

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 працездатності  
стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою  
SolidWorks»

Шифр МРТAM 2217126.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВAm-21-1

Підпис

А.В. Ліщук

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.

О.В. Духа

Ініціали, прізвище

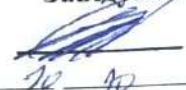
7 12 2022р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Світньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»  
Світньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

 проф., д.т.н. Диха О.В.  
2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ліщуку Артему Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема проекту (роботи) Розробка проекту та дослідження працездатності стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою SolidWorks

Рівень 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; нормативно-технологічна документація для проектування стенду діагностики трансмісії автомобілів.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Призначення трансмісії та її загальні дані.
2. Конструювання стенду діагностики трансмісії автомобілів.
3. Дослідження працездатності деталей стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою SolidWorks.
4. Планування та розрахунок дільниці для проведення діагностування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
Графічну частину проекту представити у вигляді презентації на слайдах

| консультанта | видав | завдання<br>прізвище |
|--------------|-------|----------------------|
|              |       |                      |
|              |       |                      |
|              |       |                      |
|              |       |                      |
|              |       |                      |
|              |       |                      |
|              |       |                      |


7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_


### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)       | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Прізвище |
|-------|--|---|----------|
| 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

Керівник проекту (роботи)

  
 \_\_\_\_\_  
 Підпис

  
 \_\_\_\_\_  
 Підпис

А.В. Ліщук  
 Ініціали, прізвище

О.Ю. Рудик  
 Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

**Обсяг пояснювальної записки** – 112 сторінок, кількість рисунків – 47, таблиць – 2, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 28.

**Об'єкт дослідження:** проект стенду діагностики трансмісії автомобілів та дослідження працездатності його деталей за допомогою SolidWorks Simulation.

**Мета роботи:** розробка проекту стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою SolidWorks.

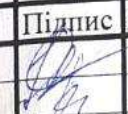


**Результати та їх новизна:** розроблений проект стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою SolidWorks. Перевірними розрахунками деталей у SolidWorks Simulation підтверджена його працездатність. Спроектована виробнича дільниця для проведення діагностування трансмісії автомобілів.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:** розроблений проект стенду та спроектована виробнича дільниця діагностики трансмісії автомобілів.

**Перелік ключових слів:** АВТОМОБІЛЬ, ТРАНСМІСІЯ, ДІАГНОСТИКА, СТЕНД, ДІЛЬНИЦЯ.

## Зміст

|  |           |
|--|-----------|
| Вступ.....   | 6         |
| <b>1 Призначення трансмісії та її загальні дані .....</b>                              | <b>8</b>  |
| 1.1 Зчеплення .....  | 9         |
| 1.2 Коробка передач.....   | 11        |
| 1.3 Карданна передача .....  | 13        |
| 1.4 Задній міст.....   | 14        |
| 1.5 Обґрунтування необхідності розробки стенду діагностики трансмісії автомобілів..... | 16        |
| 1.5.1 Основні поняття та принципи діагностування.....                                  | 16        |
| 1.5.2 Основи технічної діагностики автомобілів .....                                   | 17        |
| 1.5.3 Вимоги до технічного діагностування автомобілів .....                            | 18        |
| 1.5.4 Ефективність організації діагностики.....  | 18        |
| <b>2 Конструювання стенду діагностики трансмісії автомобілів.....</b>                  | <b>20</b> |
| 2.1 Принцип роботи стенду діагностики .....  | 21        |
| 2.2 Вимоги до експлуатації стенду діагностики .....                                    | 22        |
| 2.3 Розрахунок стенду.....   | 23        |
| 2.3.1 Вибір редуктора .....  | 23        |
| 2.3.2 Розрахунок ланцюгової передачі .....   | 24        |
| 2.3.3 Розрахунок калібруючого валу .....   | 32        |
| 2.3.4 Перевірка довговічності підшипників .....  | 38        |
| 2.3.5 Перевірка міцності шпонкового з'єднання.....                                     | 40        |

|                      |       |          |   |      |   |                  |       |         |
|----------------------|-------|----------|---|------|---|------------------|-------|---------|
| МРТАМ 2217126.000 ПЗ |       |          |   |      |   |                  |       |         |
|                      |       |          |   |      |   |                  |       |         |
| Зм.                  | Арк.  | Нодокум. | Підпис  | Дата | Розробка проекту та дослідження<br>працездатності стенду діагностики<br>трансмісії автомобілів за допомогою<br>SolidWorks | Літера           | Аркуш | Аркушів |
| Виконав              | Ліщук |          |  |      |   |                  | 4     |         |
| Перевір.             | Рудик |          |  |      |   | ХНУГр.МТВАм-21-1 |       |         |
| Н.контр.             | Бабак |          |  |      |   |                  |       |         |
| Затвер.              | Диха  |          |   |      |   |                  |       |         |

# Зміст

Вступ.....

## 1 Призначення трансмісії та її загальні дані.....

1.1 Зчеплення .....

1.2 Коробка передач.....

1.3 Карданна передача .....

1.4 Задній міст.....

1.5 Обґрунтування необхідності розробки стенду діагностики трансмісії автомобілів.....

1.5.1 Основні поняття та принципи діагностування .....

1.5.2 Основи технічної діагностики автомобілів.....

1.5.3 Вимоги до технічного діагностування автомобілів.....

1.5.4 Ефективність організації діагностики .....

## 2 Конструювання стенду діагностики трансмісії автомобілів .....

2.1 Принцип роботи стенду діагностики .....

2.2 Вимоги до експлуатації стенду діагностики .....

2.3 Розрахунок стенду.....

2.3.1 Вибір редуктора .....

2.3.2 Розрахунок ланцюгової передачі .....

2.3.3 Розрахунок калібруючого валу .....

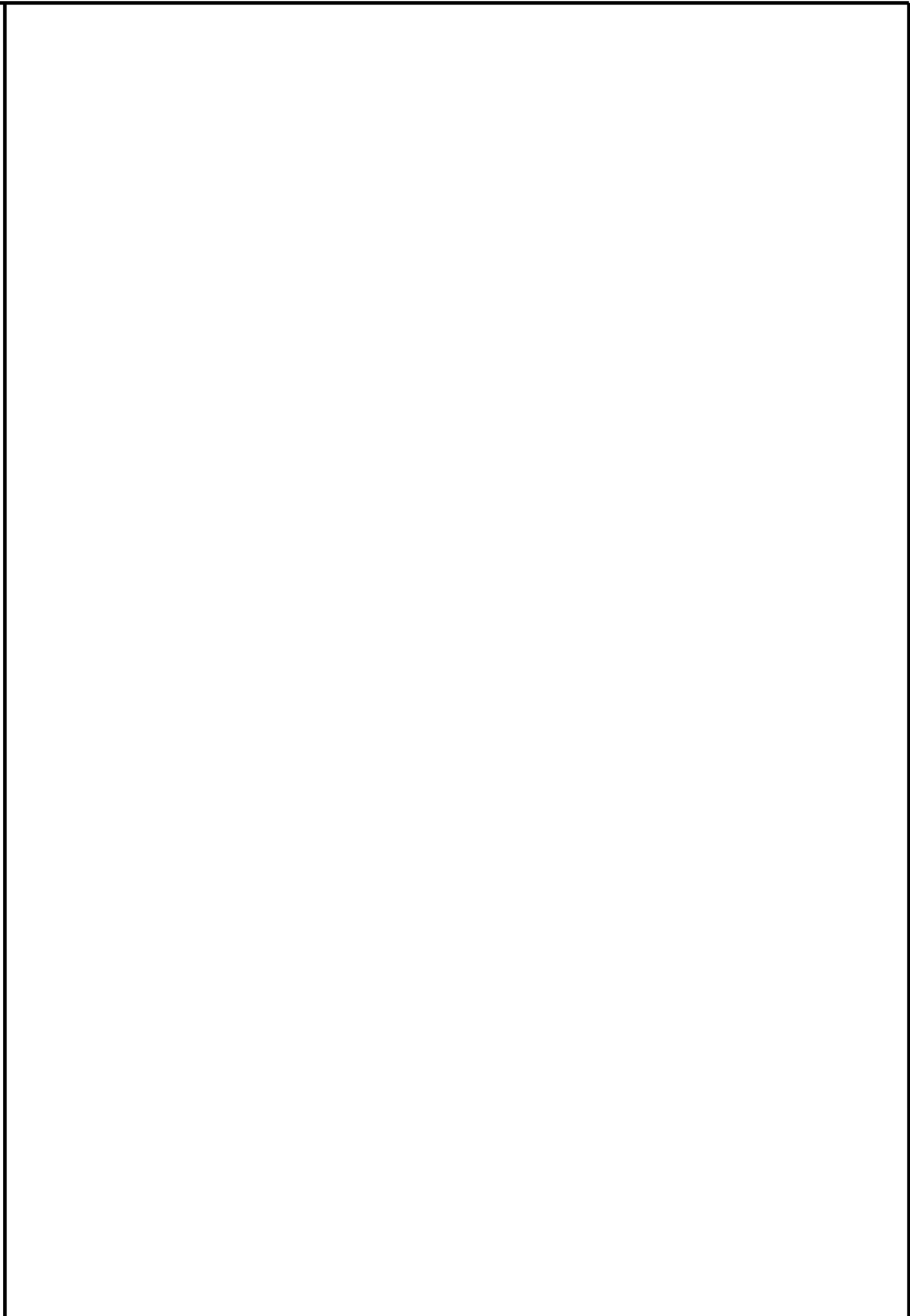
2.3.4 Перевірка довговічності підшипників.....

2.3.5 Перевірка міцності шпонкового з'єднання.....

|          |       |         |        |      |  |                  |       |         |
|----------|-------|---------|--------|------|--|------------------|-------|---------|
|          |       |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ   |                  |       |         |
| Зм.      | Арк.  | №докум. | Підпис | Дата |  |                  |       |         |
| Виконав  | Ліщук |         |        |      | Розробка проекту та дослідження працездатності стенду діагностики трансмісії автомобілів за допомогою SolidWorks | Літера           | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | Рудик |         |        |      |  |                  | 4     |         |
| Н.контр. | Бабак |         |        |      |  | ХНУгр.МТВАм-21-1 |       |         |
| Затвер.  | Диха  |         |        |      |  |                  |       |         |







|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |















оброблені отвори для чотирьох болтів, якими до картера кріпляться пластини і щити гальм.

До консольних частин верхньої половини картера приварені дві подушки для встановлення пружин підвіски, кронштейни для кріплення верхніх штанг підвіски, кронштейн для важеля приводу регулятора тиску задніх гальм та деякі інші деталі.

До консольних частин нижньої половини картера прикріплені зварюванням кронштейни кріплення нижніх штанг та амортизаторів задньої підвіски.

Механізм головної передачі з диференціалом заднього моста розміщений у чавунному литому картері. При монтажі він встановлюється в картер заднього моста таким чином, що у зібраному вигляді утворилась єдина жорстка система, що має власну масляну ванну.

До балки заднього моста кріпиться редуктор, у якому розташовані головна передача і диференціал. Ведуча і ведена шестірні головної передачі спарені по контакту та шуму, тому при пошкодженні однієї з них замінюються обидві.

Несправності заднього моста [2]:

- стукоти, шуми і вібрації під час роботи;
- сильне нагрівання під час руху;
- шум на поворотах;
- порушення регулювань у підшипниках і зубчастих передачах;
- люфтом і збільшенням механічних втрат унаслідок спрацювання або поломки зубів шестерень;
- спрацюванням підшипників та їхніх посадкових місць;
- підтікання мастила.

### **1.5 Обґрунтування необхідності розробки стенду діагностики трансмісії автомобілів**

Трансмісія автомобілів працює в умовах високих знакозмінних динамічних навантажень [2]. Основні її робочі деталі перебувають під високими питомими навантаженнями і напруженнями. Тому важко досягти потрібної надійності й довговічності трансмісії в період експлуатації автомобілів.

При проведенні загальне діагностування трансмісії визначаються:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | MPTAM 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

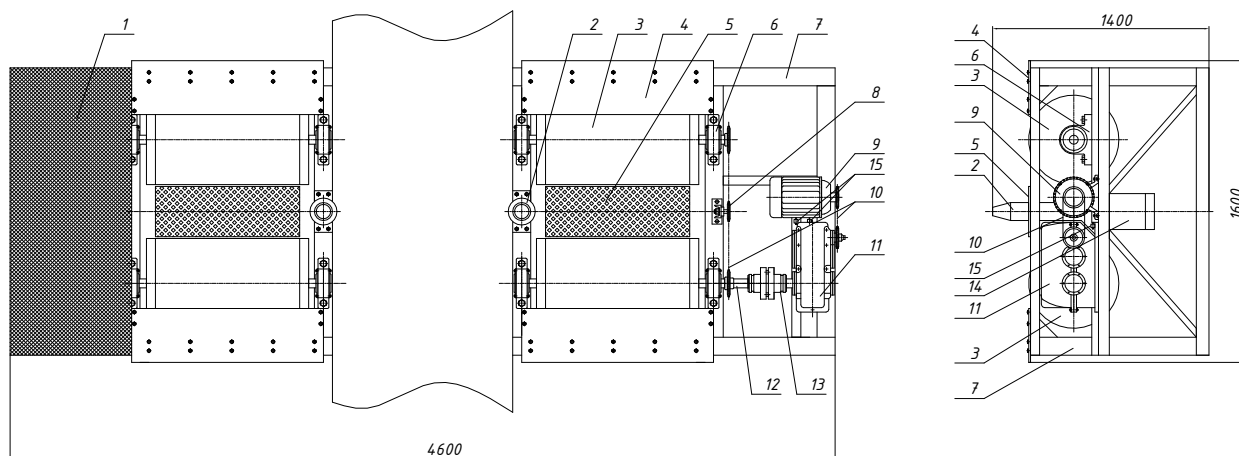






## 2 Конструювання стенду діагностики трансмісії автомобілів

Загальний вид діагностичного стенду зображений на рис. 2.1.



