм.

$$n_{розр.} = \frac{1000 \cdot 218,3}{3,14 \cdot 27,5} = 2528,1 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

За паспортними даними верстата приймаємо n=2000 об/хв. Тоді швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 27,5 \cdot 2000}{1000} = 172,7 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

де: C_p – коефіцієнт у формулі сили різання; $C_p=300$ за [16, с. 273, табл. 22];

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм / об;

x, y, n – показники ступеня у формулі сили різання; x=1; y=0,75; n=-0,15 за [16, с. 273, табл. 22];

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$$

K_{Mp} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріал заготовки; $kMv = (530/750)$ за [16, с. 264, табл. 9];

$K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} – коефіцієнти що враховують вплив геометричних параметрів різальної кромки; $K_{\varphi p}=0,89$; $K_{\gamma p}=1,25$; $K_{\lambda p}=1$; $K_{rp}=0,93$ за [16, с. 275, табл. 23];

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 172,7^{-0,15} \cdot \frac{530}{750} \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,93$$

$$= 3000 \cdot 2,5 \cdot 0,59 \cdot 0,46 \cdot 0,73 = 1486 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1486 \cdot 172,7}{1020 \cdot 60} = 4,2 \text{ кВт.}$$

Потужність двигуна приводу головного руху $N_{\text{вер.}}=2,2 \text{ кВт.}$

Потужність головного приводу верстата не забезпечує обробку на заданих режимах різання. Отже розіб'ємо припуск на 2 проходи. Тоді $t=1,25 \text{ мм}$, $P_z = 743 \text{ Н}$, $N=2,1 \text{ кВт.}$

На інші переходи режими різання вибираємо за допомогою нормативів.

Таблиця 14

Режими різання до операції 010

Перехід	Режими різання				
	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв	Число обертів, об/хв	Потужність різання кВт
	t	s	V	n	N
Точити попередньо пов. Ø30	0,75	0,5	204,1	2000	1,5
Точити попередньо пов. Ø25	2x1,25	0,5	172,7	2000	2,1
Точити попередньо пов. Ø20	2x1,25	0,5	141,3	2000	1,8
Точити остаточно пов. Ø20	0,75	0,2	131,9	2000	0,5
Точити остаточно пов. Ø25	0,75	0,2	163,3	2000	0,6
Точити остаточно пов. Ø30	0,75	0,2	194,7	2000	0,7

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі розрахунків

Визначення основного (машинного) часу:

$$T_o = \frac{L + l}{s \cdot n} \cdot i$$

де: L – довжина обробки, мм;

l – величина врізання й перебігу, мм;

s – подача, мм / об;

n – число обертів шпинделя, об / хв;

i – число проходів.

$$T_o = \frac{96 + 2}{0,5 \cdot 2000} \cdot 2 = 0,2 \text{ хв.}$$

Таблиця 15

Основний час до токарної операції 010

Перехід	Довжина обробки, мм	Довжина врізання й перебігу, мм	Число проходів	Основний час, хв
	L	l	i	T_o
Точити попередньо пов. Ø30	132	2	1	0,13
Точити попередньо пов. Ø25	96	2	2	0,19
Точити попередньо пов. Ø20	36	2	2	0,08
Точити остаточно пов. Ø20	36	2	1	0,1
Точити остаточно пов. Ø25	60	2	1	0,15
Точити остаточно пов. Ø30	36	2	1	0,1

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі розрахунків

3.6.2. Операція 035 – «Круглошліфувальна»

Обладнання: Кругло-шліфувальний верстат 3М151

Технологічна база: Зовнішня поверхня Ø20, та правий торець деталі.

Оснастка: Патрон самоцентрувальний трьохкулачковий 7100-0037 за ГОСТ 2675-80

Зміст операції:

1. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 к6 на довжину 19 мм;

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 k6 на довжину 25 мм;
3. Шліфувати остаточно поверхню Ø25 в розмір в розмір Ø25 h7 на довжину 35 мм;
4. Шліфувати остаточно поверхню Ø30 в розмір в розмір Ø30 p6 на довжину 36 мм.

