

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

*магістра*

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство. Відновлення та  
технічний сервіс автомобілів»  
Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: «Розробка проекту та дослідження міцності деталей  
стенду правки дисків автомобілів за допомогою SolidWorks»

Шифр МРТAM 2217128.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВАм-21-1  Підпис О.В. Соколов  
Ініціали, прізвище

Керівник: *к.т.н., доц. каф. ТАМ*  Підпис О.Ю. Рудик  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.

 Підпис О.В. Диха  
Ініціали, прізвище

7 12 2022 р.

Хмельницький, 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

2022 року

10 10

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Соколову Олександрову Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) Розробка проекту та дослідження міцності деталей  
стенду правки дисків автомобілів за допомогою SolidWorks

Виконавець проекту (роботи) Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 1 липня 2022 р. № 83 (28)

Строк подання студентом проекту на кафедру 5 грудня 2022 р.

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення  
досліджуваних деталей; нормативно-технологічна документація з розбирання,  
ефектації, складання і регулювання стенду

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд стендів правки дисків автомобілів.

Розробка та розрахунок стенду для правки ободів коліс автомобілів.

Дослідження міцності деталей стенду правки дисків автомобілів за допомогою  
SolidWorks.

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проекту представити у вигляді презентації на слайдах

		видав	завдан прий

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

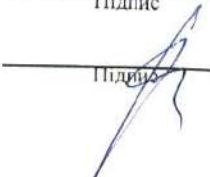
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим
1	Літературний огляд	30.09.2022	
2	Технологічний розділ	15.10.2022	
3	Дослідницький розділ	25.10.2022	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	12.11.2022	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	20.11.2022	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	01.12.2022	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	05.12.2022	

Студент

  
Підпис

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

О.В. Соколов  
Ініціали, прізвище

О.Ю. Рудик  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

**Обсяг пояснювальної записки** – 89 сторінок, кількість рисунків – 46, таблиць – 10, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 30.

**Об'єкт дослідження:** стенд правки дисків коліс легкових автомобілів.

**Мета роботи:** проектування стенду правки дисків коліс легкових автомобілів по реборді та її основі з дослідженням працездатності його деталей.




**Результати та їх новизна:** спроектовано стенд правки дисків коліс легкових автомобілів по реборді та її основі. За допомогою SolidWorks Simulation проведене комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану деталей стенду: відображені контурні графіки сумарних напружень, переміщень, деформацій і запасу міцності.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:** розроблений проект стенду правки дисків автомобілів та досліджена міцність його деталей за допомогою SolidWorks.

**Перелік ключових слів:** СТЕНД, ПРАВКА ДИСК, АВТОМОБІЛІ, SOLIDWORKS.

## Зміст

Вступ.....	6
<b>1 Огляд стендів правки дисків автомобілів.....</b>	<b>7</b>
1.1 Види стендів для правки дисків.....	7
1.1.1 Правка сталених дисків.....	8
1.1.2 Правка легкосплавних дисків.....	9
1.1.3 Правка «вісімки».....	11
1.1.4 Універсальні дископрави.....	11
1.1.5 Приклади стендів правки дисків автомобілів.....	12
1.1.6 Види пошкоджень дисків.....	27
1.1.7 Порядок правки автомобільних дисків на стенді МД-301М.....	30
1.1.8 Стенд для правки дисків коліс легкових автомобілів Черепанова-Тамбулатова.....	30
<b>2 Розробка та розрахунок стенду для правки ободів коліс автомобілів.....</b>	<b>34</b>
2.1 Конструкція стенду.....	34
2.2 Розрахунок стенду.....	37
2.2.1 Визначення крутного моменту.....	37
2.2.2 Вибір електродвигуна.....	37
2.2.3 Розрахунок клинопасової передачі.....	37
2.2.4 Перевірочний розрахунок шпонкових з'єднань.....	44
2.2.5 Розрахунок болтового з'єднання.....	45
2.2.6 Розрахунок гвинтового з'єднання.....	47
2.2.7 Розрахунок осі.....	49

МРТАМ 2217128.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	Медокум.	Підпис	Дата	Розробка проекту та дослідження міцності деталей стенду правки дисків автомобілів за допомогою SolidWorks	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Соколов					4	
Перевір.		Рудик						
Н.контр.		Бабак				ХНУгр.МТВАм-21-1		
Затвер.		Диха						

## Зміст

Вступ.....

### 1 Огляд стендів правки дисків автомобілів .....

1.1 Види стендів для правки дисків.....

1.1.1 Правка сталевих дисків.....

1.1.2 Правка легкосплавних дисків.....

1.1.3 Правка «вісімки».....

1.1.4 Універсальні дископрави .....

1.1.5 Приклади стендів правки дисків автомобілів .....

1.1.6 Види пошкоджень дисків.....

1.1.7 Порядок правки автомобільних дисків на стенді МД-301М.....

1.1.8 Стенд для правки дисків коліс легкових автомобілів

Черепанова-Тамбулатова .....

### 2 Розробка та розрахунок стенду для правки ободів коліс автомобілів.....

2.1 Конструкція стенду .....

2.2 Розрахунок стенду .....

2.2.1 Визначення крутного моменту .....

2.2.2 Вибір електродвигуна.....

2.2.3 Розрахунок клинопасової передачі .....

2.2.4 Перевірочний розрахунок шпонкових з'єднань.....

2.2.5 Розрахунок болтового з'єднання .....

2.2.6 Розрахунок гвинтового з'єднання .....

2.2.7 Розрахунок осі.....

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка проекту та дослідження міцності деталей стенду правки дисків автомобілів за допомогою SolidWorks	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Соколов						4	
Перевір.	Рудик							
Н.контр.	Бабак					ХНУгр.МТВАм-21-1		
Затвер.	Диха							















Таблиця 1.1 – Верстат для правки дисків діаметром до 24" RSM 024 COMEC

Діаметр оброблювани дисків	13"-24"
Динамічний тиск	140 бар
Максимальна сила удару	3950 кг
Швидкість обертання шпинделя	80 об/хв.
Потужність гідравлічного електропривода	0,75 кВт – 140 об/хв.
Габаритні розміри	1250x860x1250 мм
Вага	270 кг



**Рисунок 1.1 – Верстат для правки дисків діаметром до 24" RSM 024 COMEC**

Таблиця 1.2 – Верстат для правки дисків діаметром до 24" RSM 240 COMEC токарним вузлом

Діаметр оброблювани дисків	13"-24"
----------------------------	---------

Динамічний тиск	140 бар
Максимальна сила удару	3950 кг
Швидкість обертання шпинделя	80 об/хв.
Потужність гідравлічного електропривода	0,75 кВт – 140 об/хв.
Потужність токарного електропривода	0,75 кВт – 1400 об/хв.
Габаритні розміри	1250x860x1250 мм
Вага	270 кг



**Рисунок 1.2 – Верстат для правки дисків діаметром до 24" RSM 240  
COMEC**

По суті, верстат є спеціалізованим стапелем для редагування колісних дисків до 24". Він може використовуватися також для токарної доробки диска після його виправлення.

Основні особливості:

- універсальність - верстат призначений для виправлення легкосплавних та сталевих дисків легкових автомобілів, мікроавтобусів та позашляховиків;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

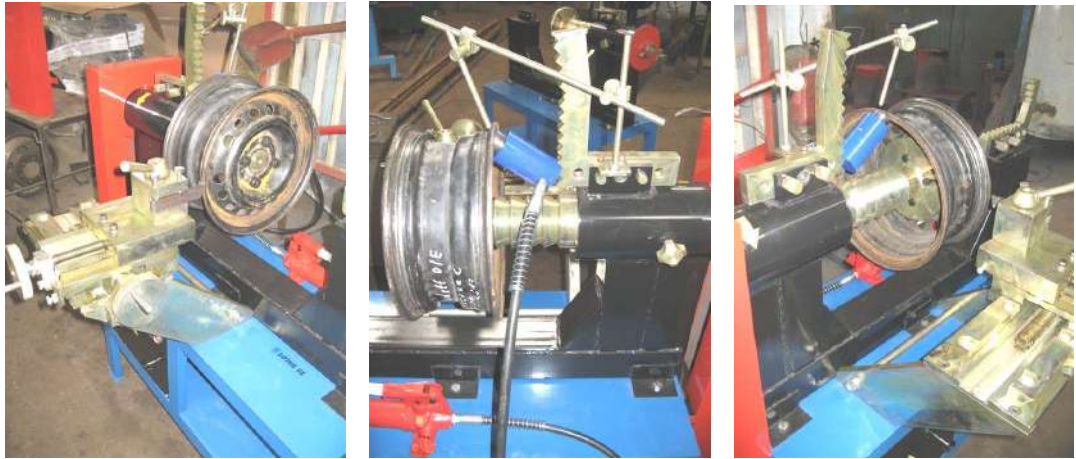
Арк.











**Рисунок 1.4а – Особливості рихтування на універсальному верстаті LOTUS IV (Україна)**

**Таблиця 1.5 – Верстат для рихтування дисків LOTUS V (Україна)**

Діаметр оброблюваних дисків	12"-21" (305-533 мм)
Ширина оброблюваних дисків	4"-10" (100-254 мм)
Товщина металу обода	3-8 мм
Габаритні розміри	1270x750x1160 мм
Вага	370 кг



**Рисунок 1.5 – Верстат для рихтування дисків LOTUS V (Україна)**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.





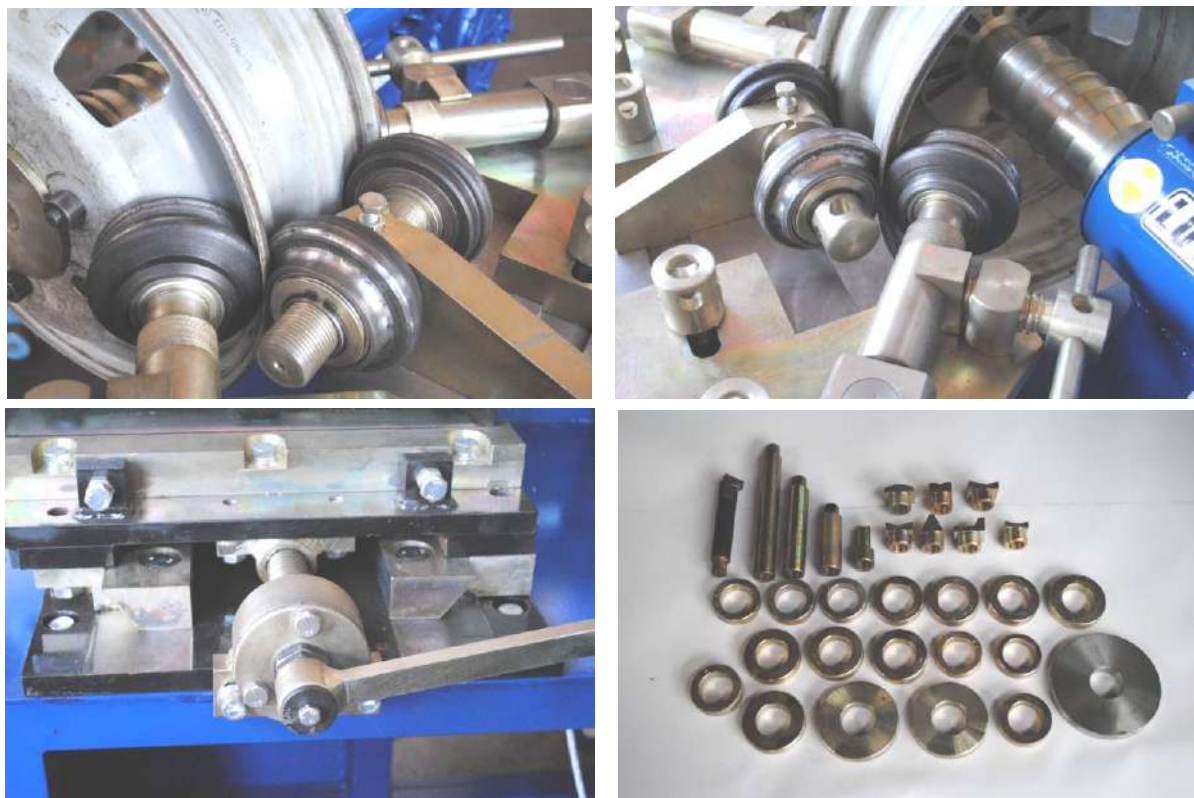




Цей верстат завдяки своїм силовим характеристикам та можливостям дозволяє впоратися з більшістю типів пошкоджень - як металевих, так і легкосплавних дисків.