1 – захисний майданчик; 2 – ролик відбійний; 3 – барабан; 4 – трап з'їзду; 5 – піднімач пневматичний; 6 – підшипникова опора; 7 – рама; 8 – натягувач ланцюгової передачі; 9 – двигун; 10 – ланцюгова передача; 11 – редуктор; 12 – муфта; 13 – вал; 14 – пневмоциліндр; 15 – натягувач

**Рисунок 2.1 – Стенд діагностики**

Стенд діагностики складається з рами, електрогальма, механізму передачі, пульта управління, рідинного реостата і восьми комплектів вібраційних датчиків діагностики.

Рама зібрана з металоконструкції (сталевих рівномісних куточків, швелерів, труби квадратного перетину) за допомогою зварного і болтового з'єднання. На рамі встановлені два блоки роликів (правий і лівий) аналогічних за конструктивним виконанням.

Кожен блок включає пару циліндричних барабанів з відбійними шайбами, які запобігають можливому переміщенню автомобіля або а убік. Барабани встановлені на підшипниках кочення й між собою зв'язані ланцюговою передачею. Блок барабанів з'єднаний через передаючий механізм з електрогальмом. Передаючий механізм сконструйований із сполучної пружної втулково-пальцевої муфти, двоступінчастого циліндричного редуктора і ланцюгової передачі з натягувачем.

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.



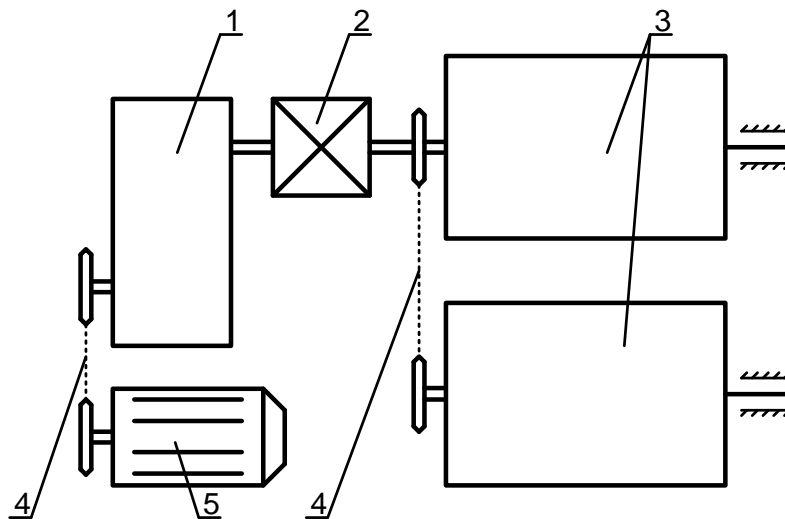


Окрім цього, необхідно періодично перевіряти правильність показників датчиків системи вимірів, регулярно — стан ізоляції дротів та якість їх заземлення.

## 2.3 Розрахунок стенду

### 2.3.1 Вибір редуктора

Проведемо розрахунок і підбір механізмів передачі крутного моменту від блоку барабанів до електрогальма. Даний механізм складається з: пружної втулково-пальцевої муфти, двоступінчастого циліндричного редуктора і ланцюгової передачі. Кінематична схема наведена на рис. 2.2.



1 – редуктор; 2 – пружна пальцева муфта; 3 – блок барабанів; 4 – ланцюгова передача; 5 – електрогальмо

**Рисунок 2.2 – Кінематична схема привода**

Підбір сполучної муфти за максимальним крутним моментом, створеним ведучими колесами:

- тягова сила 3000 кгс;
- максимальний крутний момент на ведучих колесах  $M_{кр} = 375$  Нм.

Муфту підбираємо із стандартного ряду [19];

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

- діаметр валу  $d = 45$  мм);
- допустимий розрахунковий момент  $M_p = 450$  Нм;
- максимальна частота обертів  $n_{max} = 3350$  об/хв..

Підбираємо двоступінчастий редуктор із стандартного ряду марки Ц2-350 по передаваному крутному моменту, зусиллі й частоті для забезпечення необхідних оборотів на електрогальмі.[16]:

- міжосьова відстань тихохідної ступені 200 мм; швидкохідної ступені 250 мм;
- номінальні передаточне число 28;
- номінальний крутний момент на тихохідному валу 300 кгс м;
- номінальне радіальне навантаження на вихідному валу 2800 кгс м.

### 2.3.2 Розрахунок ланцюгової передачі

Початкові дані:

- передавана потужність ведучою зірочкою  $N = 3.8$  кВт;
- частота обертання ведучої зірочки  $n_1 = 1560$  об/хв., веденої  $n_2 = 1030$  об/хв.;
- навантаження рівномірне, лінія центрів під кутом  $\beta = 0^\circ$ .

Передаточне число передачі [16]:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.1)$$

$$i = \frac{1650}{1030} = 1,5$$

По [16] приймаємо число зубів зірочки  $z_1 = 14$ .

Число зубів веденої зірочки:

$$z_2 = i * z_1 \quad (2.2)$$

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |





$$[p] = 51 * [1 + 0,01 * (14 - 21)] = 54,6 \text{ Н / мм}^2.$$

Зусилля  $p \leq [p]$ .

Зусилля у ланцюгу від провисання [18]:

$$P_f = 9,81 * k_f * q * a_y \quad (2.10)$$

де  $k_f = 1,5$  – коефіцієнт, що враховує вплив розташування передачі;

$q = 1,5 \text{ кг/м}$  – маса 1м ланцюга;

$a_y$  – міжосьова відстань, м;

$$a_y = 30 * t = 30 * 19,05 = 585 \text{ мм} = 0,58 \text{ м},$$

приймаємо  $a_y = 0,6 \text{ м}$ .

Зусилля у ланцюзі від відцентрових сил [15]:

$$P_f = 9,81 * k_f * q * a_y \quad (2.11)$$

$$P_f = 9,81 * 1,5 * 1,5 * 0,6 \approx 12,4 \text{ Н}$$

$$P_v = q * v^2 \quad (2.12)$$

$$P_v = q * v^2 = 1,5 * 0,44^2 \approx 0,29 \text{ Н}$$

Розрахункове навантаження на вали [16]:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$R_y = P + 2 * P_f \quad (2.13)$$

$$R_y = 8636 + 2 * 12,4 = 8660 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу міцності ланцюга на розтягування [17]:

$$n = \frac{9,81 * Q}{P + P_v + P_f} \quad (2.14)$$

де  $Q$  – розривна сила ланцюга, кгс.

$$n = \frac{9,81 * 3180}{8660 + 0,29 + 7,72} \approx 25,3$$

$n \geq [n]$ ,  $[n] = 7,5$  – по [19].

Основні розміри зірочок [20]:

$$d_{a_1} = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}} \quad (2.15)$$

$$d_{a_1} = \frac{19,05}{\sin \frac{180}{14}} = 85,8 \text{ мм}$$

$$D_{e_1} = \frac{t}{\text{tg} \frac{180^\circ}{z_1}} + 0,6 * t \quad (2.16)$$

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |

$$D_{e1} = \frac{19,05}{\operatorname{tg} \frac{180^0}{14}} + 0,6 * 19,05 = 92,3 \text{ мм}$$

Маточина зірочки  $d_{\text{мат}} = 1,6 * 20 = 32 \text{ мм}$ , приймаємо 32 мм,  
 $l_{\text{мат}} = (1,2 - 1,6) * 20 = 24 - 32 \text{ мм}$ , приймаємо  $l_{\text{мат}} = 32 \text{ мм}$ .

Розраховуємо зірочку, що передає крутний момент. Ланцюг приймаємо стандартним втулково-роликівим ПР-19,05-3180-1 за ДЕСТ 13568-75:  
 $t = 19,05 \text{ мм}$ ,  $Q = 31800 \text{ Н}$ ,  $q = 1,5 \text{ кг/м}$ ,  $F = 105,8 \text{ мм}^2$ , приймаємо  
 $\kappa_p = 1,25$ ,  $[p] = 23 \text{ Н/мм}^2$ ,  $M = 52 \text{ Н/м} = 52 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}$ ,  $N = 0,54 \text{ кВт}$ .

Швидкість ланцюга [15]:

$$v = \frac{z_1 * t * n_p}{60 * 10^3} \quad (2.17)$$

$$v = \frac{17 * 19,05 * 99}{60 * 10^3} = 0,53 \text{ м/с}$$

Колова сила [20]:

$$P_{\text{кол}} = \frac{N}{v} \quad (2.18)$$

$$P_{\text{кол}} = \frac{0,54 * 10^3}{0,53} = 1018 \text{ Н}$$

Тиск у шарнірі [19]:

$$p = \frac{P_{\text{кол}} * \kappa_p}{F} \quad (2.19)$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$p = \frac{1018 * 1,25}{105,8} = 12 \text{ Н / мм}^2$$

По [20] допустимий тиск  $[p] = 31 \text{ Н / мм}^2$

Зусилля  $p \leq [p]$ .

Зусилля в ланцюгу від провисання [18]:

$$P_f = 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a_y \quad (2.20)$$

де  $k_f = 1,5$  – коефіцієнт, що враховує вплив розташування передачі;

$q$  – маса 1м ланцюга,  $q = 1,5 \text{ кг / м}$ ;

$a_y$  – міжосьова відстань, м;

$$a_y = 50 * t = 50 * 19,05 = 950 \text{ мм} = 0,95 \text{ м}$$

$$P_f = 9,81 * 1,5 * 1,5 * 0,95 \approx 21 \text{ Н}$$

Зусилля в ланцюзі від відцентрових сил [16]:

$$P_f = 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a_y; \quad (2.21)$$

$$P_v = q * v^2 = 1,5 * 0,53^2 \approx 0,42 \text{ Н}$$

Розрахункове навантаження на вали [19]:

$$R_y = P + 2 * P_f = 1018 + 2 * 21 = 1060 \text{ Н} \quad (2.22)$$

Коефіцієнт запасу міцності ланцюга на розтяг [17]:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Попередній розрахунок на кручення по знижених допустимих напруженнях [16].

Діаметр валу під веденою зірочкою при допустимому напруженні  $[\tau_k] = 25 \text{ Н/мм}^2$ :

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 * M_k}{\pi * [\tau_k]}} \quad (2.26)$$

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{3 * 52 * 10^3}{3,14 * 25}} = 19,6 \text{ мм}$$

Приймаємо:

- $d_B = 20 \text{ мм}$ ;
- діаметри під підшипники кочення  $d_n = 20 \text{ мм}$ ;
- діаметр під зірочкою, яка передає крутний момент валу ( $z = 17$ )  $d_B = 22 \text{ мм}$ ;
- діаметр валу під дисками сортування  $d = 25 \text{ мм}$ .

Приймаємо підшипники кочення 1204 ДЕСТ 28428-90 з розмірами  $d = 20 \text{ мм}$ ,  $D = 47 \text{ мм}$ ,  $B = 14 \text{ мм}$ , динамічною вантажепід'ємністю  $C = 7,5 \text{ кН}$ , статистичною вантажепід'ємністю  $C_0 = 3,18 \text{ кН}$ ,  $e = 0,278$ .

Уточнений розрахунок валу. Прийmemo, що нормальні напруження від згинання змінюються за симетричним циклом, а дотичні від кручення – по віднульовому (пульсуючому).

Уточнений розрахунок полягає у визначенні коефіцієнта запасу міцності  $n$  для небезпечних перетинів і порівнянні їх з допустимими необхідними значеннями  $[n]$ . Міцність дотримана при  $n \geq [n]$ .

Проводимо розрахунок для імовірно небезпечних перетинів валу. Матеріал валу – сталь 45, термообробка – поліпшення. По [17] при діаметрі заготовки до 90 мм (у нашому випадку  $d_g = 25 \text{ мм}$ ) середнє значення  $\sigma_B = 780 \text{ Н/мм}^2$ .