Різальний інструмент: Шліфувальний круг за ГОСТ 2424-83 тип 1. D=200 мм. Н=32 мм. Т=20мм. 24А40НС25К8А 35 м/с.

Вимірювальний інструмент: Калібр скоба 25 k6 ПР 8140-5075, НЕ 8140-5076. Індикатор годинникового типу, стенд для перевірки радіального биття;

Режими різання:

Припуск на сторону: $h=0,25$ мм.

Визначаємо частоту обертання шліфувального круга при прийнятій швидкості $V=20$ м/с.

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi \cdot D_k} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 20}{3,14 \cdot 200} = 1910,8 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Приймаємо за паспортними даними $n_k=1590$ об/хв.

Приймаємо швидкість обертання деталі за [16, с. 301, табл. 55] – $V_3=30$ м/хв.

Частоту обертання деталі розрахуємо за формулою:

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 25} = 254,8 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Верстат має безступінчасте регулювання в межах 50-500 об/хв, тому n_3 залишаємо без змін.

Визначаємо поздовжню подачу за [16, с. 301, табл. 55]

$$S_m = (0,25 \dots 0,4) \cdot B = (0,25 \dots 0,4) \cdot 20 = 5 \dots 8 \text{ м/хв}$$

Приймаємо за паспортними даними: $S_m = 5$ м/хв

Приймаємо поперечну подачу за паспортними даними: $S_x = 0,004$ мм/хід.

Визначаємо потужність шліфування за формулою:

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$N = C_n \cdot V^r \cdot t^x \cdot s^y \cdot d^q$$

де: C_n – коефіцієнт; $C_n=0.27$ за [16, с. 303, табл. 56];

r, x, y, q - показники ступеня; $r=0.5, x=0.4; y=0.4; m=0.3$ за [16, с. 303, табл. 56];

$$N = 0,27 \cdot 20^{0,5} \cdot 0,25^{0,4} \cdot 5^{0,4} \cdot 25^{0,3} = 0,27 \cdot 4,47 \cdot 1,9 \cdot 2,6 = 5,96 \text{ кВт.}$$

Потужність двигуна шпинделя шліфувальної бабки 10 кВт.

Отже, потужність головного приводу верстата забезпечує обробку на заданих режимах різання.

Таблиця 16

Режими різання до операції 035

Перехід	Режими різання					Основний час хв.
	Глибина різання, мм	Подача, мм/хв.	Швидкість різання, м/с	Частота обертів деталі, об/хв	Потужність різання кВт	
	t	S_m	V	n	N_e	
Шліфувати остаточно пов. Ø25 k6	0,25	5	20	254,8	5,96	0,475
Шліфувати остаточно пов. Ø25 k6	0,25	5	20	254,8	5,96	0,625
Шліфувати остаточно пов. Ø25 h7	0,25	5	20	254,8	5,96	0,875
Шліфувати остаточно пов. Ø30 p6	0,25	5	20	212,3	6,36	0,9

Джерело: узагальнено та побудовано автором на основі розрахунків

Визначення основного (машинного) часу:

$$T_o = \frac{2 \cdot L \cdot h}{S_m \cdot S_x} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 0,25}{5000 \cdot 0,004} = 0,625 \text{ хв.}$$

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи у першому розділі було розглянуто конічні передачі, в саме: їх види класифікацію, області застосування, параметри. Також розглянуто методи виготовлення конічних зубчастих коліс для різних типів виробництва.

У другому розділі згідно завдання бакалаврської роботи було розраховано і сконструйовано одноступінчастий конічний редуктор з передаточним числом 1,25, і необхідною потужністю на виході 2,5 кВт.