Даному обладнанню під силу майже 99% дисків, що рихтуються. Потужна роликів група + міцні напрямні елементи дозволяють майстру докладати серйозних зусиль на гвинтові групи; для цих цілей у всіх подаючих вузлах передбачені отвори, в які можна вставляти монтировку, не боячись поламати механічну частину. У випадку, якщо диск має великі деформації, можна провести попереднє рихтування гідравлікою з наступним докочуванням диска роликів. З метою розширення можливості викочування та/або прокочування диска в комплектації може йти вузький та широкий ролик, його заміна виконується за лічені секунди.

Особливості рихтування на верстаті LOTUS VII (Україна) наведено на рис. 1.7а.



**Рисунок 1.7а – Особливості рихтування дисків на верстаті LOTUS VII (Україна)**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.

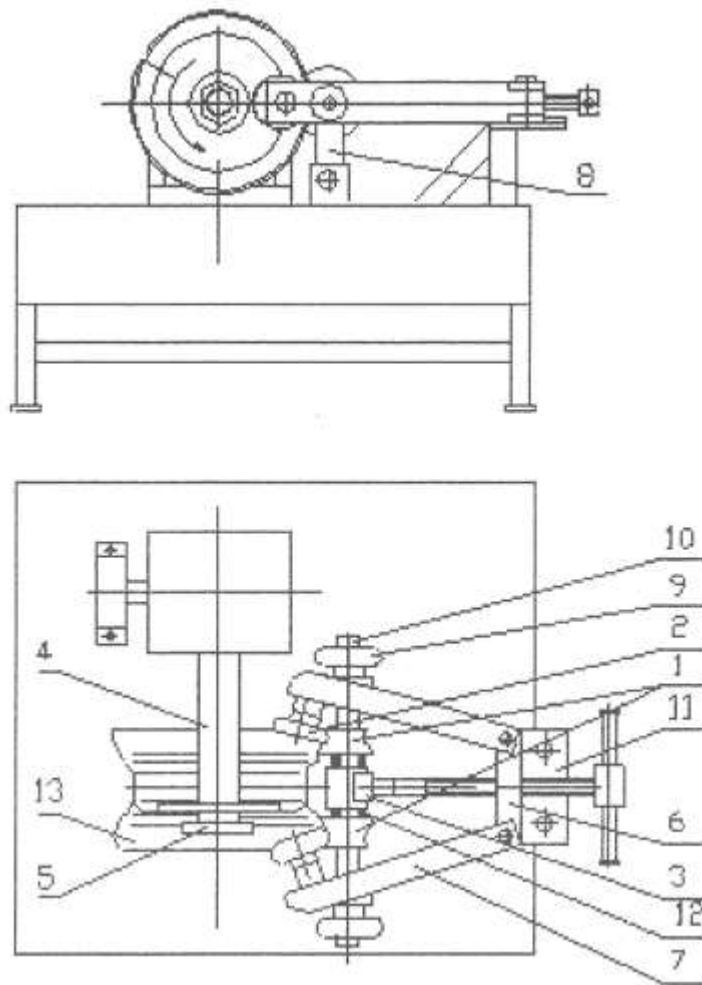












1 – напівматриці; 2 – пуансони; 3 – притиск; 4 – шпindelь; 5, 9 – гайка; 6 – серезка; 7 – важіль; 8 – опора; 10 – вісь; 11 – упор; 12 – настановна шайба; 13 – диск

**Рисунок 1.11 – Схема стану МД-301М**

Стенд для правки дисків автомобільних коліс (рис. 1.11) складається із столу, на якому змонтовані : електродвигун, клинопасова передача, редуктор черв'ячний, напівматриці 1, пуансони 2, притиск 3. На вихідному валу редуктора встановлений шпindelь 4, на змінних фланцях якого гайкою 5 кріпляться автомобільні диски. Обертання шпинделя здійснюється проти часової стрілки [29].

Принцип роботи стану полягає в обкатці та калібруванні деформованих реборд обода диска колеса в напівматрицях 1 пуансонами 2.

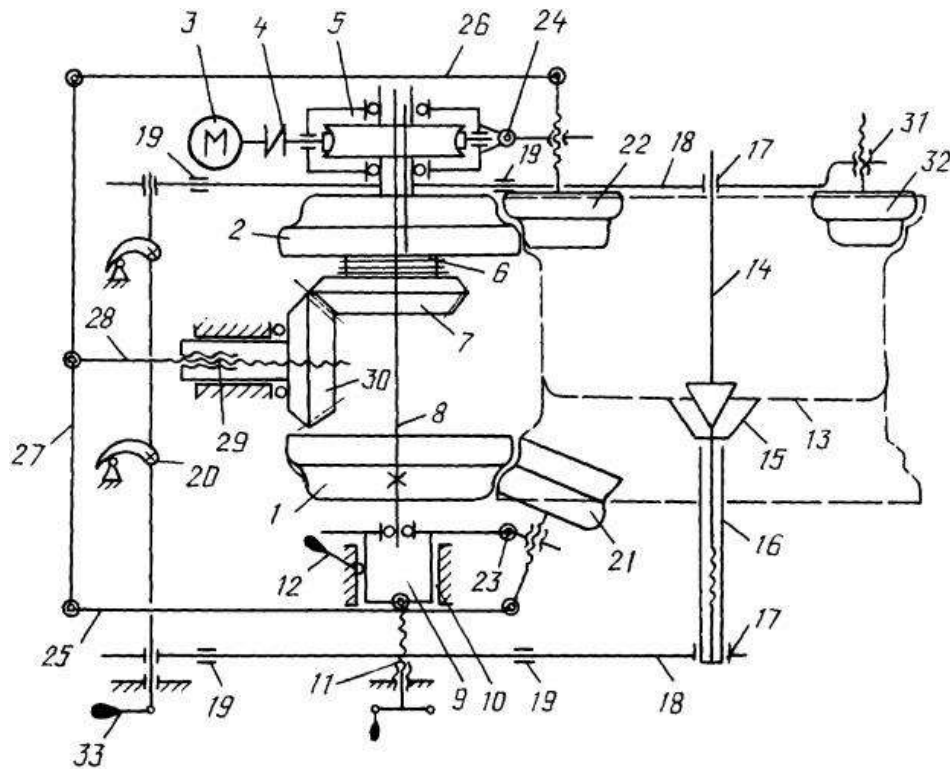
Наладка на різні види коліс полягає в установці перед напівматрицями настановних кілець.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.





**Рисунок 1.12 – Кінематична схема стану для правки дисків коліс легкових автомобілів Черепанова-Тамбулатова**

Маточина черв'ячного колеса має шліцьовий отвір, через який проходить вал 8, другий кінець якого встановлений на підшипнику в рухомій опорі 9. Опора переміщається в направляючих 10 за допомогою гвинтової передачі 11 і може бути затиснена після переміщення затиском 12. Диск 13, що виправляється, встановлюють центральним отвором на конус циліндричної оправки 14, затискають через фланець 15 спеціальною гайкою 16.

Оправка 14 встановлена в двох підшипниках ковзання 17 (надалі в них обертається), які розміщені на направляючих 18. Кожна з направляючих переміщається в двох опорах ковзання 19, причому ці направляючі зв'язані між собою замковим пристроєм 20. Притиснення диска в процесі правки здійснюється розкатними роликами 21 і 22 при повороті їх навколо осей 23 і 24 при натисненні на кінці їх валів через тяги 25 і 26; балансир 27 за допомогою гвинта 28, переміщення якого здійснюється при обертанні гайки 29 разом з конічним колесом 30, яке знаходиться в зачепленні з колесом 7. На одній з направляючих 18 у гвинтовій регульованій опорі 31 змонтований додатковий розкатний ролик 32.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