Межа витривалості при симетричному циклі вигину [19]:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\sigma_{-1} \approx 0,43 * \sigma_B \quad (2.27)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 * 780 = 335 \text{ Н / мм}^2$$

Межа витривалості при симетричному циклі дотичних напружень:

$$\tau_{-1} = 0,58 * [\tau_{-1}] \quad (2.28)$$

$$\tau_{-1} = 0,58 * 335 = 193 \text{ Н / мм}^2$$

Розглянемо переріз а-а (рис. 2.3).

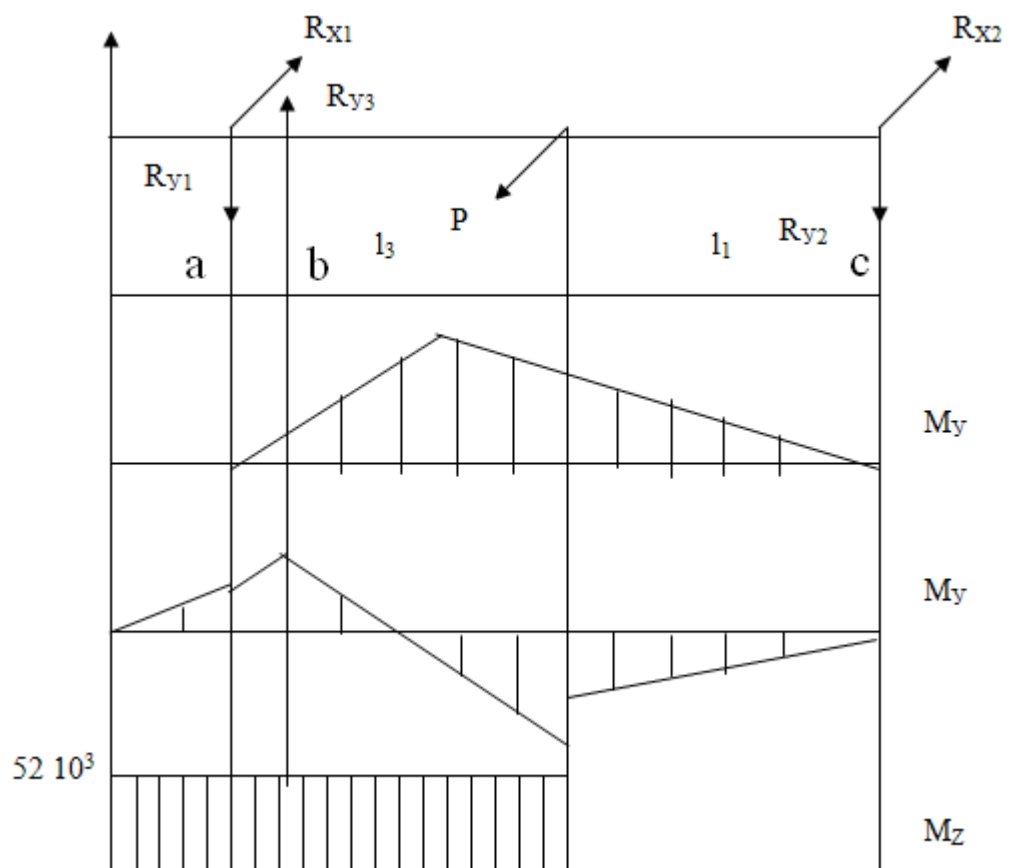


Рисунок 2.3 – Епюра сил, діючих на вал

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

У цьому перетині при передачі обертаючого моменту із зірочки подаючого транспортера через ланцюгову передачу виникають тільки дотичні напруження. Концентрацію напружень викликає наявність шпонкової канавки.

Коефіцієнт запасу міцності [15]:

$$n = n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \tau_v + \psi_{\tau} * \tau_m} \quad (2.29)$$

де  $\tau_v$  – амплітуда і середнє напруження віднульового циклу.

$$\tau_v = \tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{M_{\kappa}}{2 * W_o} \quad (2.30)$$

При  $d = 20$  мм,  $b = 6$  мм,  $t_1 = 3,5$  мм:

$$W_{\text{Кнетто}} = \frac{\pi * d^3}{16} - \frac{b * t_1 * (d - t_1)^2}{2 * d} \quad (2.31)$$

$$W_o = \frac{3,14 * 20^3}{16} - \frac{6 * 3,5 * (20 - 3,5)^2}{2 * 20} = 1570 - 143 = 1427 \approx 1,43 * 10^3 \text{ мм}^3$$

$$\tau_v = \tau_m = \frac{52 * 10^3}{2 * 1,43 * 10^3} = 18,2 \text{ Н / мм}^2$$

Приймаємо  $k_{\tau} = 1,68$ ,  $\varepsilon_{\tau} = 0,87$  і  $\psi_{\tau} = 0,1$ .

Після підстановки:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



$$\frac{k_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} = 2,47 \quad \text{і} \quad \frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} = 1,6. \quad (2.32)$$

Приймаємо  $\psi_{\sigma} = 0,15$  і  $\psi_{\tau} = 0,1$ .

Згинаючий момент опору:

$$W = \frac{\pi * d^3}{32} \quad (2.33)$$

$$W = \frac{3,14 * 20^3}{32} = 0,785 * 10^3 \text{ мм}^3$$

Амплітуда нормальних напружень [20]:

$$\sigma_v = \sigma_{\max} = \frac{M_K}{W} \quad (2.34)$$

$$\sigma_v = \frac{52 * 10^3}{0,785 * 10^3} = 66,2 \text{ Н / мм}^2$$

Полярний момент опору:

$$W_P = 2 * W = 2 * 0,785 * 10^3 = 1,57 * 10^3 \text{ Н / мм}^2 \quad (2.35)$$

Амплітуда та середнє напруження циклу дотичних напружень [20]:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{M_K}{2 * W_P} \quad (2.36)$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\tau_v = \frac{52 * 10^3}{2 * 1,57 * 10^3} = 16,5 \text{ Н / мм}^2$$

Коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями [15]:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} * \sigma_v} \quad (2.37)$$

$$n_\sigma = \frac{335}{2,47 * 66,2} = 2,05$$

Коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями [18]:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} * \tau_v + \psi_\tau * \tau_m} \quad (2.38)$$

$$n_\tau = \frac{193}{1,6 * 16,5 + 0,1 * 16,5} = 6,88$$

Результуючий коефіцієнт запасу міцності для перетину с-с:

$$n = \frac{n_\sigma * n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \quad (2.39)$$

$$n = \frac{2,05 * 6,88}{\sqrt{2,05^2 + 6,88^2}} = 2,67$$

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |

Умова міцності в усіх перетинах виконана.

### 2.3.4 Перевірка довговічності підшипників

Приймаємо силу дії  $P = 100 \text{ Н}$ ,  $a = 55 \text{ мм}$ ,  $b = 30 \text{ мм}$ ,  $l_1 = l_2 = 435 \text{ мм}$   
( $l_1 = l_3 + b$ ).

Визначаємо реакції опор [18]:

$$R_{X_1} = R_{X_2} = \frac{P}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ Н} \quad (2.40)$$

$$R_{Y_1} = \frac{1}{2 * l_1} (Pl_1 + R_Y a + R_{Y_3} b) = \frac{1}{2 * 435} (-100 \cdot 435 + 1242 \cdot 55 + 1060 \cdot 30) = 65,1 \text{ Н}$$

$$\begin{aligned} R_{Y_2} &= \frac{1}{2 * l_1} (Pl_1 + R_Y (a + l_1) + R_{Y_3} (b + l_3)) = \\ &= \frac{1}{2 * 435} (-100 \cdot 435 + 1242 \cdot 490 + 1060 \cdot 435) = 1179,5 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Сумарні реакції:

$$F_{r_1} = R_1 = \sqrt{R_{X_1}^2 + R_{X_2}^2} = \sqrt{50^2 + 65,1^2} = 82,1 \text{ Н} \quad (2.42)$$

$$F_{r_2} = R_2 = \sqrt{R_{X_2}^2 + R_{Y_2}^2} = \sqrt{50^2 + 1179,5^2} = 1180,6 \text{ Н}$$

Підбираємо підшипники за більш навантаженою опорою 2: 1206 ДЕСТ 5720-75.

Еквівалентне навантаження [18]:

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Шпонка призматична з округляючими торцями. Розміри перетинів шпонки та паза валу по ДЕСТ 23360-78. Матеріал шпонки – сталь 45 нормалізована.

Напруження змінання та умова міцності [20]:

$$\sigma_m^{\max} \approx \frac{2M}{d * (h-t) * (e-b)} \leq [\sigma_{зм}] \quad (2.46)$$

Допустиме напруження змінання при сталевій маточині  $[\sigma_{зм}] = 100 \div 120 \text{ Н / мм}^2$ .

Діаметр калібруючого валу в місці з'єднання з маточиною веденого колеса  $d_g = 20 \text{ мм}$ . По [19] вибираємо шпонку з розмірами  $b \times h = 6 \times 6 \text{ мм}$ ,  $t = 3,5 \text{ мм}$ , довжина шпонки  $l = 28 \text{ мм}$ .

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 52 \cdot 10^3}{20 * (6 - 3,5) * (28 - 6)} = 94,5 \text{ Н / мм}^2 \leq [\sigma_{зм}] = 100 \text{ Н / мм}^2$$

Умова  $\sigma_{зм} < [\sigma_{зм}]$  виконана.

|     |      |         |        |      |                      |  |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|--|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ |  | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |  |      |



– задання моделі властивостей матеріалу, з якого вона виготовлена (сталь 40 – рис. 3.2);

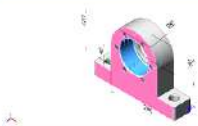
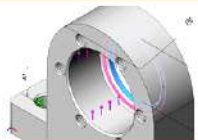
|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Имя:                              | Сталь 40 ГОСТ 535-88              |
| Тип модели:                       | Линейный Упругий<br>Изотропный    |
| Критерий прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises |
| Предел текучести:                 | 2.75e+08 N/m <sup>2</sup>         |
| Предел прочности при растяжении:  | 5.7e+08 N/m <sup>2</sup>          |
| Модуль упругости:                 | 2.09e+11 N/m <sup>2</sup>         |
| Коэффициент Пуассона:             | 0.29                              |
| Массовая плотность:               | 7830 kg/m <sup>3</sup>            |
| Коэффициент теплового расширения: | 1.12e-05 /Kelvin                  |

**Рисунок 3.2 – Задання моделі підшипникової опори властивостей матеріалу, з якого вона виготовлена**

– закріплення підшипникової опори та прикладення до неї навантаження (рис. 3.3);

Нагрузки и крепления

| Имя крепления          | Изображение крепления   | Данные крепления                                   |          |                |
|------------------------|---|--|----------|----------------|
| Зафиксированный-1      |  | Объекты: 1 грани<br>Тип: Зафиксированная геометрия |          |                |
| Результирующие силы    |   |  |          |                |
| Компоненты             | X   | Y  | Z        | Результирующая |
| Сила реакции(N)        | -0.587097   | -0.187225  | -0.54462 | 0.822403       |
| Реактивный момент(N.m) | 0   | 0  | 0        | 0              |

| Имя нагрузки | Загрузить изображение   | Загрузить данные  |
|--------------|---|---|
| Сила-1       |  | Объекты: 1 грани<br>Справочный: Грань < 1 ><br>Тип: Приложить силу<br>Значения: ---, 5000, --- N  |
| Сила-2       |  | Объекты: 1 грани<br>Справочный: Грань < 1 ><br>Тип: Приложить силу<br>Значения: ---, -5000, --- N |

**Рисунок 3.3 – Закріплення підшипникової опори та прикладення до неї навантаження**

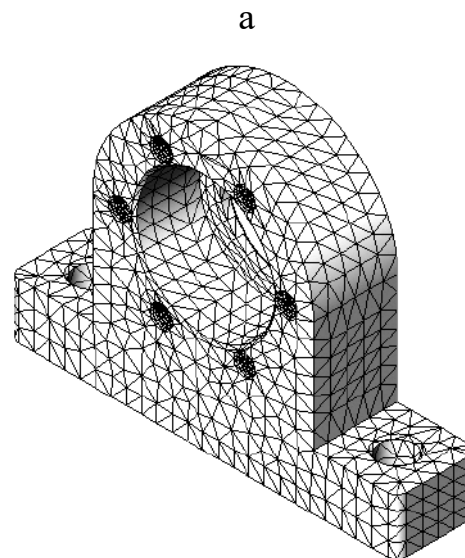
– побудова сітки скінчених елементів (рис. 3.4);

### Информация о сетке

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Тип сетки                        | Сетка на твердом теле |
| Используемое разбиение:          | Стандартная сетка     |
| Автоматическое уплотнение сетки: | Выкл                  |
| Включить автоциклы сетки:        | Выкл                  |
| Точки Якобиана                   | 4 Точки               |
| Размер элемента                  | 11.4653 mm            |
| Допуск                           | 0.573265 mm           |
| Эпюра качества сетки             | Высокая               |

### Информация о сетке - Детализация

|  |          |
|--|----------|
| Всего узлов                            | 44793    |
| Всего элементов                        | 26861    |
| Максимальное соотношение сторон        | 16.009   |
| % элементов с соотношением сторон < 3  | 68.1     |
| % элементов с соотношением сторон > 10 | 0.365    |
| % искаженных элементов (Якобиан)       | 0        |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss): | 00:02:56 |
| Имя компьютера:                        |          |



**Рисунок 3.4 – Параметри сітки підшипникової опори (а) та її скінченно-елементна модель (б)**

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

- будується матриця жорсткості;
- проводиться синтез скінченно-елементної моделі з окремих елементів з урахуванням умов закріплення деталі у вузлових точках;
- розв’язується одержана система алгебраїчних рівнянь і визначаються компоненти напружено-деформованого стану – рис. 3.5 – 3.9.