Обрано двигун, проведено розрахунки конічної зубчастої передачі. Виконано перевірку зубів шестерні та зубчастого колеса на контактну міцність і на згин. Визначено діаметрів валів, та проведено розрахунки валів на міцність за допомогою додатку Simulation програми SolidWorks.

На основі отриманих параметрів конічного редуктора побудована 3Д модель.

Запропоновано провести модернізацію конструкції редуктора, а саме виготовлення корпусу у вигляді зварної деталі з листового металу та сортового прокату з метою зниження матеріалоємності виробництва корпусу та енергозатрат; зменшення габаритів та маси корпусу; спрощення поточного обслуговування та ремонту у разі відмов.

У третьому розділі розроблено технологічний процес виготовлення тихохідного валу спроектованого конічного редуктора, проведено вибір форми та встановлено спосіб виготовлення заготовки, вибрано сучасне технологічне обладнання та технологічне оснащення, розраховані загальні та міжопераційні припуски, режими різання та технічні норми часу.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ЛІТЕРАТУРА

1. Деталі машин: підручник : затверджено МОН України / А. В. Міняйло [та ін.]. - К. : Агроосвіта, 2013. - 448 с.
2. РОЗРАХУНОК КОНІЧНОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ. Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tm_8/page6.html
3. Лекція «ПЕРЕДАЧІ ЗАЧЕПЛЕННЯМ». Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/475189/mod_resource/content/3/Л2.pdf
4. Деталі машин. Лабораторні роботи : методичні вказівки / В.Д. Головня. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – 46 с.
5. Конічні зубчасті передачі. Режим доступу: https://studopedia.com.ua/1_30444_konichni-zubchasti-peredachi.html
6. ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ РЕДУКТОРІВ. Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tm_9/page7.html
7. Мельничук П.П., Боровик А.І., П.А. Лінчевський. Технологія машинобудування: Підручник. -Житомир.: ЖДТУ, 2005. - 924 с.
8. Скачко Є.В. Різальні інструменти: Навчальний посібник. - Житомир.: ЖІТІ, 2000. - 234 с.
9. Деталі машин. Курсове проектування: навч.-метод. посібник / В.Д. Головня, Г.М. Виговський, Н.О. Балицька. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – 120 с.
10. ДСТУ ISO 677:2007 Передачі зубчасті конічні прямозубі для загального і важкого машинобудування. Вихідний контур
11. Характеристики марки сталі 40Х. Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/40x>
12. Сталь 40Х. Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-40kh/>
13. Красовський М.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. - Курсове проектування з технології машинобудування, 2010. - 234 с.

					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

14. Мельничук П.П., Полонський Л.Г., Серов В.В. і др. - Збірник задач і вправ з технології машинобудування, 2001. - 316 с.

15. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 1/Под ред. Косиловой и Р. К. Мещерякова – 1-е изд. – М.; Машиностроение, 1985. – 665 с.

16. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 2/Под ред. Косиловой и Р. К. Мещерякова – 2-е изд. – М.; Машиностроение, 1985. – 495 с.

17. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ: Навчальний посібник / під ред. Кириловича – Житомир: ЖІТІ, 2001.

18. Робочі процеси технологій у машинобудуванні: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / А. І. Грабченко, Г. М. Виговський. – Житомир: ЖДТУ, 2003

18. 2Г942 верстат фрезерно-центрово-обточувальний. Опис, характеристики, схеми. Режим доступу: http://stanki-katalog.ru/sprav_2g942.htm

19. Master 330 Pro ТОКАРНИЙ ГВИНТОРІЗНИЙ ВЕРСТАТ ПО МЕТАЛУ Bernardo Режим доступу: <https://bernardo-ukraine.com/ua/p1323557329-master-330-pro.html>

20. 3М151 верстат круглошліфувальний універсальний напівавтомат. Схеми, опис, характеристики. Режим доступу: http://stanki-katalog.ru/sprav_3m151.htm