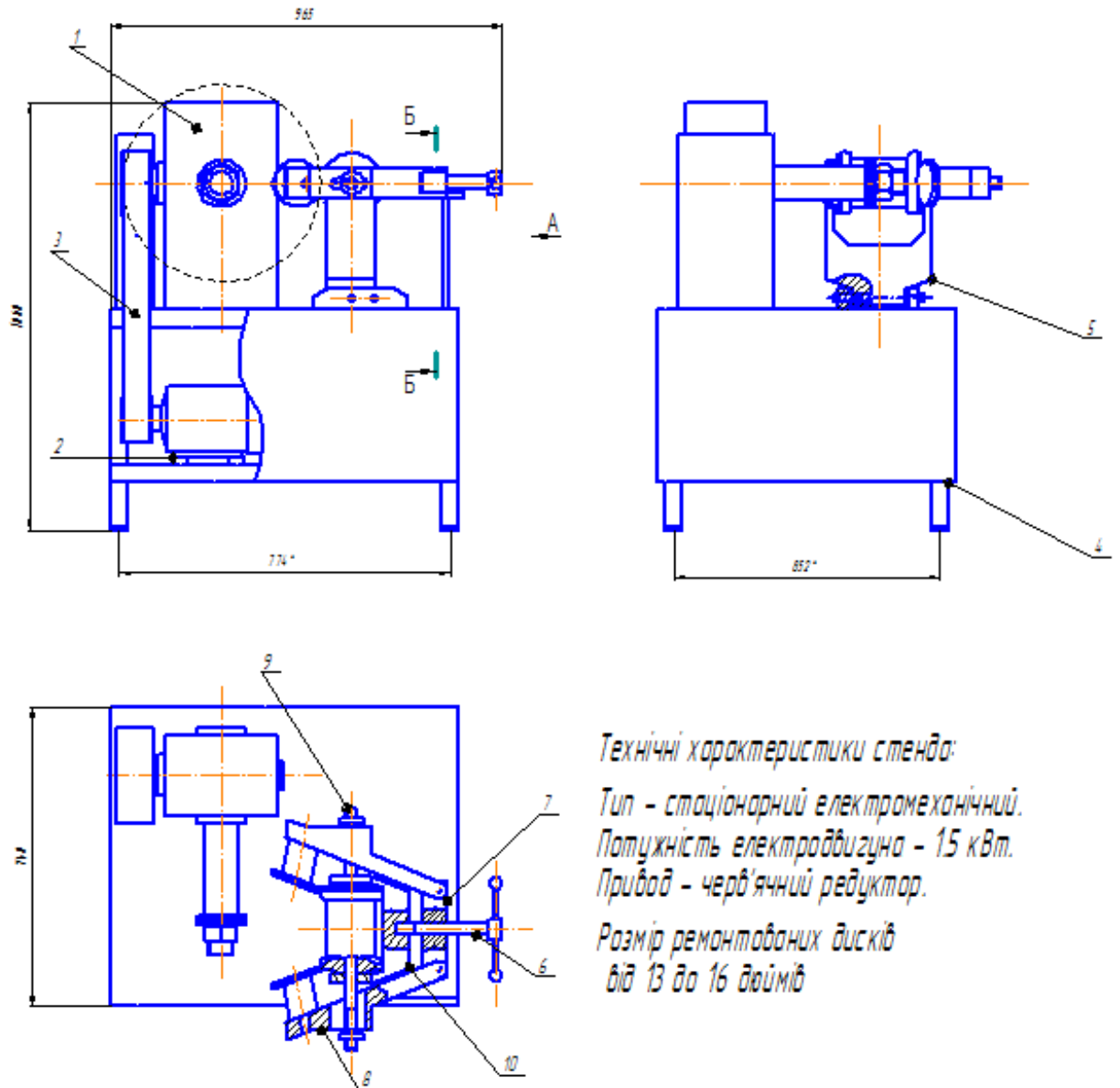




## 2 Розробка та розрахунок стану для правки ободів коліс автомобілів

### 2.1 Конструкція стану

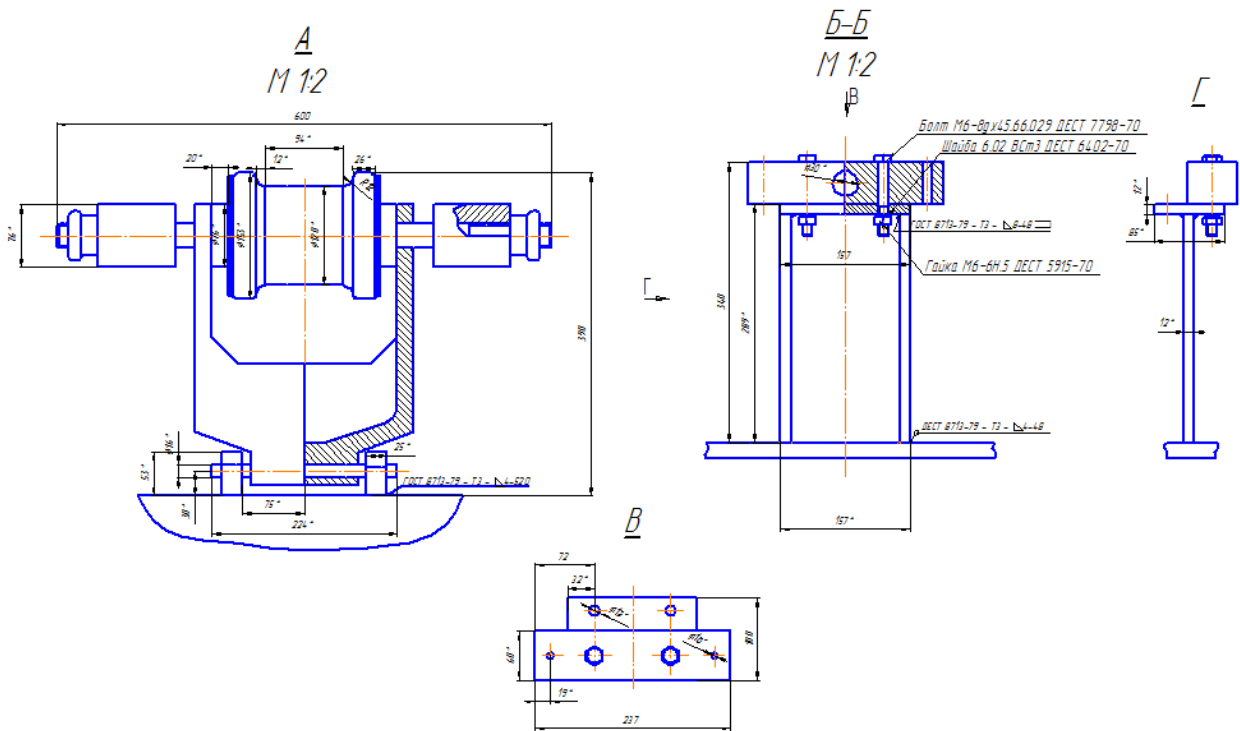
Стенд (рис. 2.1) призначений для правки деформованих штампованих дисків коліс по реборді та її основі.



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.



- 1 – редуктор; 2 – електродвигун; 3 – пас; 4 – рама; 5 – качний важіль; 6 – гвинт; 7 – траверса; 8 – важіль; 9 – шпилька; 10 – коромисло

**Рисунок 2.1 – Загальний вигляд стану для правки ободів коліс автомобілів**

Стенд стаціонарний, з електромеханічним та ручним гвинтовим приводами. Метод правки профілю обода – обкачування роликами. Стенд призначений для правки деформованих штампованих дисків коліс легкових автомобілів з ободами шириною від 4-х до 6-ти дюймів. напруга живлення – 380 В, потужність – 1,5 кВт.

Стенд містить станину, на якій змонтовані бічні правильні ролики, центральний профілюючий ролик, вузол приводу, вузол для закріплення колеса, гідравлічна система керування гідронасосом.

На станині змонтована оправка для встановлення на ній колеса, що правиться, і механізм правки у вигляді встановленого на опорах центрального профілюючого ролика і двох бічних правильних роликів, консольно встановлених на поворотних важелях, з'єднаних траверсою. Опора механізму правки виконана у вигляді важеля, одна вісь якого закріплена на станині з можливістю похитування, інша несе центральний профілюючий ролик.

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			







Відхилення перебуває у межах допустимого. Визначаємо міжосьову відстань  $a$ , мм:

$$a \geq 1,5 * (d_1 + d_2), \quad (2.5)$$

$$a \geq 1,5 * (112 + 160) = 408 \text{ мм.}$$

Розрахункова довжина паса  $l$ , мм:

$$l = 2 * a + \frac{\pi}{2} * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a}; \quad (2.6)$$

$$l = 2 * 600 + \frac{3.14}{2} * (160 + 112) + \frac{(160 - 112)^2}{4 * 600} = 1628 \text{ мм.}$$

Отримане значення приймаємо за стандартом з ряду чисел  $l = 1600$  мм [14-17].

Уточнимо значення міжосьової відстані  $a$  за стандартною довжиною  $l$ :

$$a = \frac{1}{8} \left\{ 2 * l - \pi * (d_2 + d_1) + \sqrt{[2 * l - \pi * (d_2 + d_1)]^2 - 8 * (d_2 - d_1)^2} \right\}, \quad (2.7)$$

$$a = \frac{1}{8} \left\{ 2 * 1600 - 3.14 * (160 + 112) + \sqrt{[2 * 1600 - 3.14 * (160 + 112)]^2 - 8 * (160 - 112)^2} \right\} = 585 \text{ мм}$$

Кут обхвату пасом ведучого шківа:

$$\alpha_1 = 180 - 57 * \frac{d_2 - d_1}{a}, \quad (2.8)$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 * \frac{160 - 112}{585} = 175 \text{ град.}$$

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		





$$A = 2.8 * 63 = 176.4 \text{ мм}^2.$$

Сила попереднього натягу паса:

$$F_0 = A * \sigma_0 \quad (2.15)$$

де  $\sigma_0 = 2 \text{ Н/мм}^2$  – попереднє напруження.

$$F_0 = 176.4 * 2 = 352.8 \text{ Н.}$$

Сили натягу ведучої  $F_1$  та веденої  $F_2$  гілок паса:

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2}; \quad F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2}, \quad (2.16)$$

$$F_1 = 352.8 + \frac{94.6}{2} = 400.1 \text{ Н}; \quad F_2 = 352.8 - \frac{94.6}{2} = 305.5 \text{ Н.}$$

Сила тиску паса на вал:

$$F_{OP} = 2 * F_0 * \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right), \quad (2.17)$$

$$F_{OP} = 2 * 352.8 * \sin\left(\frac{175}{2}\right) = 704.9 \text{ Н.}$$

Міцність паса за максимальним напруженням в перерізі ведучої гілки:

$$\sigma_{MAX} = \sigma_1 + \sigma_H + \sigma_v \leq [\sigma]_p, \quad (2.18)$$

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		





$$F_T = \frac{2 * T_1}{d} \quad (2.22)$$

$T_1$  - крутний момент електродвигуна,

$$T_1 = \frac{N_{ДВГ} * 10^3}{2 * \pi * m_{ДВГ}}, \quad (2.23)$$

$$T_1 = \frac{1.5 * 10^3}{2 * 3.14 * 935} = 0.26 \text{ Нм}$$

$$F_T = \frac{2 * 0.26}{0.024} = 1.7 \text{ Н},$$

де  $A_{зМ}$  - площа зминання,

$$A_{зМ} = \frac{h - t_1}{L_p}, \quad (2.24)$$

$$A_{зМ} = \frac{7 - 4}{37} = 0.08 \text{ мм}^2,$$

де  $[\sigma_{зМ}] = 110-195 \text{ Н/мм}^2$  - допустиме напруження зминання.

$$\sigma_{зМ} = \frac{1.7}{0.08} = 21.3 \text{ Н/мм}^2.$$

Умова міцності виконується: вибираємо шпонку 87x36 ИСО 3912-77.

### 2.2.5 Розрахунок болтового з'єднання

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Під час роботи стенду болтове з'єднання працює на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{4F}{\pi * d^2 * i} \leq [\tau_{зр}], \quad (2.25)$$

де  $F$  - зовнішня сила,

$$F = \frac{2 * T_{ВИХ}}{d} \quad (2.26)$$

$d = 60$  мм – діаметр болтового з'єднання.

$$F = \frac{2 * 507.9}{0.06} = 16930 \text{ Н,}$$

$i = 1$  - число площин зрізу;

$[\tau_{зр}] = 120$  МПа - допустиме напруження на зріз; для сталі 40Х [17].

$$\tau_{зр} = \frac{4 * 16930}{3.14 * 60^2 * 1} = 6 \text{ МПа}$$

Міцність виконується.

### 2.2.6 Розрахунок гвинтового з'єднання

Сила затиску  $W$ :

$$W = Q \cdot \frac{l}{r_{сер} * tg(\alpha + \varphi_{зг})}, \quad (2.27)$$

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



$$F = \frac{W}{[\delta_p] * 0.5}, \quad (2.30)$$

$$F = \frac{200}{80 * 10^6 * 0.5} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Діаметр гвинта:

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi}}, \quad (2.31)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 5 * 10^{-6}}{3.14}} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

За умовою жорсткості приймаємо  $d = 28$  мм. За ДЕСТ 9484-81 приймаємо трапецеїдальну різьбу трап. 28x8 [16]. Умова самогальмування гвинта  $\alpha < 6,56^\circ$ . Кут підйому різьби:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{2 * \pi * r_{зр}}, \quad (2.32)$$

де  $P$  – крок різьби, мм.

$$r_{зр} = \frac{d - 0.94 * P}{2}, \quad (2.33)$$

$$r_{зр} = \frac{28 - 0.94 * 8}{2} = 11.24 \text{ мм,}$$

						МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{8}{2 * 3,14 * 11,24} = 0,113,$$

Звідси  $\alpha = \operatorname{arctg} 0,113 = 6^\circ$ ,

$6 < 6,56 \Rightarrow$  умова самогальмування виконується.

### 2.2.7 Розрахунок осі

Хитний важіль впливає на вісь, що викликає навантаження і деформації; тому вісь розраховують на деформацію зрізу:

$$\tau_{зр} = \frac{4F}{\pi * d^2 * i} \leq [\tau_{зр}], \quad (2.34)$$

де  $F = 33860$  Н – сила, яка діє на вісь у двох напрямках;

$d$  - діаметр осі, мм;

$i = 2$  - число площин зрізу;

$[\tau_{зр}] = 140$  МПа - допустиме напруження на зріз для сталі 45Х [17].

$$140 = \frac{4 * 33860}{3,14 * d^2 * 2}$$

$$d = 12,4 \text{ мм.}$$

Так як діаметр валу повинен бути  $d > 12,4$  мм, то приймаємо  $d = 16$  мм за ДЕСТ 3467-98.

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 Дослідження міцності деталей стану правки дисків автомобілів за допомогою SolidWorks

#### 3.1 Загальна класифікація програмних продуктів сучасного ринку САПР

Широкий розвиток комп'ютерних технологій у сучасному освітньому середовищі призводить до процесів глибокого вивчення сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) – [22-24].

Сучасні САПР дозволяють вести проектування комплексно, починаючи з постановки завдання та закінчуючи отриманням креслень та програм для обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Сучасний ринок САПР пропонує широкий спектр програмних продуктів для вирішення великого кола завдань. Незважаючи на відсутність чітко зазначених меж, усі ці продукти можна класифікувати за рівнями (рис. 3.1 – [24]).