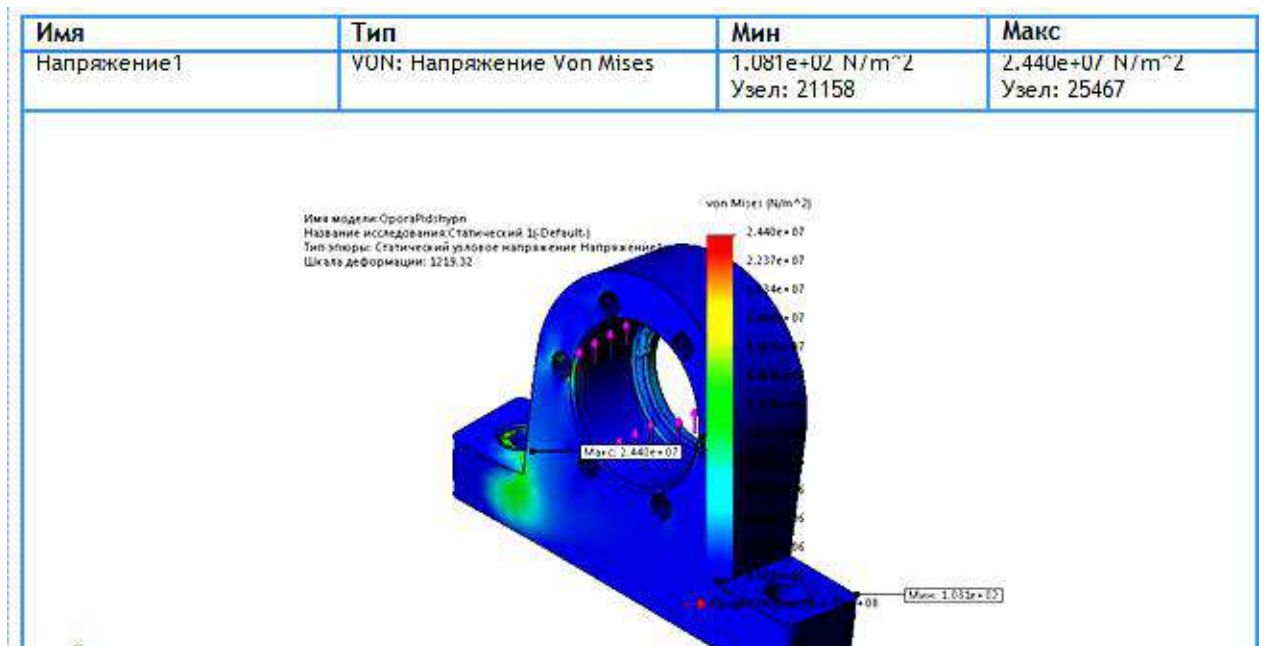
#### Силы реакции

| Выбранный набор | Единицы | Сумма X   | Сумма Y   | Сумма Z  | Результирующая |
|-----------------|---------|-----------|-----------|----------|----------------|
| всей модели     | N       | -0.587097 | -0.187225 | -0.54462 | 0.822403       |

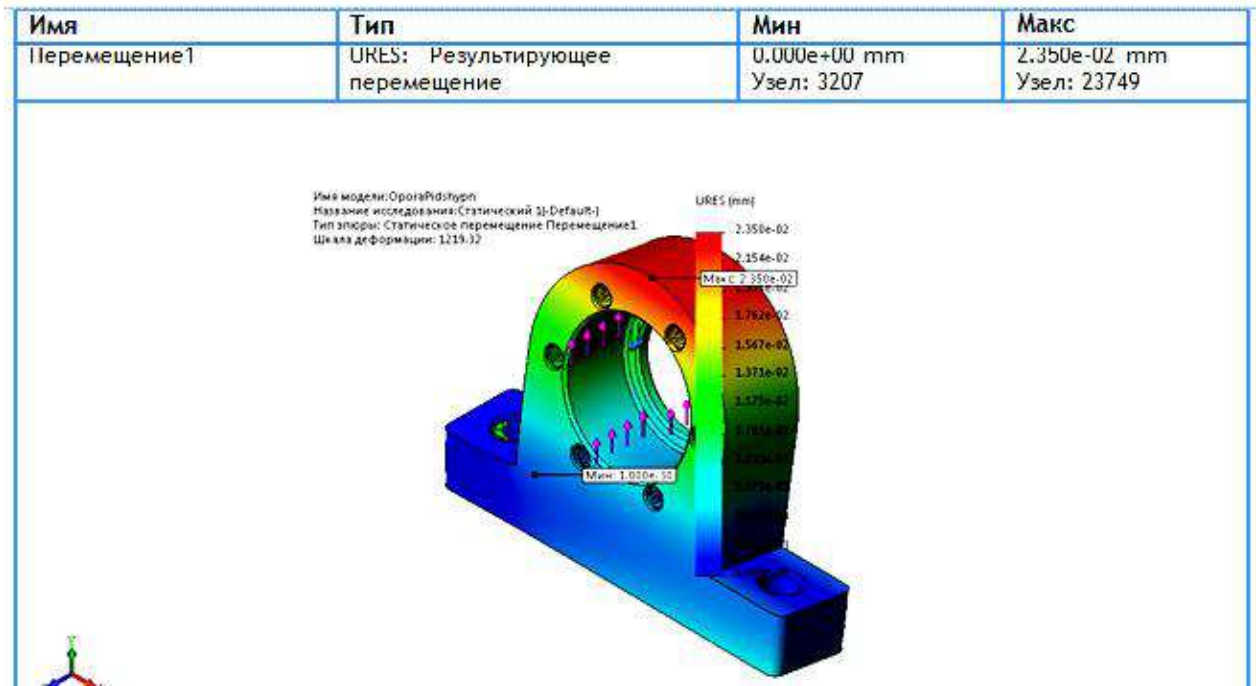
#### Моменты реакции

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

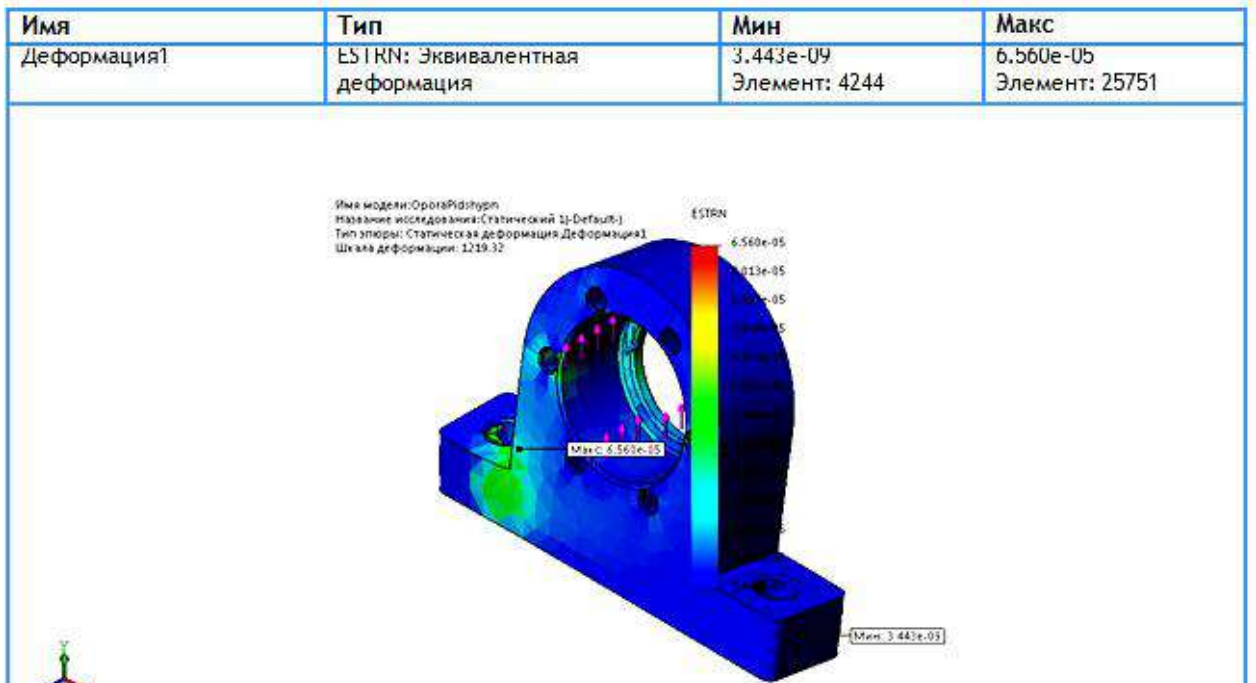
**Рисунок 3.5 – Силы та моменти реакції для підшипникової опори**



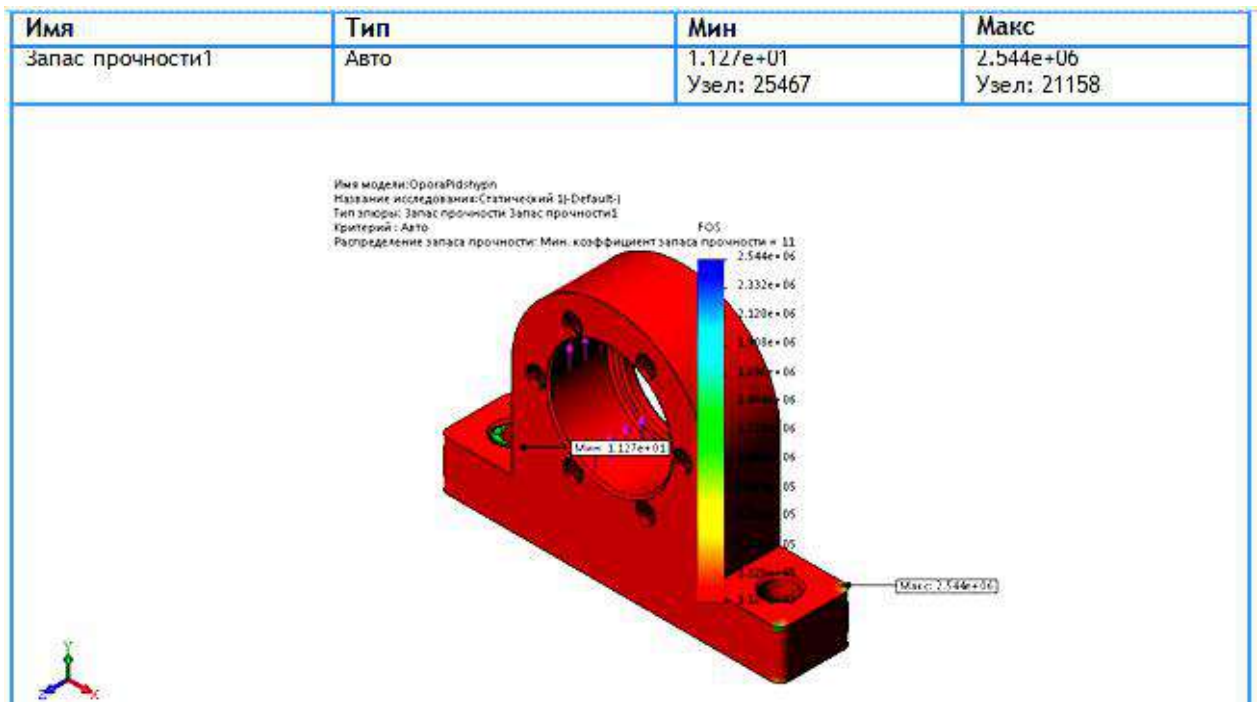
**Рисунок 3.6 – Контурний графік сумарних напружень von Mises моделі підшипникової опори**



**Рисунок 3.7 – Контурний графік сумарних переміщень URES моделі підшипникової опори**



**Рисунок 3.8 – Контурний графік сумарних деформацій ESTRN моделі підшипникової опори**



**Рисунок 3.9 – Контурний графік запасу міцності FOS моделі підшипникової опори**

Так як мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить  $n = 11,27$ , то підшипникова опора працездатна ( $[n] = 1,5$ ).