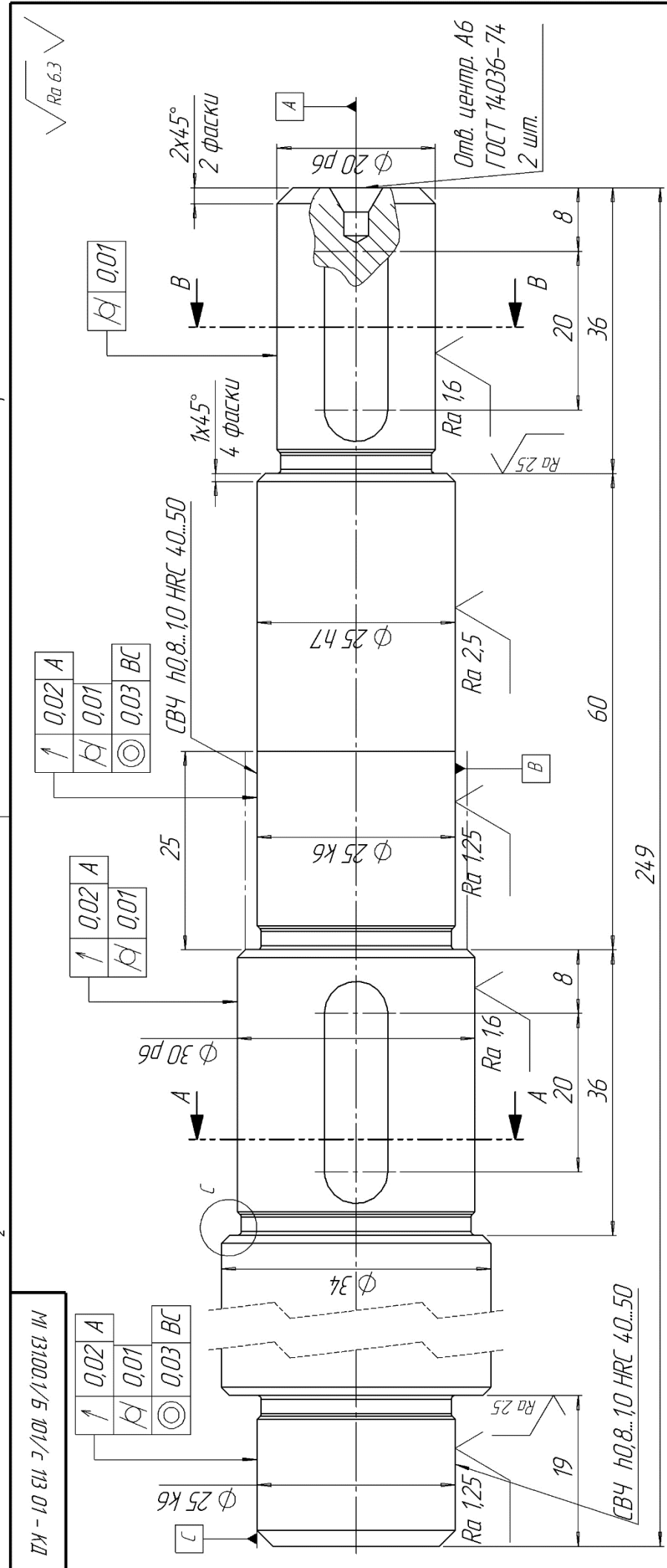
21. 692Д верстат шпоночно-фрезерний вертикальний. Схеми, опис, характеристики. Режим доступу: http://stanki-katalog.ru/sprav_692d.htm

22. Конічний редуктор: пат. 1196567 А / Заблонський К.І., Щекін Б.М., Іванов В.В., Окунь А.В. – заявл. 06.07.1984 ; опубл. 07.12.1985 , Бюл.№45. – 2 с.