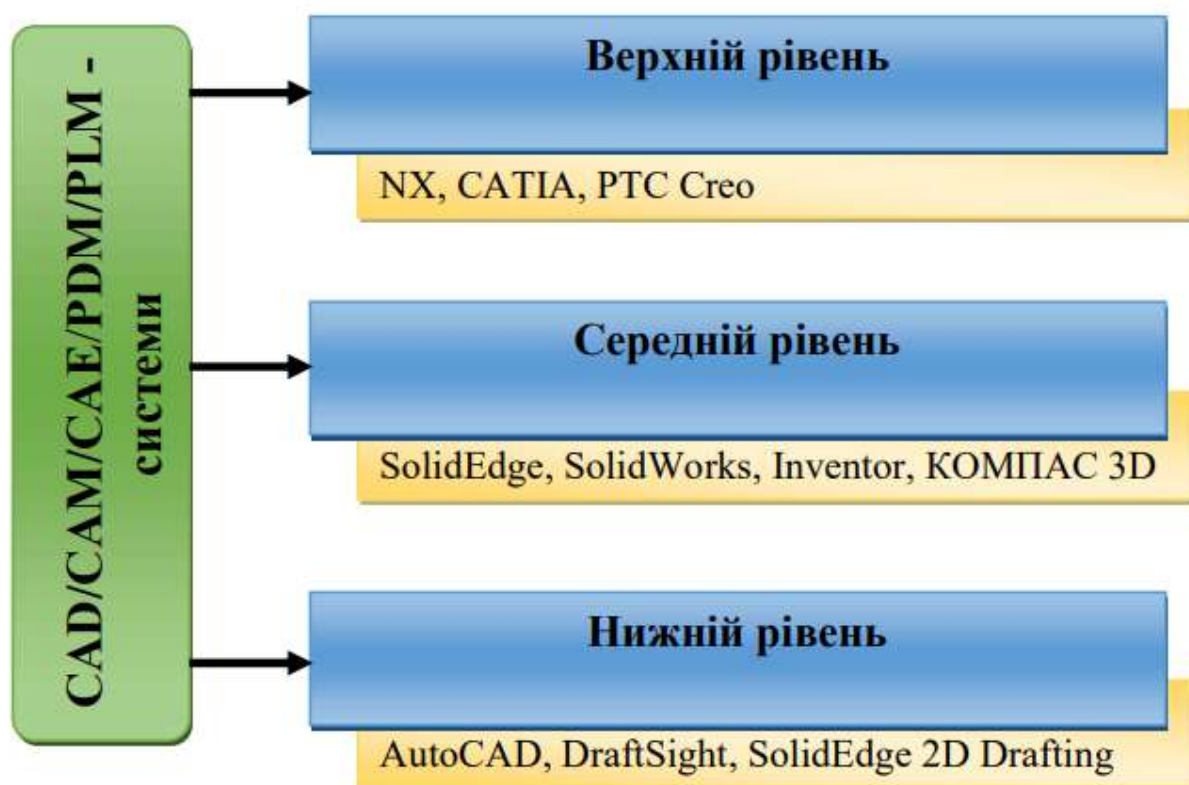


Рисунок 3.1 – Класифікація CAD/CAM/CAE/ PDM/PLM-систем [24]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Верхній рівень – багатофункціональне інтегрування системи з єдиною структурою даних та набором проблемно-орієнтованих додатків, а також вузькоспеціалізовані системи (ANSYS, CATIA, EDS/Unigraphics, Pro/ENGINEER, EUCLID, Inventor, NASTRAN, ALIAS, ADAMS, I-DEAS та ін.). Як технічні засоби найчастіше використовуються робочі станції під управлінням операційних систем Microsoft Windows NT, UNIX-SGI, RS/6000, HP, SUN.

Середній рівень – представлений групою функціонально-незалежних продуктів, які працюють на основі єдиної структури даних або повністю узгоджених за поданням інформації. Як правило, пакети цього класу випускаються промисловими партнерами розробника структури даних базової системи моделювання (Mechanical Desktop, PRELUDE, DesignSpace, Dinamic Designer Motion, Moldflow, SolidWorks та ін.).

Багато з перерахованих пакетів орієнтовані на структуру ACIS; деякі на ядро Parasolid або на власні процедури опису даних. Технічним забезпеченням для функціонування систем середнього рівня є обчислювальні машини з процесором класу “Pentium III-IV” під керуванням операційної системи Microsoft Windows NT або Microsoft Windows XP.

Нижній рівень – сукупність програм, орієнтованих на оформлення конструкторської й технологічної документації. Ці програми не пов'язані єдиною структурою даних; їх функціональні можливості обмежені плоским (або наближеним тривимірним уявленням) машинобудівного об'єкта.

Але програми цього рівня істотно підвищують темпи та якість паперової випускної документації (AutoCAD, T-Flex, КОМПАС та ін.). Системи нижнього рівня встановлюються на персональних комп'ютерах Pentium II-III і вище під керуванням операційних систем Windows 95 і вище.

У 1983 р. була адаптована для персонального комп'ютера найбільш поширена в світі САПР – AutoCAD фірми Autodesk, Inc. Однак зарубіжні САПР не тільки не враховують наші промислові стандарти, а й передбачають додаткову кваліфікацію користувачів. Численні спроби адаптувати систему AutoCAD до потреб вітчизняного конструктора сприяли появі безлічі нових систем.

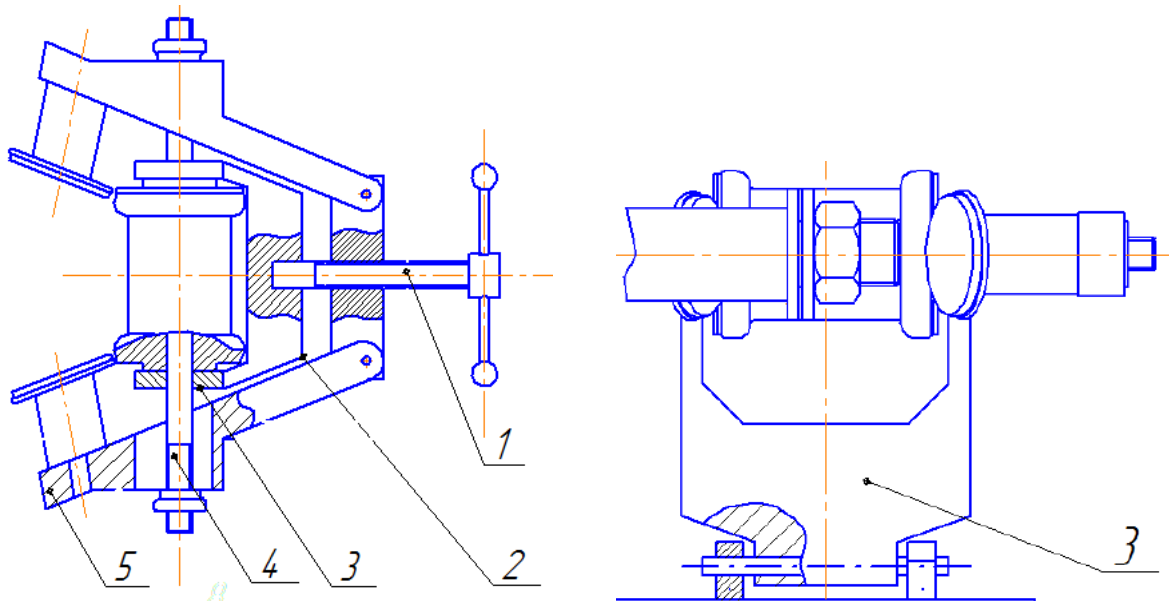
### 3.2 Етапи життєвого циклу виробів

						MPTAM 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			





важеля 3 (рис. 3.2) є для правки деформованих штампованих дисків коліс легкових автомобілів.



1 – гвинт; 2 – коромисло; 3 – хитний важіль ; 4 – шпилька; 5 – важіль

**Рисунок 3.2 – Робоча частина стану для правки деформованих штампованих дисків коліс легкових автомобілів**

Основними причинами погіршення технічних характеристик шин є ударні навантаження під час руху на підвищених швидкостях по дорогах з покриттям низької якості. Биття колеса викликає його невірноваженість відносно осі, зменшує силу зчеплення шин з опорною поверхнею, знижує термін служби шини, амортизаторів, елементів рульового керування.

Спроекований станд призначений для правки деформованих штампованих дисків коліс легкових автомобілів по реборді та її основі. Станд стаціонарний, з ручним гвинтовим приводом. Метод правки профілю обода – обкатка роликами: диск за допомогою планшайби закріплюється на валу, який обертається; при цьому опорні та притискні ролики впливають на пошкоджені ділянки із силою, достатньою для відновлення геометрії диска. У результаті його деформація повністю усувається.

Базовою деталлю колеса є диск, жорсткість та геометричні параметри якого суттєво впливають на безпеку руху й стійкість автомобіля під час руху.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.

Під дією ударних навантажень виникають локальні деформації диска, в тому числі осьовий зсув його окремих ділянок. Для забезпечення можливості подальшого використання диску необхідно відновити його геометричні показники.

І хоча відновлення геометрії обода колеса не викликає утруднення та не вимагає значних матеріальних витрат, для цього потрібне спеціальне устаткування – стенди правки.

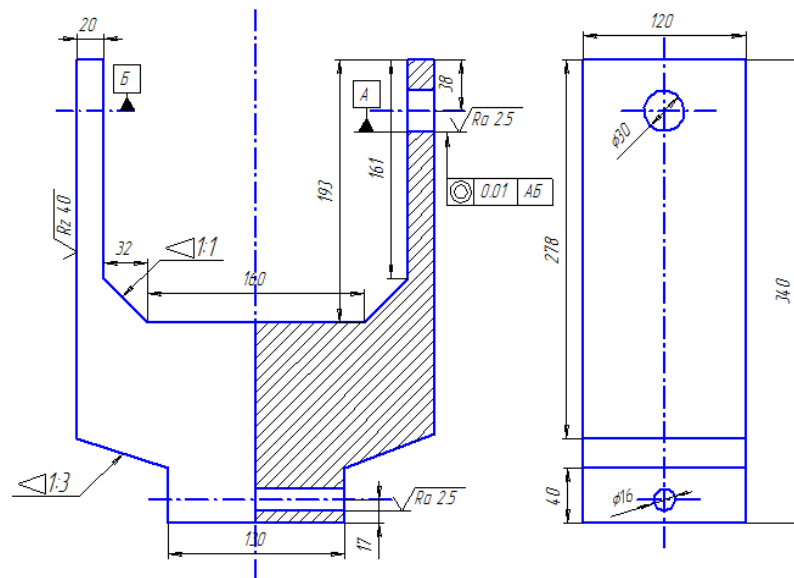
Верстати та стенди для правки дисків використовуються в автосервісах і майстернях у випадках, якщо автомобільний диск був пошкоджений: у багатьох випадках можна обійтися без дорогої покупки, оскільки відновлення обійдеться набагато дешевше.

Досліджуваний стенд призначений для правки деформованих штампованих дисків коліс легкових автомобілів по реборді та її основі. Стенд стаціонарний, з ручним гвинтовим приводом. Метод правки профілю обода – обкатування роликами: диск за допомогою планшайби закріплюється на валу, який обертається; при цьому опорні та притискні ролики впливають на пошкоджені ділянки з силою, достатньою для відновлення геометрії диска. У результаті його деформація повністю усувається.

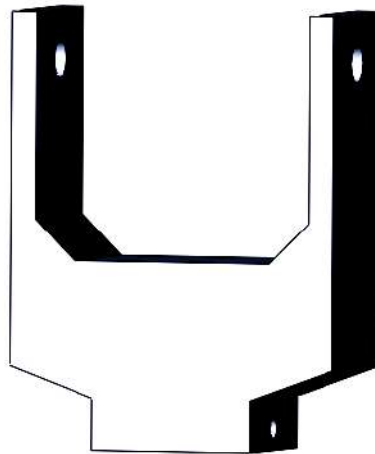
Задачею дослідження ставилось визначення працездатності хиткого важеля при допустимому коефіцієнті запасу міцності  $[n] = 1,5$ .