### 3.2 Перевірка статичної міцності валу натяжного пристрою ланцюгової передачі стенду

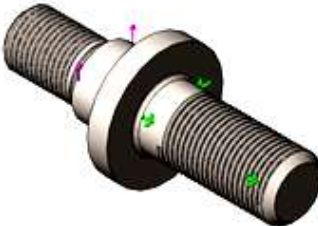
Тому метою даного дослідження є продовження визначення працездатності стенду діагностики автомобілів на основі застосування CAD/CAE систем і методу скінченних елементів.

Проведемо розрахунок валу натяжного пристрою ланцюгової передачі стенду діагностики трансмісії автомобілів (рис. Б2) у SolidWorks Simulation [24].


На першому етапі комп'ютерного моделювання у SolidWorks створюється 3D-модель валу (рис. 3.10).



### Информация о модели



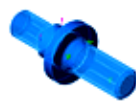
Имя модели: ValNatyazhn  
Активная конфигурация: Default

| Твердые тела   |                     |   |  |
|--|---------------------|---|--|
| Имя и ссылка документа   | Рассматривается как | Объемные свойства   | Путь документа/Дата изменения  |
| РезьбаБ<br> | Твердое тело        | Масса: 0.183214 kg<br>Объем: 2.34056e-05 m <sup>3</sup><br>Плотность: 7827.8 kg/m <sup>3</sup><br>Масса: 1.7955 N | D:\StendDiagn_Val\ValNatyazhn\ValNatyazhn.SLDPR<br>T<br>Sep 22 15:16:44 2022 |

**Рисунок 3.12 – Інформація про модель валу натяжного пристрою**

При проведенні статичного аналізу моделі назначають матеріал валу натяжного пристрою (сталь 45 – рис. 3.13):

### Свойства материала

| Ссылка на модель  | Свойства                          | Компоненты                        |   |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
|  | Имя:                              | Сталь 45 ГОСТ 535-88              | Твердое тело<br>1(РезьбаБ)(ValNatyazhn) |
|   | Тип модели:                       | Линейный Упругий<br>Изотропный    |   |
|   | Критерии прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises |   |
|   | Предел текучести:                 | 8.3e+08 N/m <sup>2</sup>          |   |
|   | Предел прочности при растяжении:  | 9.8e+08 N/m <sup>2</sup>          |   |
|   | Модуль упругости:                 | 2.04e+11 N/m <sup>2</sup>         |   |
|   | Коэффициент Пуассона:             | 0.3                               |   |
|   | Массовая плотность:               | 7826 kg/m <sup>3</sup>            |   |
|   | Модуль сдвига:                    | 7.8e+10 N/m <sup>2</sup>          |   |
|   | Коэффициент теплового расширения: | 1.19e-05 /Kelvin                  |   |

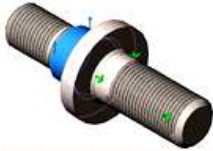
**Рисунок 3.13 – Задання моделі валу натяжного пристрою властивостей матеріалу, з якого вона виготовлена**

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

Наступний етап – вибирають місця закріплення моделі (у даному дослідженні – зафіксована геометрія) та прикладають до неї зовнішні навантаження (рис. 3.14):

#### Нагрузки и крепления

| Имя крепления              | Изображение крепления   | Данные крепления                                   |           |                |
|----------------------------|---|--|-----------|----------------|
| Зафиксированный-1          |  | Объекты: 1 грани<br>Тип: Зафиксированная геометрия |           |                |
| <b>Результирующие силы</b> |   |  |           |                |
| Компоненты                 | X   | Y  | Z         | Результирующая |
| Сила реакции(N)            | -0.0604053  | -1569.98   | 0.0086534 | 1569.98        |
| Реактивный момент(N.m)     | 0   | 0  | 0         | 0              |

| Имя нагрузки | Загрузить изображение  | Загрузить данные  |
|--------------|--|---|
| Сила-1       |  | Объекты: 1 грани<br>Справочный: Грань< 1 ><br>Тип: Приложить силу<br>Значения: 1570, ---, --- N |

**Рисунок 3.14 – Закріплення моделі валу натяжного пристрою та формування картини навантажень**

Потім проводиться поділ моделі на маленькі частини простої форми (елементи), з'єднані у спільних точках (вузлах): програма аналізу скінченних елементів розглядає модель як мережу дискретних зв'язаних між собою елементів (сітку – рис. 3.15):

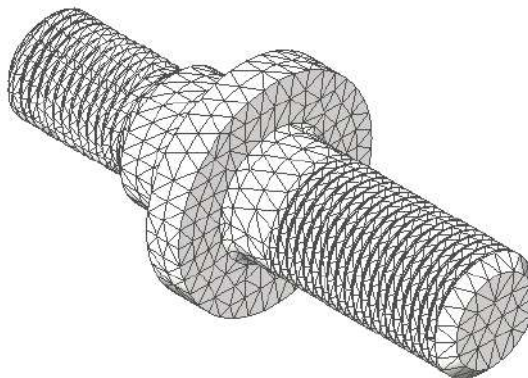
#### Информация о сетке

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Тип сетки                        | Сетка на твердом теле |
| Используемое разбиение:          | Стандартная сетка     |
| Автоматическое уплотнение сетки: | Выкл                  |
| Включить автоциклы сетки:        | Выкл                  |
| Точки Якобиана                   | 4 Точки               |
| Размер элемента                  | 2.86146 mm            |
| Допуск                           | 0.143073 mm           |
| Эпюра качества сетки             | Высокая               |

Информация о сетке - Детализация

|  |          |
|--|----------|
| Всего узлов                            | 35588    |
| Всего элементов                        | 22424    |
| Максимальное соотношение сторон        | 23.77    |
| % элементов с соотношением сторон < 3  | 74.8     |
| % элементов с соотношением сторон > 10 | 5.85     |
| % искаженных элементов (Якобиан)       | 0        |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss): | 00:00:54 |

а



б

**Рисунок 3.15 – Параметры (а) й скінченно-елементна сітка (б) моделі валу натяжного пристрою типу „на твердому тілі”**

Розрахунками визначені результуючі сили, які представлені на рис. 3.16.

Результирующие силы

Силы реакции

| Выбранный набор | Единицы | Сумма X    | Сумма Y  | Сумма Z   | Результирующая |
|-----------------|---------|------------|----------|-----------|----------------|
| всей модели     | N       | -0.0604053 | -1569.98 | 0.0086534 | 1569.98        |

Моменты реакции

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

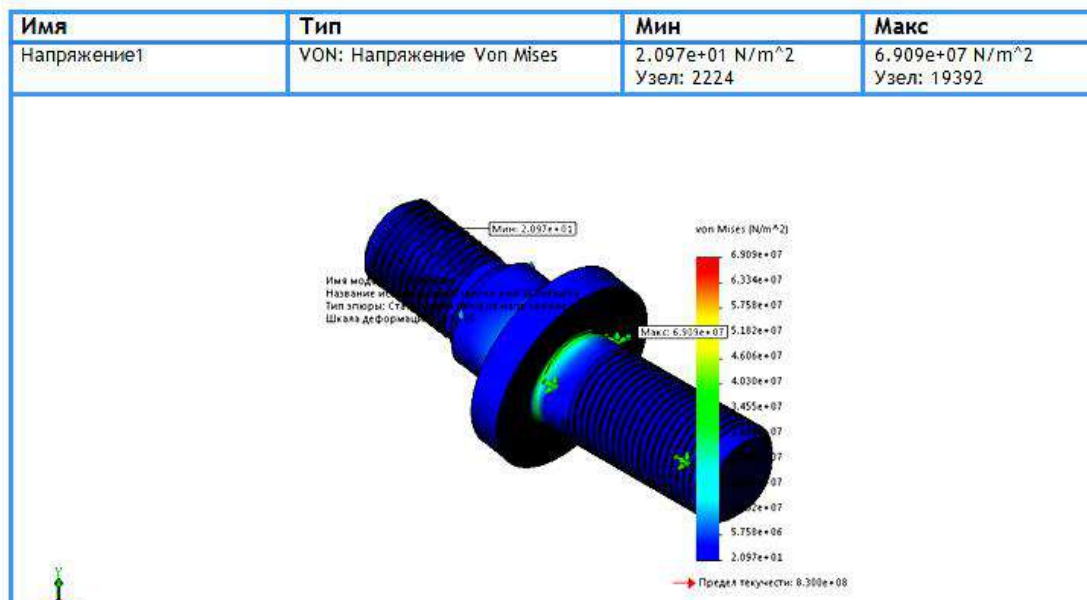
**Рисунок 3.16 – Силы та моменти реакції для моделі валу натяжного пристрою**

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

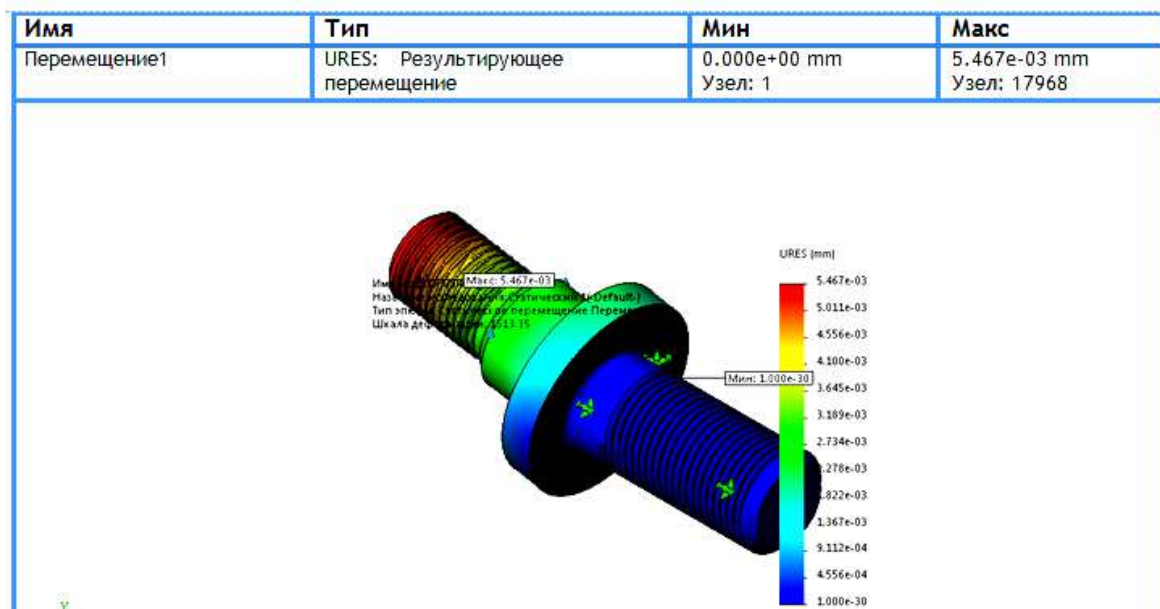
MPTAM 2217126.000 ПЗ

Арк.

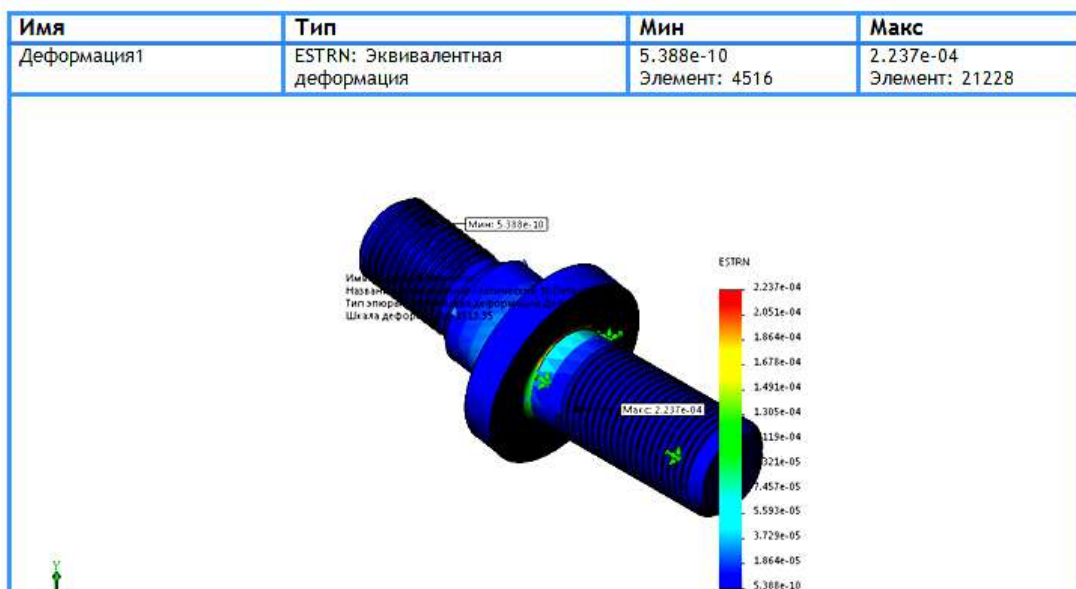
Наступний етап – будується матриця жорсткості; проводиться синтез скінченно-елементної моделі з окремих елементів з урахуванням умов закріплення деталі у вузлових точках; розв’язується одержана система алгебраїчних рівнянь і визначаються компоненти напружено-деформованого стану (рис. 3.17 – 3.20).