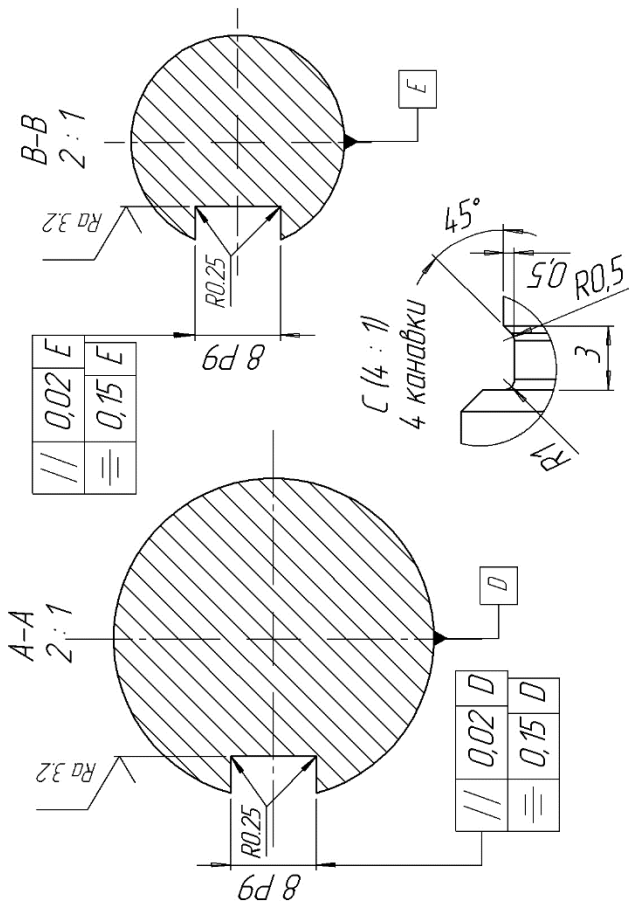
23. Одноступінчастий конічний редуктор: пат. UA 83251 U / А.М. Купріянов, В.М. Палій – заявл. 08.04.2013 ; опубл. 27.08.2013 , Бюл.№16. – 4 с.

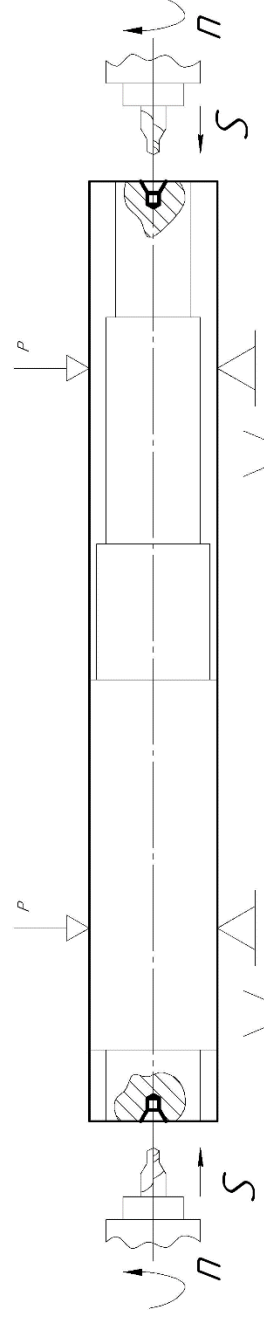
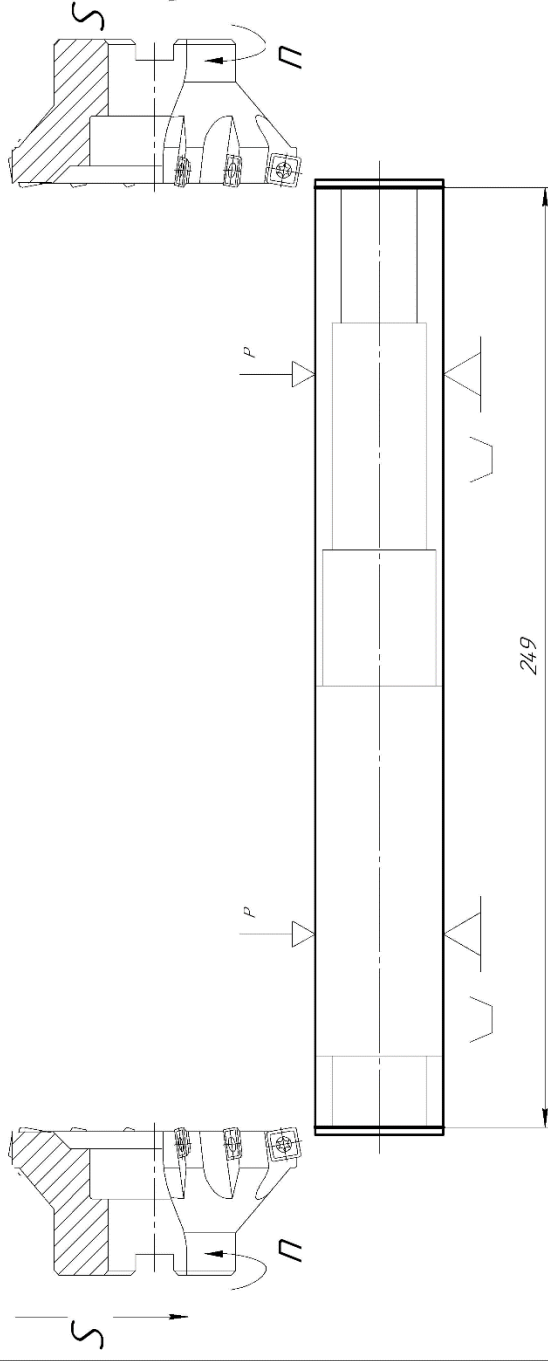
					МІ 131.00.1/Б 101/с 113 00-ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ



1. 269...302 HB
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів – H14, валів – h14,
інших – $\pm IT14/2$
3. Невказані допуски форми по ДСТУ 2498-94
4. Гострі кромки скруглити R 0,5 мм.

[illegible]



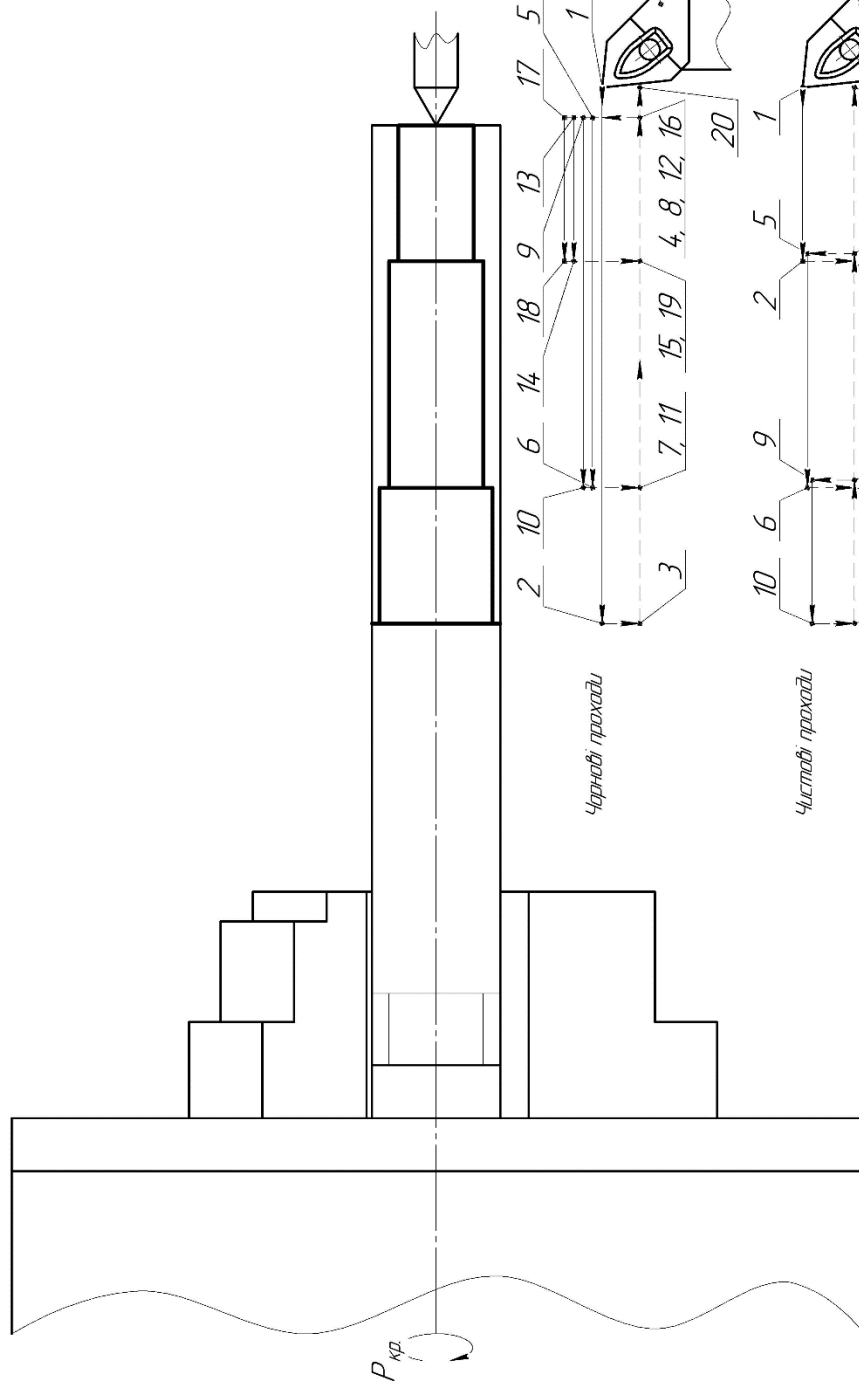
фрезерно-центральна

1. Фрезерувати торці деталі витримавши розмір 24,9мм.
2. Центрувати два отвори центр. А6 ГОСТ 14036-74

Фрезерно-центральный 219,42	114,7	1000	3,15	0,12	69,9	0,26	264
Фрезерно-центральный 219,42	100,5	400	2	0,8	320	0,47	
Найменування і модель верстака	V , м/хв	n , хв ⁻¹	i , мм	S_0 , мм/ад	S , мм/хв	T_0 , хв	$T_{шт.}$, хв

[illegible]

Операція: 010 Токарна



6	Точилки Ø30 в розмірі Ø3119 на довжині 36 мм	0,75	194,7	2000	0,2	0,1
5	Точилки Ø25 в розмірі Ø2619 на довжині 60 мм	0,75	163,3	2000	0,2	0,15
4	Точилки Ø20 в розмірі Ø2119 на довжині 36 мм	0,75	131,9	2000	0,2	0,1
3	Точилки Ø20 в розмірі Ø22,5114 на довжині 36 мм	2x 125	141,3	2000	0,5	0,08
2	Точилки Ø25 в розмірі Ø27,5114 на довжині 96 мм	2x 125	172,7	2000	0,5	0,19
1	Точилки Ø30 в розмірі Ø32,5114 на довжині 132 мм	0,75	204,1	2000	0,5	0,13
Nº пер.	Зміст переходи	t, мм	V, м/хв	η, об/хв	S, м/хв	T _ш хв
Токарний двипорізний верстат – Bernardo Master 330 Pro						

Чорнові проходи

Участови: прохоту

Точіння фасок

Тривання клінічної

1. *Dispute resolution* -

T15K6

MCI 000 2525 M12

1. Різниця між двома числами дорівнює 100. Знайдіть ці числа.

T15K6

MFLDP 2525 M12

2. Discuss the following:

T15K6

977-0

3. Підприємство класифікується:

T15K6

425B MHD10B 15

[illegible][illegible]