Одним з можливих шляхів рішення задач механіки деформованого твердого тіла є використання інформаційних технологій, а саме систем автоматизованого проектування та інженерного аналізу – CAD/CAE-систем. У цьому плані визначаючими є програмні системи, які інтегруються у геометричні системи автоматизованого проектування (САПР). Структура САПР включає модулі для створення розрахункової моделі й обробки результатів моделювання.

Для даного дослідження у CAD-системі SolidWorks створили геометричну модель хитного важеля (рис. 3.3). Її потім використали для розрахунків у додатку SolidWorks – CAE-системі SolidWorks Simulation.



а



б

**Рисунок 3.3– Креслення хитного важеля хитного (а) та його 3D-модель (б)**

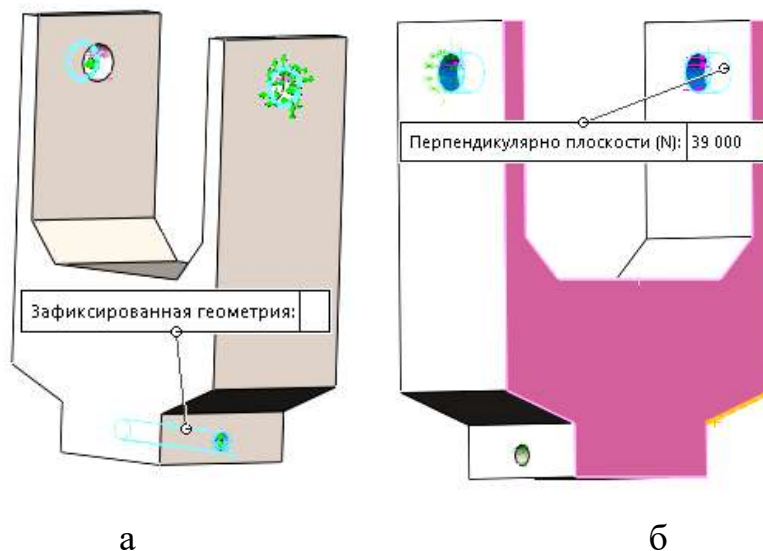
Наступний етап: вибрали з бібліотеки SolidWorks матеріал, з якого виготовлений важіль – сталь 45 ГОСТ 535-88 (модуль пружності  $E = 2,04 \cdot 10^5$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,3$ , межа міцності при розтягу  $\sigma = 980$  МПа).

Продовження: дефініція опор важеля (моделювали деформацію зовнішніх кромek) та прикладення навантаження 3860 кг (прийняли 39000 Н згідно [3] – формула 2.34 – рис. 3.4).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

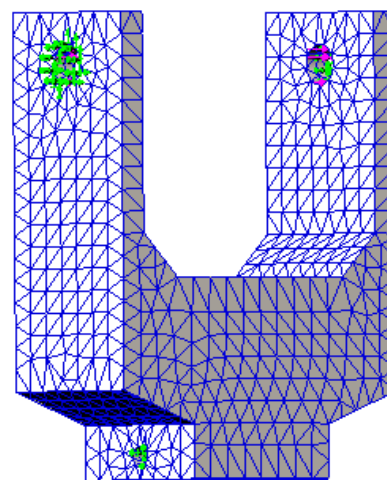
Арк.



**Рисунок 3.4 – Дефініція опор хитного важеля (а) та прикладення до нього навантаження (б)**

Потім провели поділ моделі на елементи, з'єднані у вузлах: програма аналізу скінченних елементів розглянула модель як сітку (рис. 3.5).

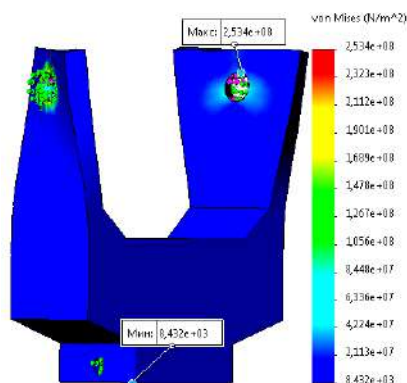
Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический анализ 1 (1-1)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 точек
Размер элемента	16,8864 mm
Допуск	0,844318 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	13645
Всего элементов	8555
Максимальное соотношение сторон	4,8089
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99,6
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
Процент искаженных элементов	0
Число искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:08



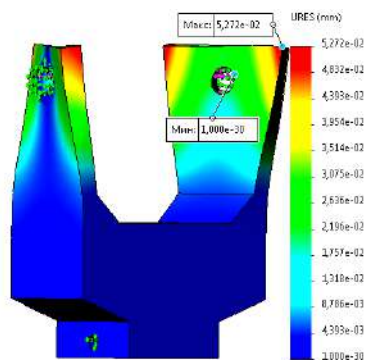
**Рисунок 3.5 – Параметри сітки (а) та її відображення (б) на моделі хитного важеля**

Подальшими розрахунками визначили параметри статичного аналізу (рис. 3.6). При цьому мінімальний запас міцності становив  $n = 3,275$  (вузол 13172), що більше допустимого  $[n] = 1,5$ . Але для остаточного висновку відносно

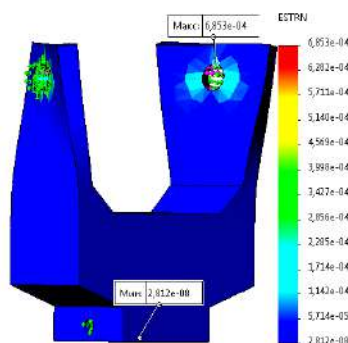
працездатності досліджуваного стенду необхідно провести аналогічні розрахунки для інших його деталей.



а



б



в

**Рисунок 3.6 – Епюри сумарних напружень von Mises (а), переміщень URES (б), еквівалентних деформацій ESTRN (в) хитного важеля**

Таким чином, за допомогою САД-системи SolidWorks та її додатку – САЕ-системи SolidWorks Simulation доведена працездатність хитного важеля

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.





**Рисунок 3.8 – Тривимірна модель гвинта**

Наступний етап – інженерні розрахунки за допомогою додатка SolidWorks Simulation за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ), який полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченно великим числом ступенів свободи сукупністю підобластей (або елементів), які мають скінченне число ступенів свободи. Між окремими елементами встановлюється взаємозв'язок. Поведінка математичної моделі, таким чином, апроксимується поведінкою дискретної моделі, яка одержана шляхом збирання або ансамблювання усіх елементів.

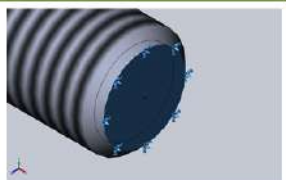
Для цього:

– з бібліотеки SolidWorks вибрана сталь 20Г ГОСТ 535-88, з якої виготовлений гвинт (рис. 3.9);

Имя:	Сталь 20Г ГОСТ 535-88
Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises
Предел текучести:	2.8e+008 N/m <sup>2</sup>
Предел прочности при растяжении:	4.6e+008 N/m <sup>2</sup>
Модуль упругости:	2.05e+011 N/m <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона:	0.29
Массовая плотность:	7830 kg/m <sup>3</sup>
Модуль сдвига:	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>
Коэффициент теплового расширения:	1.22e-005 /Kelvin

**Рисунок 3.9 – Матеріал силового гвинта стенду**

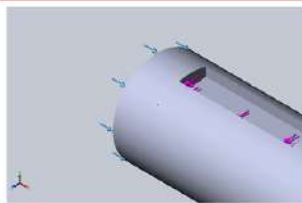
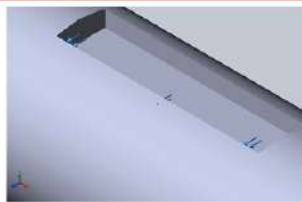
– модель закріплюється (рис. 3.10);

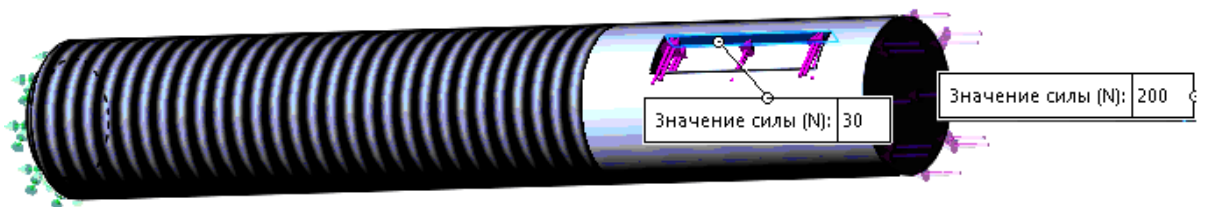
Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления				
Зафиксированный-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Зафиксированная геометрия</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Зафиксированная геометрия
Объекты:	1 грани					
Тип:	Зафиксированная геометрия					

**Рисунок 3.10 – Закріплення моделі гвинта**

– до моделі прикладаються зовнішні навантаження: осьова сила (рис. 3.11 – формула 2.29);

Результирующие силы				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила реакции(N)	-200.002	-0.00338044	-30.0011	202.24
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные						
Сила-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Приложить нормальную силу</td> </tr> <tr> <td>Значение:</td> <td>200 N</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Приложить нормальную силу	Значение:	200 N
Объекты:	1 грани							
Тип:	Приложить нормальную силу							
Значение:	200 N							
Сила-2		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Приложить нормальную силу</td> </tr> <tr> <td>Значение:</td> <td>30 N</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Приложить нормальную силу	Значение:	30 N
Объекты:	1 грани							
Тип:	Приложить нормальную силу							
Значение:	30 N							



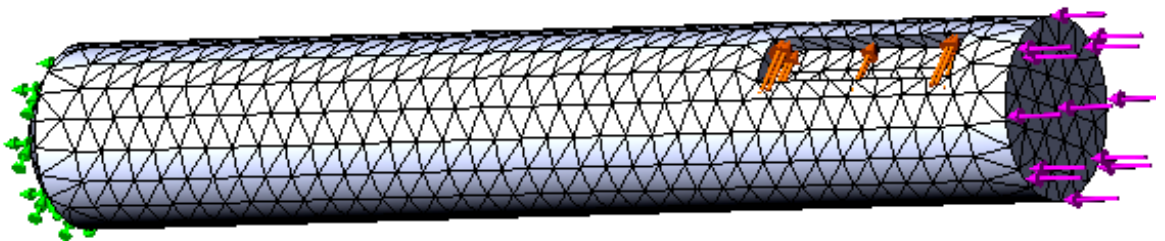
**Рисунок 3.11 – Зовнішні навантаження на силовий гвинт стенду**

– тіло розділяється на скінченні елементи (рис. 3.11);

### Сетка Детализация

Имя исследования	Статический анализ 2 (-
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	6.81807 mm
Допуск	0.340904 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	10571
Всего элементов	6749
Максимальное соотношение сторон	3.6055
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99.9
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
‰ искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:03

а



б

**Рисунок 3.11 – Параметры сітки (а) та скінченно-елементна модель гвинта (б)**

- будуються матриці жорсткості;
- проводиться синтез скінченно-елементної моделі з окремих елементів з урахуванням умов закріплення конструкції у вузлових точках;
- розв’язується одержана система алгебраїчних рівнянь і визначаються компоненти напружено-деформованого стану (рис. 3.12).

### Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	-200.002	-0.00338044	-30.0011	202.24

### Моменты реакции

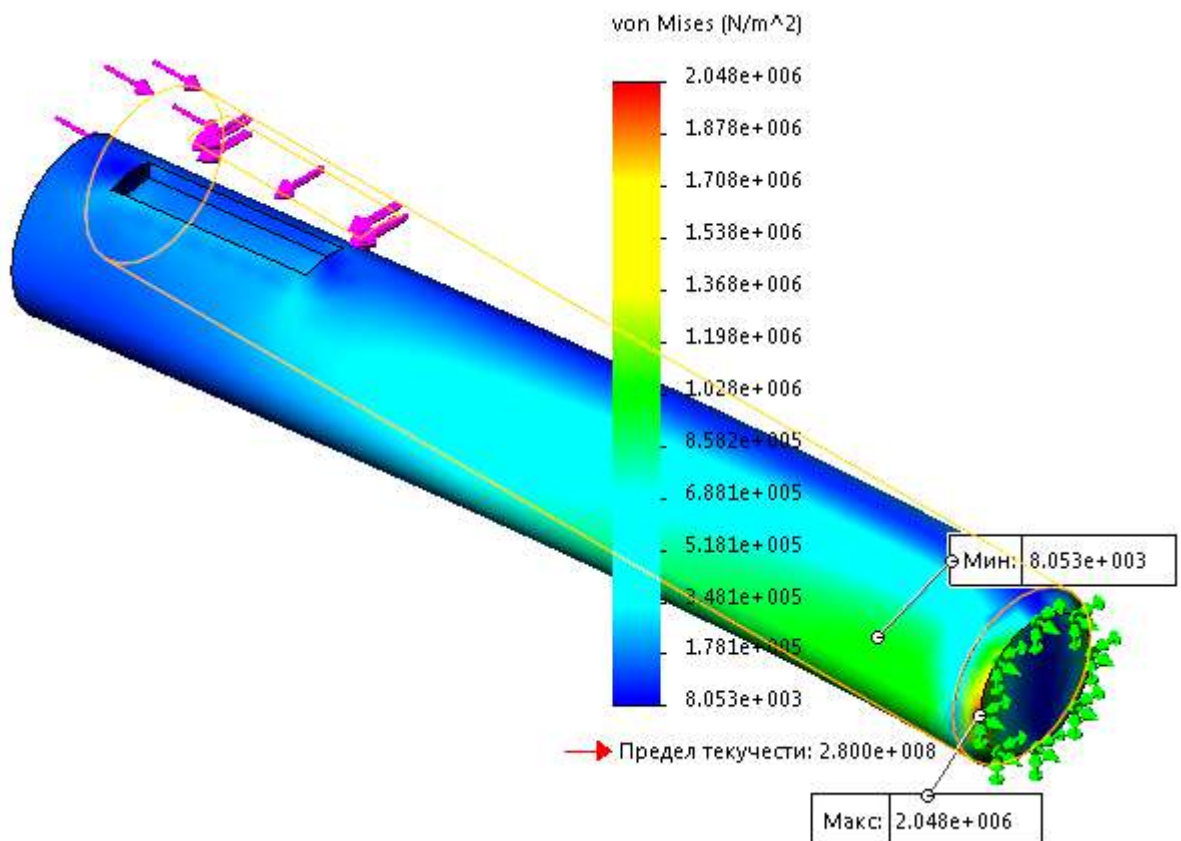
Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	0

**Рисунок 3.12 – Силы та моменти реакції для гвинта**

Результаты расчетов изображаются в виде цветового градиента, який показує зміною кольору розподіл розрахованих параметрів:

– напряжень у моделі (рис. 3.13);

Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	8053.42 N/m <sup>2</sup> Узел: 3401	2.04832e+006 N/m <sup>2</sup> Узел: 15

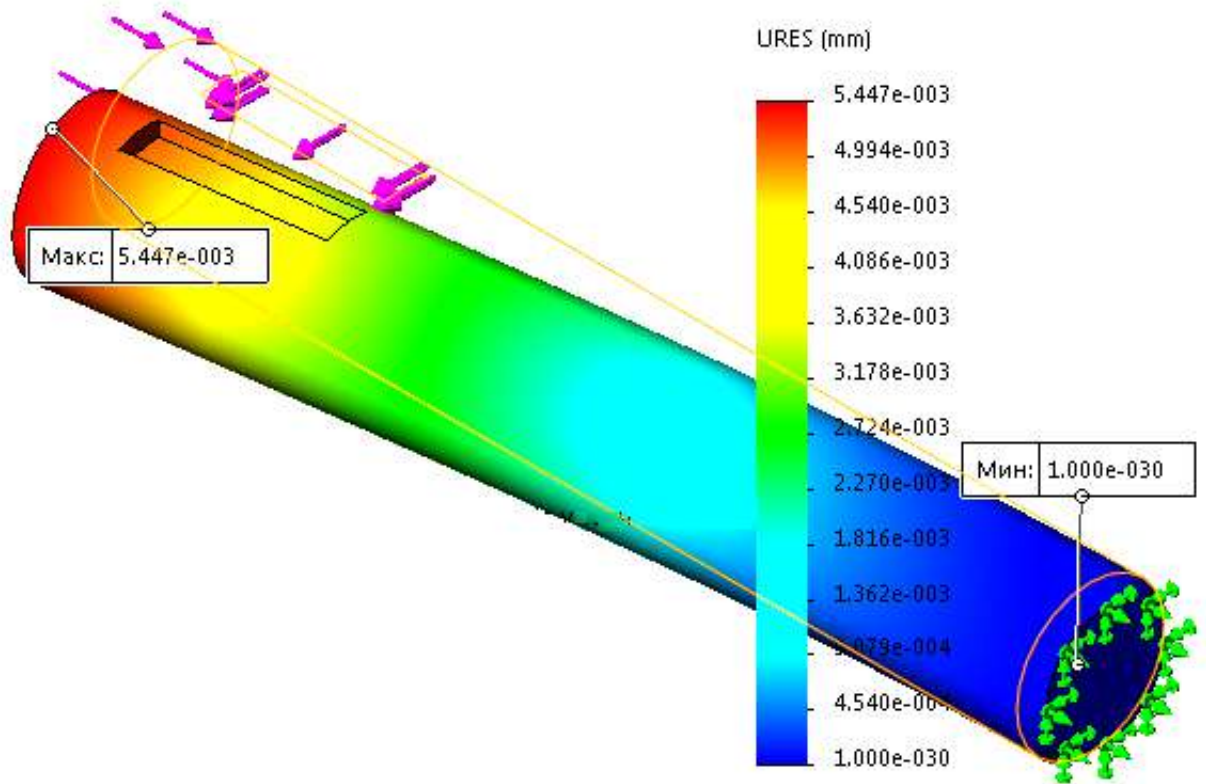


**Рисунок 3.13 – Контурний графік сумарних напряжень von Mises моделі силового гвинта стенду**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

– переміщень моделі (рис. 3.14);

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 1	0.00544748 mm Узел: 305



**Рисунок 3.14 – Контурний графік сумарних переміщень URES моделі  
силового гвинта стенду**

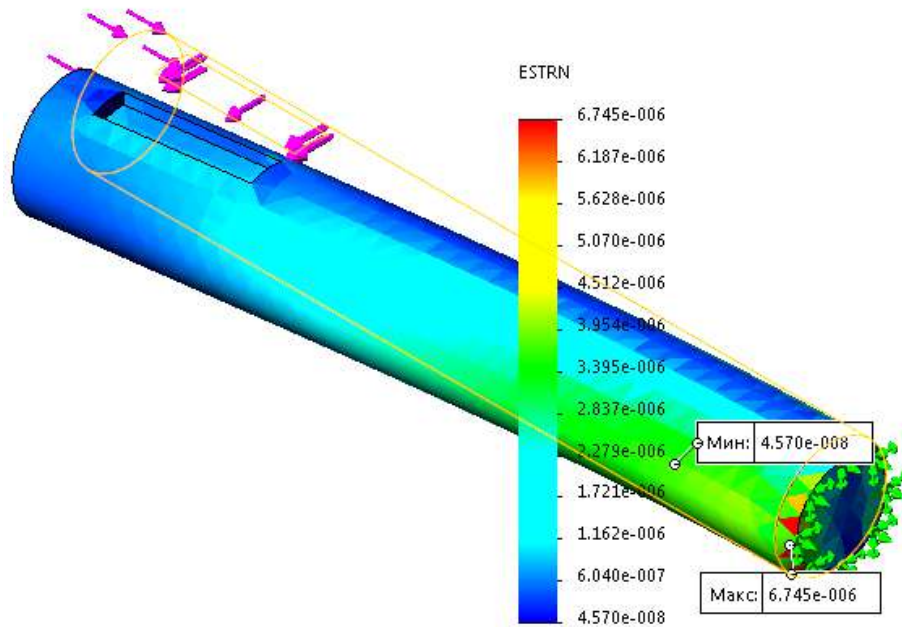
– деформації моделі (рис. 3.15);

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	4.57039e-008 Элемент: 6532	6.74499e-006 Элемент: 2722

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

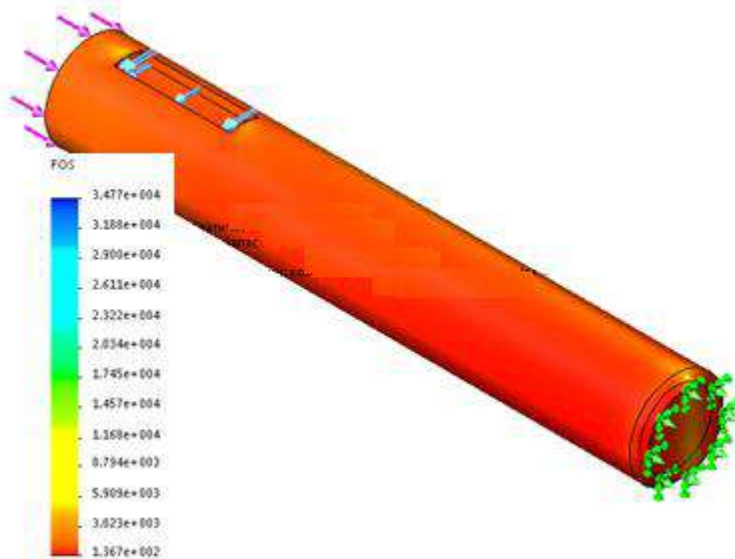
Арк.



**Рисунок 3.15 – Контурний графік сумарних деформацій ESTRN моделі силового гвинта стенду**

– запасу міцності моделі (рис. 3.16);

Имя	Тип	Мин	Макс
Запас прочности1	Авто	136.698 Узел: 15	34767.9 Узел: 3401



**Рисунок 3.16 – Контурний графік запасу міцності FOS моделі гвинта**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.

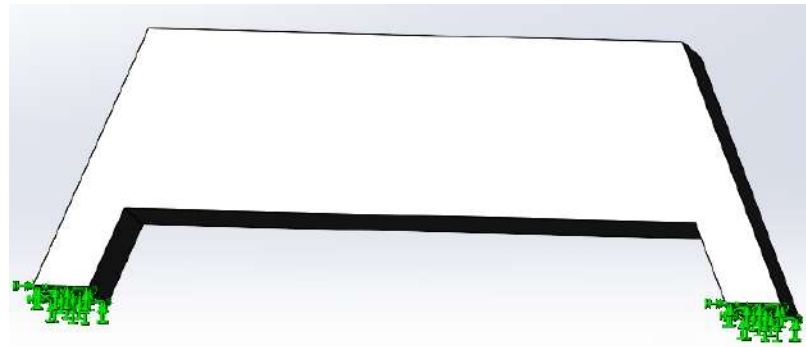




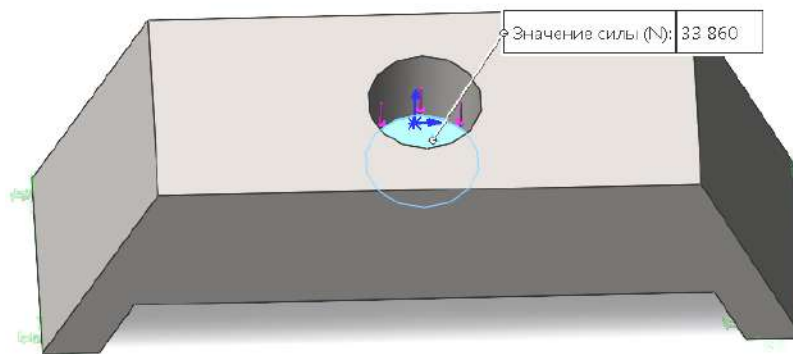




Наступні етапи – дефініція опор коромисла та прикладення навантаження – формула 2.34 (рис. 3.21).