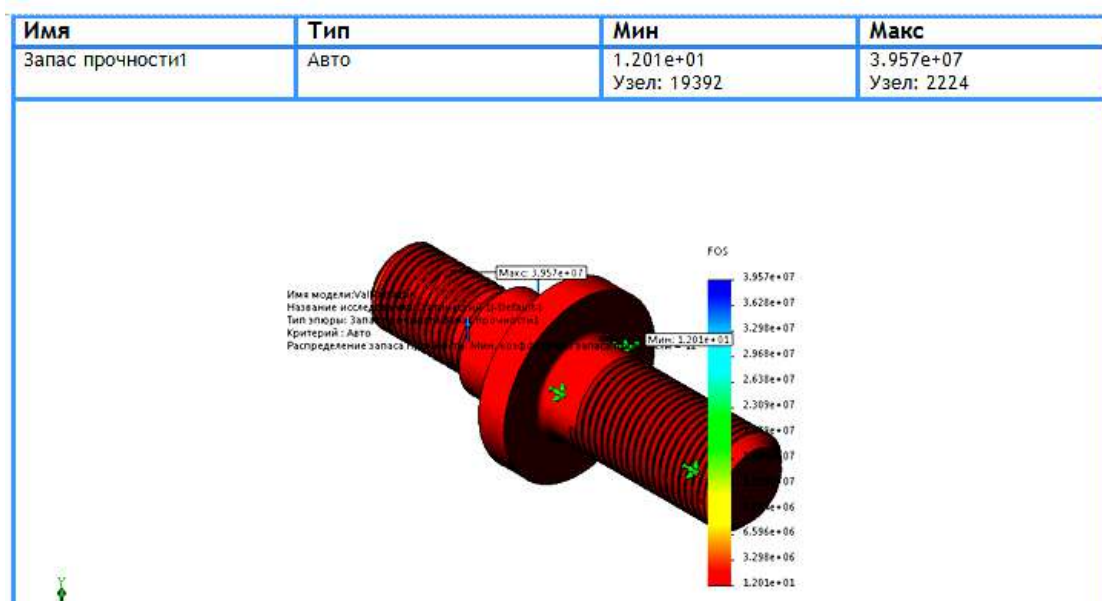
**Рисунок 3.17 – Контурний графік сумарних напружень von Mises моделі валу натяжного пристрою**



**Рисунок 3.18 – Контурний графік сумарних переміщень URES моделі валу натяжного пристрою**



**Рисунок 3.19 – Контурний графік сумарних деформацій ESTRN моделі валу натяжного пристрою**



**Рисунок 3.20 – Контурний графік запасу міцності FOS моделі валу натяжного пристрою**

Так як мінімальний запас міцності FOS становить  $n = 12,01$  (рис. 3.20), тобто запас міцності вище допустимого ( $[n] = 1,5$ ), то вал натяжного пристрою працездатний.

### 3.3 Дослідження працездатності валу барабана

Проведемо розрахунок валу барабана стенду діагностики трансмісії автомобілів (рис. Б8) у SolidWorks Simulation.

На першому етапі комп'ютерного моделювання у SolidWorks створимо 3D-модель валу (рис. 3.21).

Активная конфигурация: По умолчанию

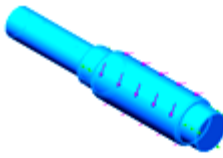
| Твердые тела   |                     |   |
|--|---------------------|---|
| Имя и ссылки документа   | Рассматривается как | Объемные свойства   |
| Вырез-Вытянуть1<br> | Твердое тело        | Масса: 4.98958 kg<br>Объем: 0.000637565 m <sup>3</sup><br>Плотность: 7826 kg/m <sup>3</sup><br>Масса: 48.8979 N |

Рисунок 3.21 – 3D-модель валу

Потім з бібліотеки SolidWorks виберемо матеріал валу – сталь 45 ДЕСТ 535-88 (рис. 3.22).

#### Свойства материала

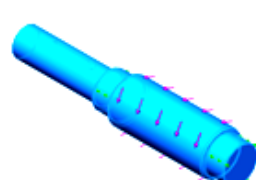
| Ссылка на модель  | Свойства   |
|---|--|
|  | Имя: Сталь 45 ГОСТ 535-88  |
|   | Тип модели: Линейный Упругий Изотропный                            |
|   | Критерий прочности по умолчанию: Максимальное напряжение von Mises |
|   | Предел текучести: 8.3e+008 N/m <sup>2</sup>                        |
|   | Предел прочности при растяжении: 9.8e+008 N/m <sup>2</sup>         |
|   | Модуль упругости: 2.04e+011 N/m <sup>2</sup>                       |
|   | Коэффициент Пуассона: 0.3  |
|   | Массовая плотность: 7826 kg/m <sup>3</sup>                         |
|   | Модуль сдвига: 7.8e+010 N/m <sup>2</sup>                           |
|   | Коэффициент теплового расширения: 1.19e-005 /Kelvin                |

Рисунок 3.22 – Вибір матеріалу валу з бібліотеки SolidWorks

Для проведення статичного аналізу:

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |

– проведемо закріплення моделі валу (рис. 3.23);

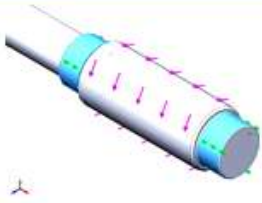
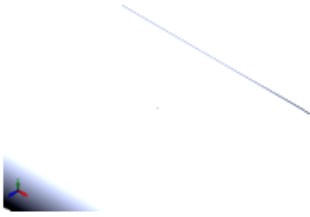
| Имя крепления  | Изображение крепления   | Данные крепления   |          |         |      |              |
|----------------|---|--|----------|---------|------|--------------|
| Ролик/ползун-1 |  | <table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>2 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Ролик/ползун</td> </tr> </table> | Объекты: | 2 грани | Тип: | Ролик/ползун |
| Объекты:       | 2 грани   |  |          |         |      |              |
| Тип:           | Ролик/ползун  |  |          |         |      |              |

Рисунок 3.23 – Проведення закріплення моделі валу

– прикладемо навантаження до моделі валу (рис. 3.24).

| Результирующие силы    |         |   |   |                |
|------------------------|---------|---|---|----------------|
| Компоненты             | X       | Y | Z | Результирующая |
| Сила реакции(N)        | -202.38 | 0 | 0 | 202.38         |
| Реактивный момент(N.m) | 0       | 0 | 0 | 0              |

| Имя нагрузки      | Изображение нагрузки  | Данные нагрузки   |          |         |      |                           |
|-------------------|---|---|----------|---------|------|---------------------------|
| 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   |   |          |         |      |                           |

| Результирующие силы    |         |          |           |                |
|------------------------|---------|----------|-----------|----------------|
| Компоненты             | X       | Y        | Z         | Результирующая |
| Сила реакции(N)        | 202.411 | 0.153809 | -0.107773 | 202.411        |
| Реактивный момент(N.m) | 0       | 0        | 0         | 0              |


| Имя нагрузки       | Загрузить изображение   | Загрузить данные  |          |         |             |            |      |                            |           |           |
|--------------------|---|---|----------|---------|-------------|------------|------|----------------------------|-----------|-----------|
| Вращающий момент-1 |  | <table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Справочный:</td> <td>Грань&lt; 1 &gt;</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Приложить вращающий момент</td> </tr> <tr> <td>Значение:</td> <td>-94.7 N.m</td> </tr> </table> | Объекты: | 1 грани | Справочный: | Грань< 1 > | Тип: | Приложить вращающий момент | Значение: | -94.7 N.m |
| Объекты:           | 1 грани   |   |          |         |             |            |      |                            |           |           |
| Справочный:        | Грань< 1 >  |   |          |         |             |            |      |                            |           |           |
| Тип:               | Приложить вращающий момент  |   |          |         |             |            |      |                            |           |           |
| Значение:          | -94.7 N.m   |   |          |         |             |            |      |                            |           |           |

Рисунок 3.24 – Прикладення навантаження до моделі валу

Інформація про сітку моделі валу наведена на рис. 3.25.

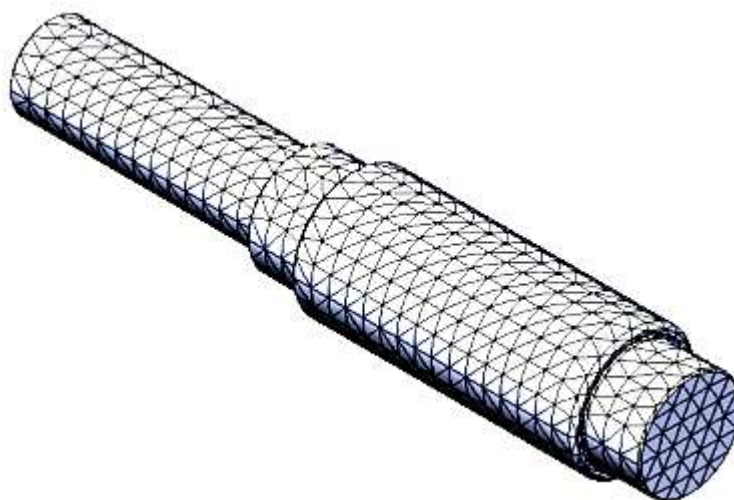
### Информация о сетке

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Тип сетки                        | Сетка на твердом теле |
| Используемое разбиение:          | Стандартная сетка     |
| Автоматическое уплотнение сетки: | Выкл                  |
| Включить автоциклы сетки:        | Выкл                  |
| Точки Якобиана                   | 4 Точки               |
| Размер элемента                  | 8.60891 mm            |
| Допуск                           | 0.430446 mm           |
| Качество сетки                   | Высокая               |

### Информация о сетке - Детализация

|  |          |
|--|----------|
| Всего узлов                            | 14056    |
| Всего элементов                        | 9035     |
| Максимальное соотношение сторон        | 11.158   |
| % элементов с соотношением сторон < 3  | 92.6     |
| % элементов с соотношением сторон > 10 | 0.0221   |
| % искаженных элементов (Якобиан)       | 0        |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss): | 00:00:11 |
| Имя компьютера:                        |          |

а



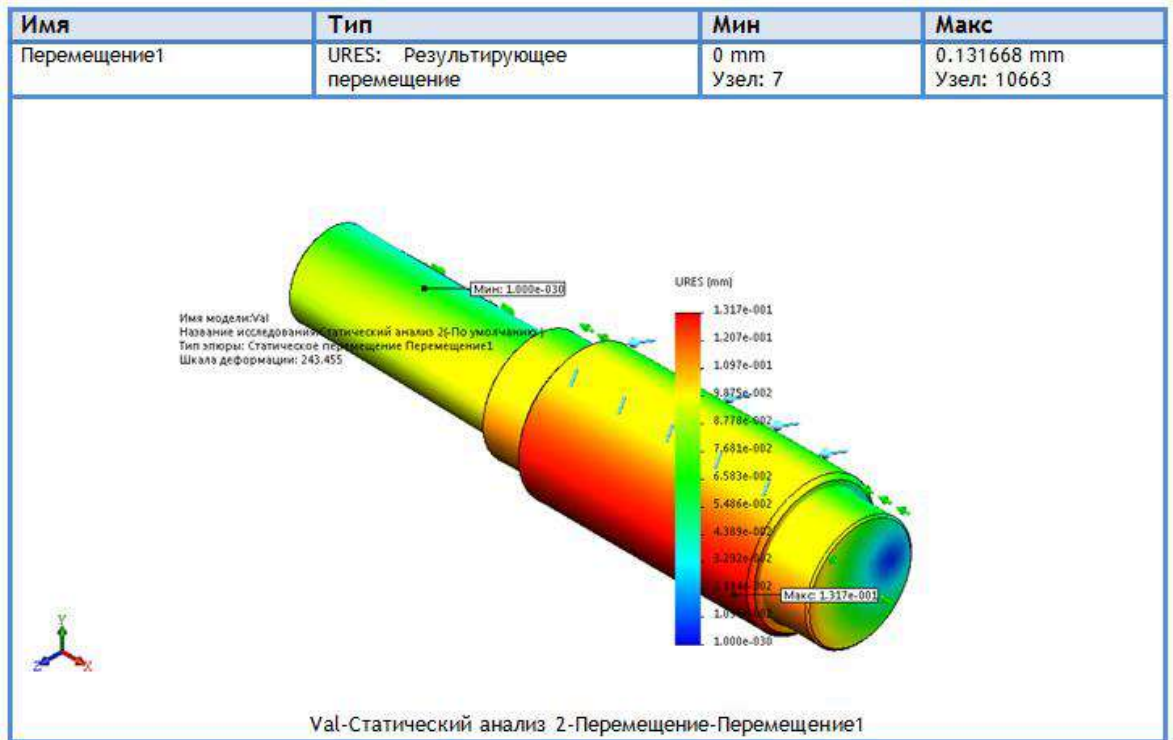
б

**Рисунок 3.25 – Параметры скінченно-елементної сітки моделі валу (а) та її відображення на твердому тілі (б)**

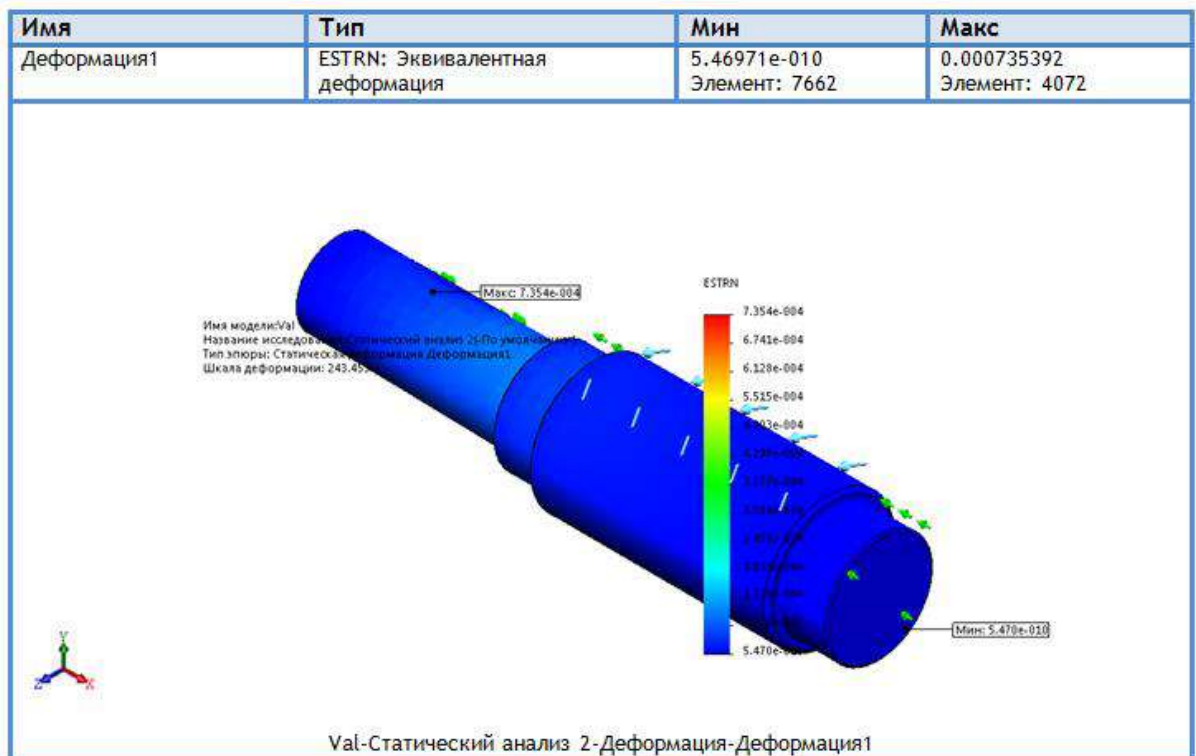
Результати розрахунків (рис. 3.26-3.29):

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | MPTAM 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |





**Рисунок 3.27 – Епюра розподілу результируючих переміщень URES моделі валу**



**Рисунок 3.28 – Епюра розподілу еквівалентної деформація ESTRN моделі валу**



Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программы

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

Тип модели: **Линейный упругий изотр.**  Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: **СИ - Н/м<sup>2</sup> (Па)**

Категория: Val

Имя: Сталь 45 ГОСТ 535-88

Критерий разрушения по умолчанию: **Максимальное напряжение**

Описание: Сталь 45 ГОСТ 535-88

Источник:

Sustainability: Не определено

| Свойство                         | Значение  | Единицы измерения |
|----------------------------------|-----------|-------------------|
| Модуль упругости                 | 2.04e+11  | Н/м <sup>2</sup>  |
| Коэффициент Пуассона             | 0.3       | Не применимо      |
| Модуль сдвига                    | 7.8e+10   | Н/м <sup>2</sup>  |
| Массовая плотность               | 7826      | кг/м <sup>3</sup> |
| Предел прочности при растяжении  | 980000000 | Н/м <sup>2</sup>  |
| Предел прочности при сжатии      |           | Н/м <sup>2</sup>  |
| Предел текучести                 | 830000000 | Н/м <sup>2</sup>  |
| Коэффициент теплового расширения | 1.19e-05  | /К                |

а

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Имя:                              | Сталь 45 ГОСТ 535-88              |
| Тип модели:                       | Линейный Упругий Изотропный       |
| Критерий прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises |
| Предел текучести:                 | 8.3e+008 N/m <sup>2</sup>         |
| Предел прочности при растяжении:  | 9.8e+008 N/m <sup>2</sup>         |
| Модуль упругости:                 | 2.04e+011 N/m <sup>2</sup>        |
| Коэффициент Пуассона:             | 0.3                               |
| Массовая плотность:               | 7826 kg/m <sup>3</sup>            |
| Модуль сдвига:                    | 7.8e+010 N/m <sup>2</sup>         |
| Коэффициент теплового расширения: | 1.19e-005 /Kelvin                 |

Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программы

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

Тип модели: **Линейный упругий изотр.**  Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: **СИ - Н/м<sup>2</sup> (Па)**

Категория: DIN Сталь (Нелегированная)

Имя: 1.1141 (C15E)

Критерий разрушения по умолчанию: Максимальное напряжение

Описание: Ck 15

Источник: Предел текучести и предел прочности для t <= t<sub>н</sub>

Sustainability: Определено

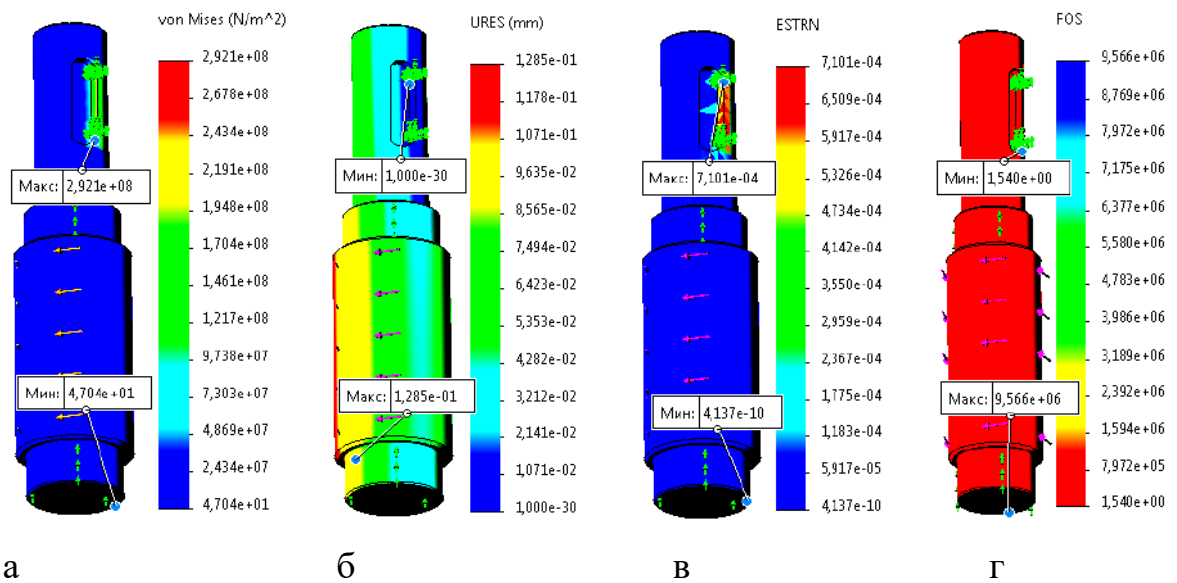
| Свойство                         | Значение        | Единицы измерения |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Модуль упругости                 | 2.100000031e+11 | Н/м <sup>2</sup>  |
| Коэффициент Пуассона             | 0.28            | Не применимо      |
| Модуль сдвига                    | 7.9e+10         | Н/м <sup>2</sup>  |
| Массовая плотность               | 7800            | кг/м <sup>3</sup> |
| Предел прочности при растяжении  | 550000000       | Н/м <sup>2</sup>  |
| Предел прочности при сжатии      |                 | Н/м <sup>2</sup>  |
| Предел текучести                 | 450000000       | Н/м <sup>2</sup>  |
| Коэффициент теплового расширения | 1.1e-05         | /К                |

б

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Имя:                              | 1.1141 (C15E)                     |
| Тип модели:                       | Линейный Упругий Изотропный       |
| Критерий прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises |
| Предел текучести:                 | 4.5e+008 N/m <sup>2</sup>         |
| Предел прочности при растяжении:  | 5.5e+008 N/m <sup>2</sup>         |
| Модуль упругости:                 | 2.1e+11 N/m <sup>2</sup>          |
| Коэффициент Пуассона:             | 0,28                              |
| Массовая плотность:               | 7 800 kg/m <sup>3</sup>           |
| Модуль сдвига:                    | 7,9e+10 N/m <sup>2</sup>          |
| Коэффициент теплового расширения: | 1,1e-05 /Kelvin                   |

Рисунок 3.30 – Властивості сталей 45 (а) і 15 (б)

Повторними розрахунками у SolidWorks Simulation проведено розділення моделі вала на скінченні елементи, побудовано матрицю жорсткості; здійснено синтез скінченно-елементної моделі з урахуванням умов її закріплення у вузлових точках; розв'язано одержану систему алгебраїчних рівнянь; визначено компоненти напружено-деформованого стану (рис. 3.31, табл. 3.1).



**Рисунок 3.31 – Епюри сумарних напружень von Mises (а), переміщень URES (б), еквівалентних деформацій ESTRN (в), запасу міцності FOS вала**

**Таблиця 3.1 – Результати дослідження вала**

| Сталь | Напруження<br>(максимальне),<br>$\sigma$ , МПа | Переміщення<br>(максимальне),<br>$h$ , мм | Деформація<br>(максимальна),<br>$\delta$ , мм | Запас<br>міцності<br>(мінімальний),<br>$k$ |
|-------|--|---|---|--|
| 45    | 285,95   | 0,132                                     | 0,000735                                      | 2,903                                      |
| 15    | 292,1  | 0,1285                                    | 0,0007101                                     | 1,540                                      |

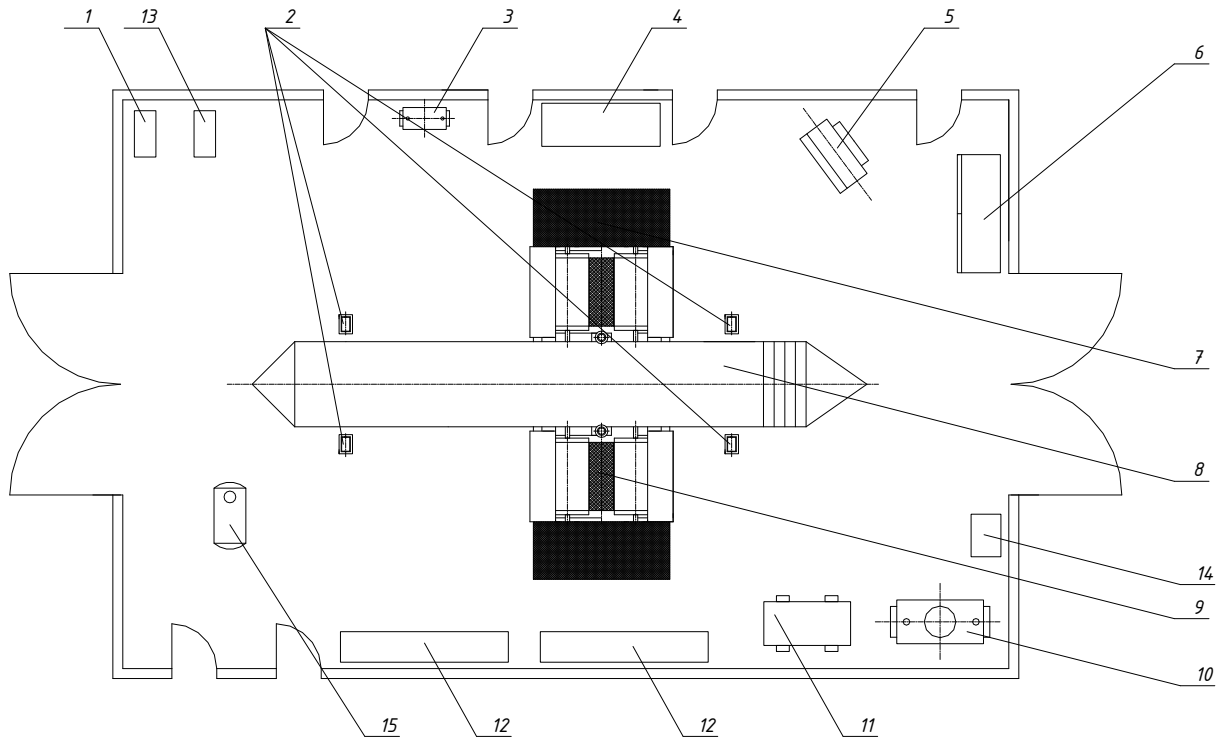
Так як мінімальний коефіцієнт запасу міцності для вала зі сталі 15 становить  $n = 1,540$ , то у випадку заміни сталі 45 на цю сталь для його виготовлення, запас міцності достатній (допустимий коефіцієнт запасу міцності  $[n] = 1,5$ ).