а



б

**Нагрузки и крепления**

Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления		
Зафиксированный-1		Объекты: 2 грани Тип: Зафиксированная геометрия		
<b>Результирующие силы</b>				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила реакции(N)	0,826782	33 857,9	1,06146	33 857,9
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-1		Объекты: 1 грани Тип: Приложить нормальную силу Значение: 33 860 N

**Рисунок 3.21 – Дефініція опор коромисла (а) та прикладення навантаження (б)**

Скінченно-елементна модель коромисла наведена на рис. 3.22.

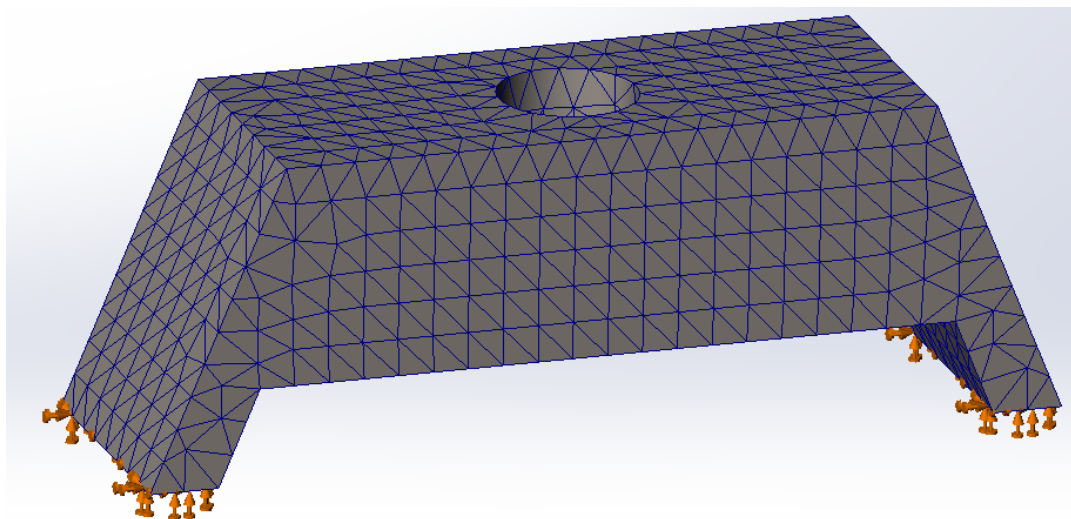
#### Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 Точки
Размер элемента	10,3069 mm
Допуск	0,515347 mm
Качество сетки	Высокая

#### Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	10985
Всего элементов	6966
Максимальное соотношение сторон	3,2752
% элементов с соотношением сторон < 3	99,9
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:01
Имя компьютера:	

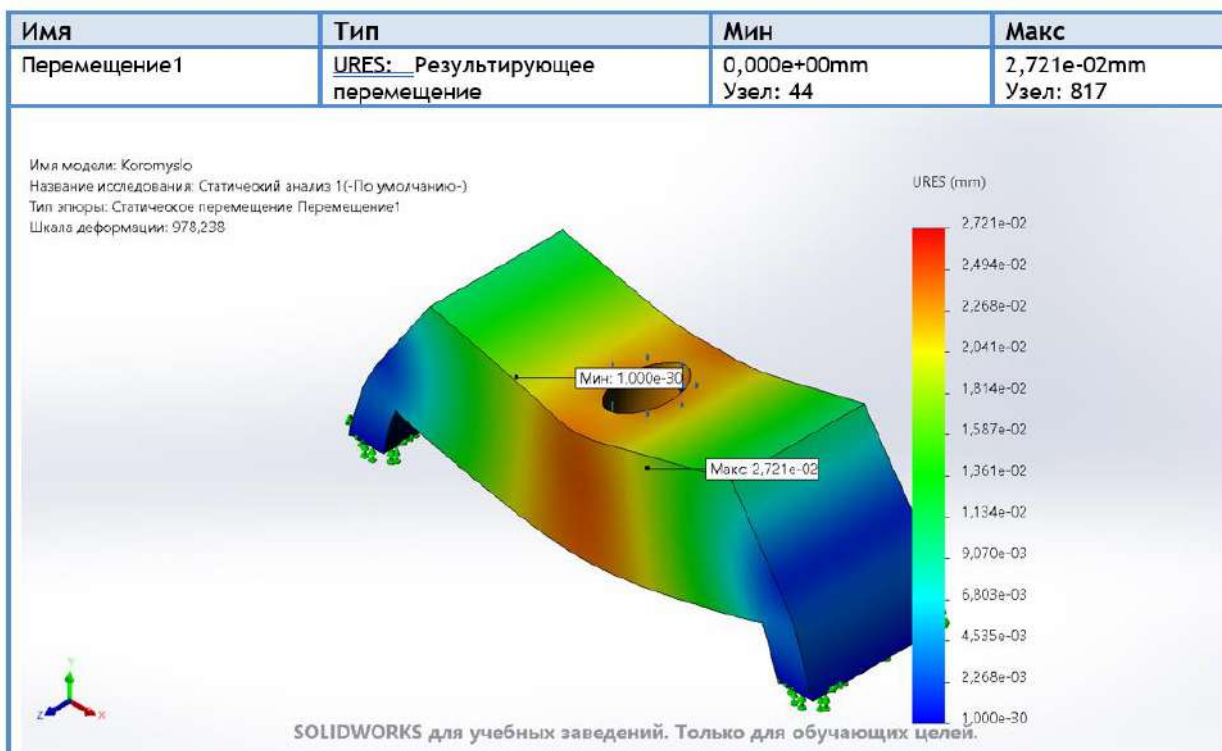
а



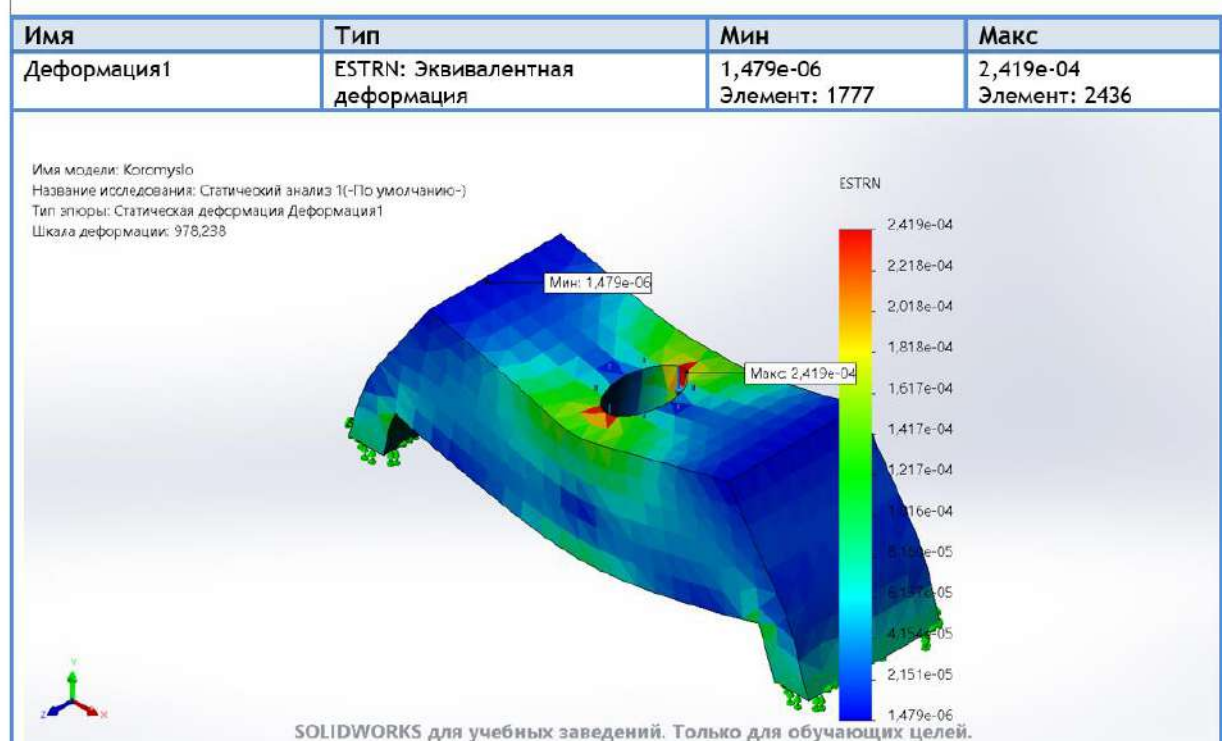
б

Рисунок 3.22 – Параметры сітки (а) та її відображення на моделі коромисла (б)





в – результуючі переміщення моделі коромисла

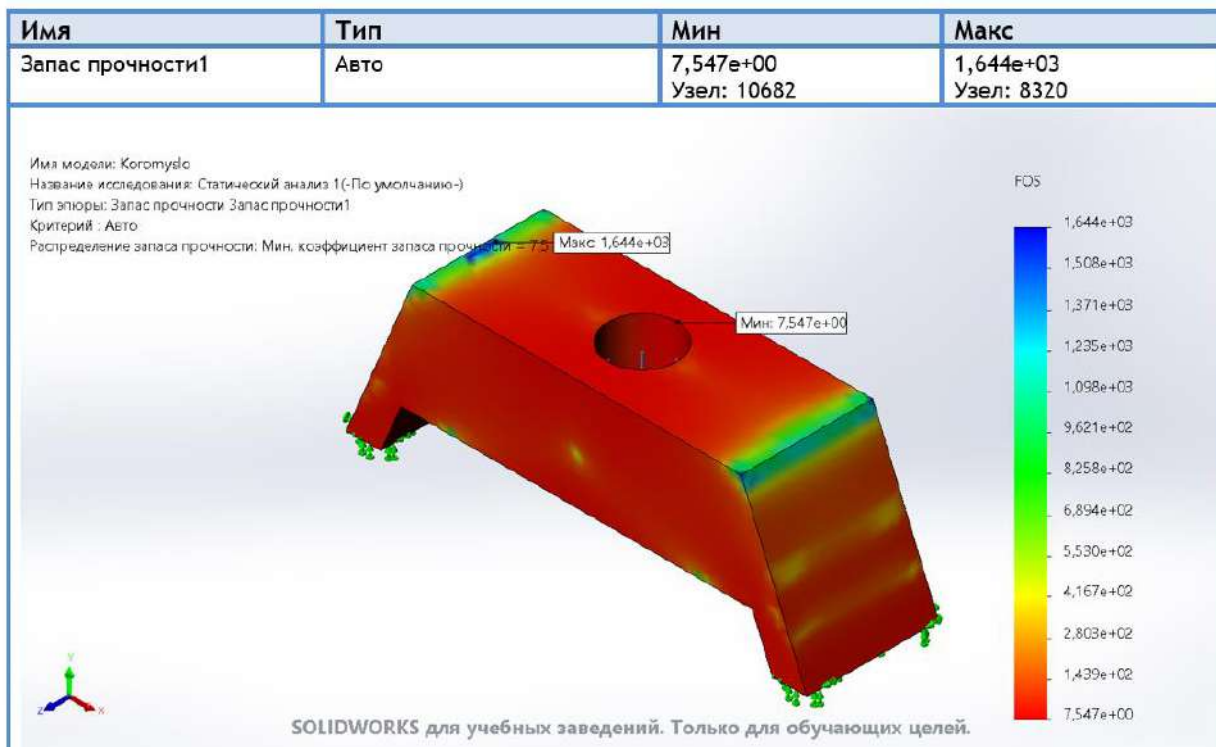


г – результуюча еквівалентна деформація моделі коромисла

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.



д – запас міцності моделі коромисла

**Рисунок 3.23 – Результати розрахунків моделі коромисла**

Таким чином, так як мінімальний запас міцності  $n = 7.547$ , що більше допустимого  $[n] = 1,5$ .то коромисло працездатне.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.









**Додатки**

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Наукові праці

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Міністерство освіти і науки  
Український державний університет науки і технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
Криворізький національний університет  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Херсонський національний технічний університет  
Чорноморський державний університет імені П. Могили  
Aalto University (Університет Аалто, Фінляндія)  
American University of Central Asia (Бішкек, Киргизстан)  
Tallinna Tehnikaülikool (Таллінн, Естонія)  
AGH University of Science and Technology (Краків, Польща)  
Ariel University (Аріель, Ізраїль)  
Politechnika Rzeszowska (Жешув, Польща)  
Michigan State University (Іст-Лансінг, США)



**ПРОГРАМА**  
Міжнародної науково-технічної конференції  
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ в**  
**МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ**

**PROGRAM**  
of Scientific and Technical International Conference  
**INFORMATION TECHNOLOGY IN**  
**METALLURGY AND MACHINE ENGINEERING**

18 травня 2022 року

**Дніпро**

**Рудик О.Ю., Соколов О.В.**

Проектування стенду правки ободів коліс з використанням SolidWorks

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

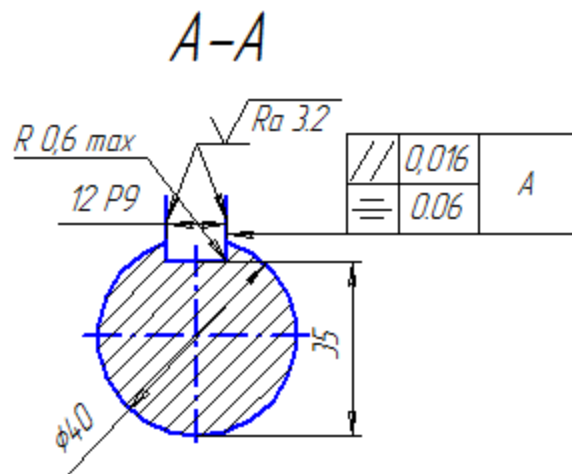
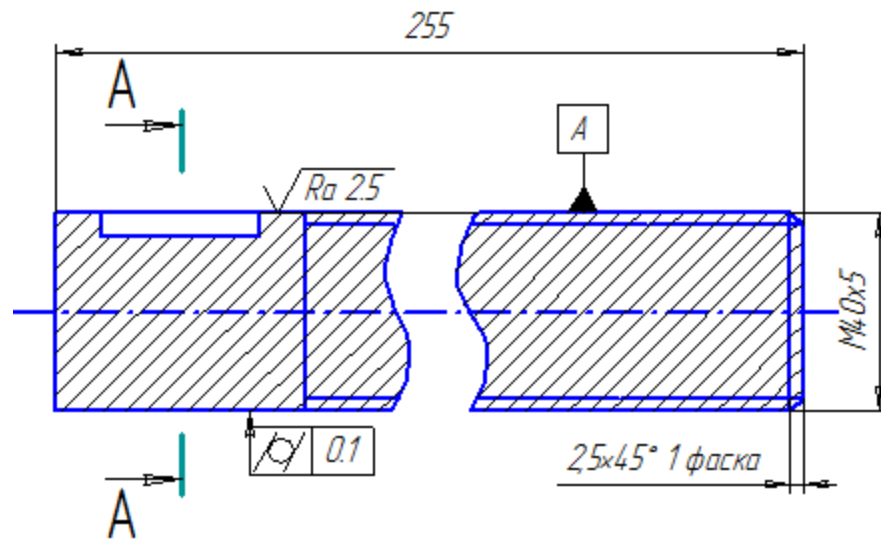
МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.



Графічне забезпечення дипломної роботи

					МРТАМ 2217128.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

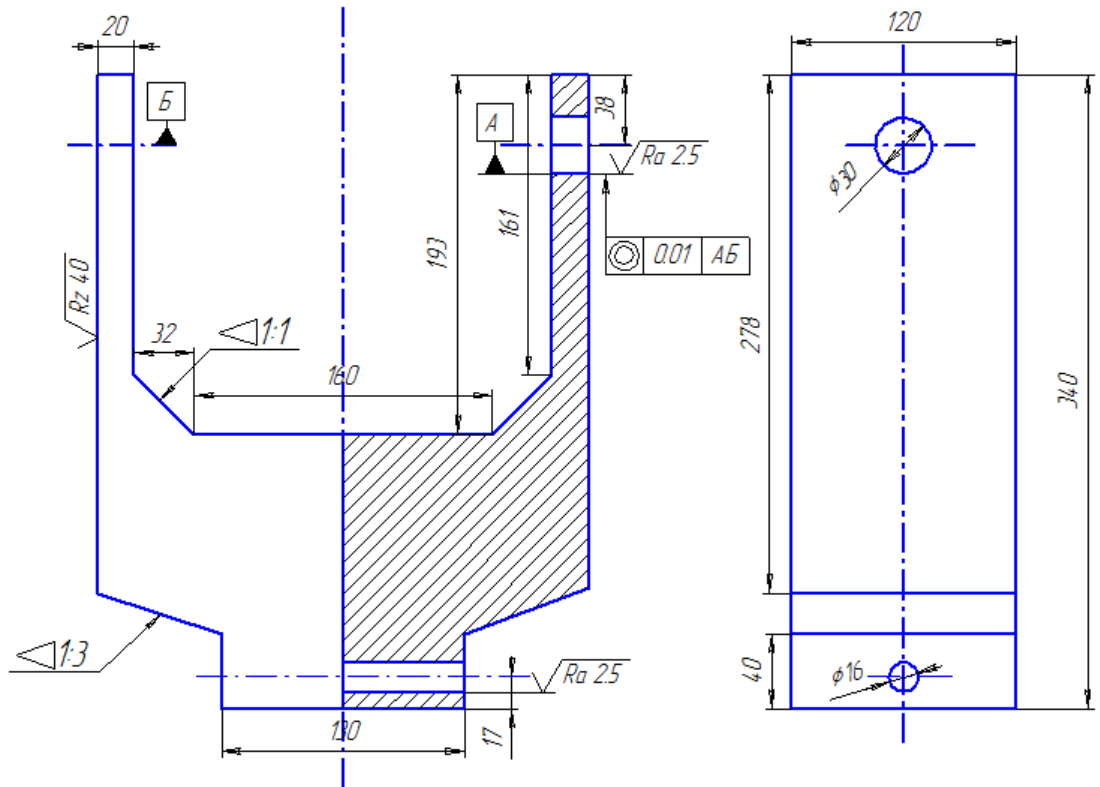


**Рисунок Б1 – Силовий гвинт стенду (Compas-3D).  
Матеріал – Сталь 20Г ДЕСТ 4543-71**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.

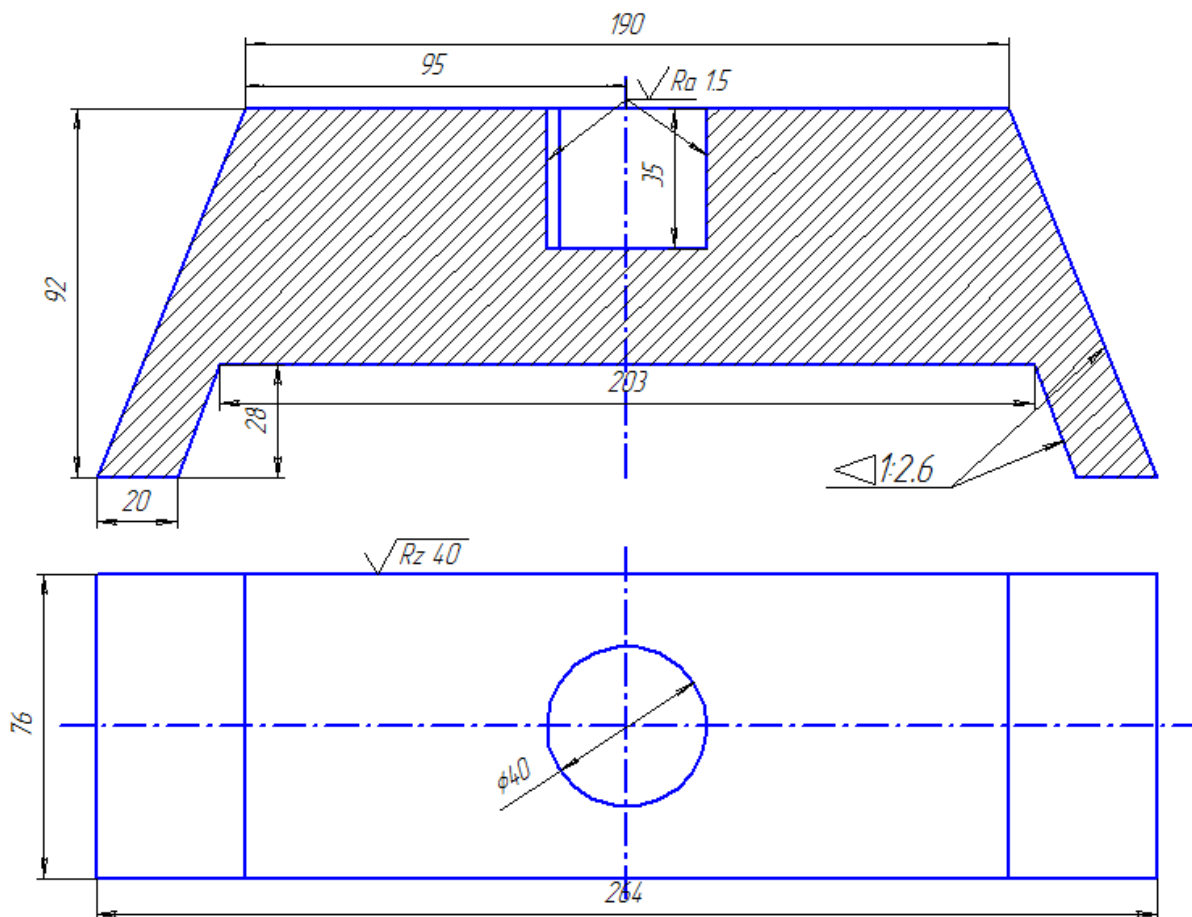


**Рисунок Б2 – Хитний важіль стану (Compas-3D).  
Матеріал – Сталь 45 ДЕСТ 1050-88**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.



**Рисунок Б3 – Коромисло стенду (Compas-3D).**

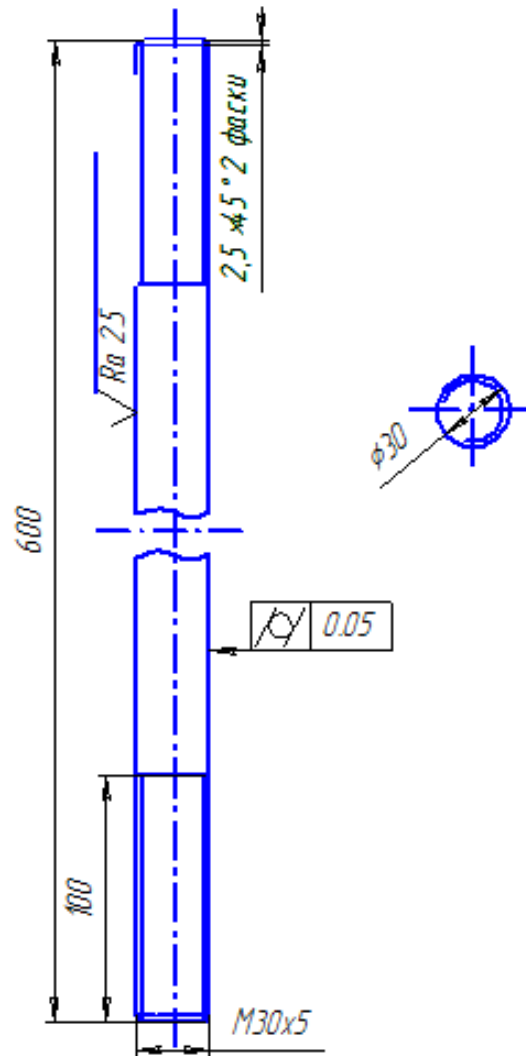
**Матеріал – Сталь 45 ДЕСТ 1050-88**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.





**Рисунок Б4 – Шпилька стенду (Compas-3D).**

**Матеріал – Сталь 45Х ДЕСТ 14543-71**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРТАМ 2217128.000 ПЗ

Арк.