Отже, отримані результати підтверджують актуальність проведеного дослідження з використанням SolidWorks та його додатку – SolidWorks Simulation (застосування лінійного статичного аналізу): з точки зору забезпечення міцності для виготовлення вала заміна його матеріалу є

можливою. Але, враховуючи умови роботи цієї деталі, для підвищення її зносостійкості рекомендується термічна або хіміко-термічна обробка.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |





1 - ящик з піском; 2 - механізм фіксації; 3 - апаратна шафа; 4 - верстак слюсарний; 5 - шафа управління; 6 - шафа для приладів діагностики; 7 - права частина діагностичного стенду; 8 - оглядова яма; 9 - ліва частина діагностичного стенду; 10 - витяжний пристрій для відведення вихлопних газів; 11 - пересувний інструментальний візок; 12 - стелаж; 13 - домкрат гаражний гідравлічний; 14 - підйомник; 15 - мастилозбірник відпрацьованого мастила

**Рисунок 4.1 - Планування ділянки діагностики**

де:  $F_{pmi}$  – площа і-го робочого місця, м<sup>2</sup>.

Тоді:

$$F_{pm1} = 6 * 2,5 = 15 \text{ м}^2.$$

$$F_{pm2} = 1,92 * 4 = 7,68 \text{ м}^2.$$

$$F_{pm3} = 10,1 * 5 = 50,5 \text{ м}^2.$$

$$F_{dil} = 15 + 7,68 + 50,5 = 74 \text{ м}^2.$$

Приймаємо  $F_{dil} = 74 \text{ м}^2$ .

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.









$K_B = 106$  – кількість вихідних днів;

$K_{CB} = 10$  – кількість святкових днів.

$$K_P = 366 - 106 - 10 = 250 \text{ днів};$$

$n$  – число змін.

$$\Phi_H - (250 * 8 - 5 * 1) * 1 = 1995 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд часу робітника [20]:

$$\Phi_D = (\Phi_H - K_0 * t_{CM}) * \eta_P \quad (4.11)$$

де  $K_0$  – кількість днів відпустки,  $K_0 = 20$  днів;

$\eta_P = 0,97$  – коефіцієнт втрат робочого часу;

$$\Phi_D = (1995 - 20 * 8) * 0,97 = 1780 \text{ год.}$$

Коефіцієнт штатності [20]:

$$\eta_M = \frac{\Phi_D}{\Phi_H}, \quad (4.12)$$

$$\eta_M = \frac{1780}{1995} = 0,9.$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання [19]:

$$\Phi_{D.O.} = \Phi_H * \eta_O * n \quad (4.13)$$

де  $\eta_O = 0,97$  – коефіцієнт використання обладнання;

$n$  – кількість змін.

$$\Phi_{D.O.} = 1995 * 0,97 * 1 = 1935 \text{ год.}$$

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



## Список використаних джерел

1. Веремей Г. О. Основи технічної діагностики автомобілів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.07010601 - «Автомобільний транспорт» спеціальності 7.07010601 - «Автомобілі та автомобільне господарство». Ч. 2 / Г.О. Веремей. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – 50 с.

2. Люлька В.С. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / В.С. Люлька, М.М. Коньок, Ю.С. Перинський, О.М.Клімов. – Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с.

3. Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.

4. Чернета О.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Основи технічної діагностики» для підготовки здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 274 Автомобільний транспорт за освітньо – професійною програмою «Автомобільний транспорт». – Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 49 с.

5. Волошин О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проектування для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю: 5.07010602 «Обслуговування та ремонт автомобілів і двигунів» / О.В. Волошин. – Харків: Харківський державний автомобільно-дорожній коледж, 2020. – 30 с.

6. Бевз О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування цехів і дільниць для відновлення та зміцнення деталей» / О.В. Бевз, С.О. Магопечь, М.В. Красота, Р.А. Осін. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 35 с.

7. Нікітн М. М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Технологічне проектування автотранспортних підприємств» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / М. М. Нікітн, А.Г. Кусий, О.В. Нестеренко, В.В. Крук. – Бережани: РВВ ВП НУБіП України «БАТІ», 2019. – 119 с.

8. Бондаренко А. Є. Методичні вказівки з навчальної дисципліни «Технологічне проектування підприємств з технічного сервісу будівельних

|     |      |         |        |      |  |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|--|----------------------|------|
|     |      |         |        |      |  | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |  |                      |      |

машин і автомобілів» / А. Є. Бондаренко. – Одеса: Інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії, 2021. – 72 с.

9. Волошин О.В. Методичні вказівки до виконання дипломного проектування для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю: 5.07010602 «Обслуговування та ремонт автомобілів і двигунів» / О.В. Волошин, С.О. Макодзеба, С.А. Мартиненко. – ХДАДК, 2020. – 78 с.

10. Коробочка О. М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування автотранспортних підприємств» для підготовки бакалаврів галузі знань - 27 Транспорт, спеціальності - 274 Автомобільний транспорт / О. М. Коробочка. Дніпро: Дніпровський державний технічний університет, 2017. – 114 с.

11. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування автотранспортних та авторемонтних підприємств» для студентів ступеня магістра спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання / Укладачі: Заренбін В. Г., Богомолів В. В., Коноваленко Ю. І - Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2018 – 48 с.

12. Марчук Р.М. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / Р.М. Марчук. Рівне: НУВГП, 2017. – 140 с.

13. Марченко Д.Д. Ремонт машино-тракторного парку. Методичні рекомендації / Д.Д. Марченко. – Миколаїв: МНАУ, 2021. – 99 с.

14. Тригуб О. А. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб / О. А. Тригуб; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2021. – 187 с.

15. Баранова О.В. Деталі машин. Методичні рекомендації / О.В. Баранова. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 51 с.

16. Карнаух, С.Г. Деталі машин: курс лекцій для студентів технічних спеціальностей / С. Г. Карнаух, М. Г. Таровик. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – 26 с.

17. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

18. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

19. Мархель І.І. Деталі машин: навчальний посібник / І.І. Мархель. – К.: Алерта, 2005. – 368 с.

20. Стрелец В. В. Деталі машин і основи конструювання : конспект лекцій / укладач В. В. Стрелец. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 150 с.

21. SolidWorks. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://solidworks.com.ua>

22. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский – БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.

23. Легостаев А.Д. Метод скінченних елементів: Конспект лекцій / А.Д. Легостаев. – К.: КНУБА, 2004. – 112 с.

24. Rudyk O. Yu. Determination of performance of the car diagnostics stand with the help of SolidWorks / O Yu. Rudyk, A. V. Lishchuk // Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. – Pp. 69-73.

25. Ліщук А. В. Розв'язання проблеми ефективності інформаційних технологій з використанням SolidWorks при технічному обслуговуванні автомобілів / А. В. Ліщук, О. Ю. Рудик // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – С. 121-123.

26. SOLIDWORKS Simulation [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://intersed.kiev.ua/simulation\\_packages](https://intersed.kiev.ua/simulation_packages)

27. Овчаренко В.А. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник / В.А. Овчаренко, С.В. Подлесний, С.М. Зінченко. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.

28. Рудик О. Ю. Методологія використання ІКТ на базі SolidWorks / О. Ю. Рудик, О. В. Диха // Сучасні інформаційні технології в освіті і науці : 3 Всеукр. наук. Інтернет-конф., 26-27 березня 2021 р. : (зб. матеріалів) / МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини, Ін-т інформаційних технологій і засобів навч. НАПН України [та ін.] ; [редкол.: Медведєва М.О.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

(голов. ред.), Ткачук Г.В., Жмуд О.В., [та ін.]. – Умань : Візаві, 2021. – С. 120-122. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10192>

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**Додатки**

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Наукові праці

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 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., Ліщук А.В.**

Програмне забезпечення проектування стенду діагностики  
автомобільної техніки

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

Міністерство освіти і науки України  
Харківська обласна державна адміністрація  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХАДІ)

**ПРОГРАМА**  
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ  
ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

07–08 КВІТНЯ 2022 р.

**ПРИНЦИПИ І МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ В  
БАГАТОРІВНЕВІЙ СИСТЕМІ ВИЩОЇ ОСВІТИ : СУЧАСНИЙ ТА  
ІСТОРИЧНИЙ ПОГЛЯД ЗДОБУВАЧІВ І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

Харків 2022

|   |  |            |             |  |
|---|--|------------|-------------|--|
| 7 | Застосування Solid Works Simulation для визначення працездатності стенду діагностики автомобільної техніки | МТВАм-20-1 | Ліщук А. В. | <i>(підпис)</i><br>Доц. Рудик О. Ю.<br>Хмельницький національний університет<br>(Хмельницький) |
|---|--|------------|-------------|--|

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

# CERTIFICATE

is awarded to

**Lishchuk Artem**

for being an active participant in  
VII International Scientific and Practical Conference  
**“INNOVATIONS AND PROSPECTS  
OF WORLD SCIENCE”**

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

**VANCOUVER**

2-4 March 2022

[sci-conf.com.ua](http://sci-conf.com.ua)



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

MPTAM 2217126.000 ПЗ

Арк.

**SCI-CONF.COM.UA**

**INNOVATIONS  
AND PROSPECTS  
OF WORLD SCIENCE**



**PROCEEDINGS OF VII INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE  
MARCH 2-4, 2022**

**VANCOUVER  
2022**

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

|  |
|--|
|  |
|--|

UDC 629.113

**DETERMINATION OF PERFORMANCE OF THE CAR DIAGNOSTICS  
STAND WITH THE HELP OF SOLIDWORKS**

**Rudyk Oleksandr Yuhymovych**

Ph.D., Associate Professors

**Lishchuk Artem Vitaliyovych**

undergraduate

Khmelnytsky National University

Khmelnytsky, Ukraine

**Abstract:** continuation of determining the efficiency of the stand of diagnostics of automotive equipment based on the use of SolidWorks and its application SolidWorks Simulation (the possibility of replacing steel 45 for the manufacture of shaft on steel 15).

**Keywords:** diagnostics, stand, SolidWorks Simulation, material replacement.

Costs for maintenance and repair of cars at service stations remain quite high. At the same time many cars are operated with malfunctions and considerable deviations of regulating parameters of a technical condition of units and mechanisms from optimum.

The share of traffic accidents caused by car malfunctions also remains high. Many cars have higher fuel consumption. All this is caused, first of all, by the lack of necessary conditions for timely and high-quality assessment of the technical condition of transport vehicles.

The reduction of negative factors that affect the quality of maintenance and repair of cars, contributes to the widespread introduction of modern methods and tools of technical diagnostics, including bench tests (diagnosis - the process of

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | MPTAM 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

CAD/CAE systems and the finite element method. The design of the diagnostic stand and the principle of its operation are given in [1].

The beginning of the study is an extreme case that may occur when assembling the diagnostic stand - weakening (or absence) of the right bolt securing the bearing support, resulting in skew of the drum shaft [2]. Continuation – calculation of the shaft of the chain drive tensioner [3].

In all these studies, computer simulations were used for the calculations. It examines the stress-strain state of solids using the SolidWorks 3D-system. Modern methodology allows you to build an accurate model of the part and the finite element method to determine the operating parameters (SolidWorks Simulation application) that occur in it under specific operating conditions.

The last study of the efficiency of the diagnostic stand – static exploration of its shaft [1], the material of which is steel 45 GOST 535-88. When analyzing the simulation results, it was found that the minimum force margin of the shaft is  $n = 2.903$ , which is more than the allowable  $[n] = 1.5$ . Therefore, the aim of this work was to determine the possibility of replacing this material with another, more available in repair shops, for example, steel 15 DIN 1.1141 (C15E) – fig. 1.

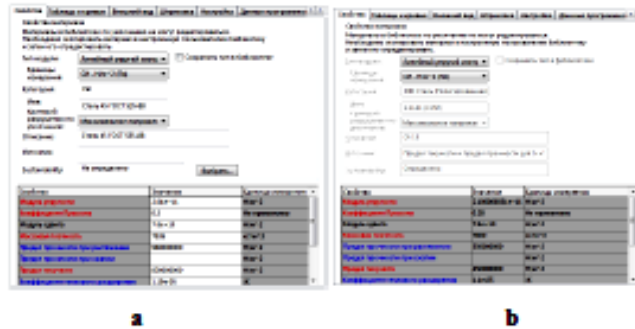


Fig. 1. Properties of steels 45 (a) and 15 (b)

Repeated calculations in SolidWorks Simulation divided the shaft model into finite elements [4], built a stiffness matrix; the synthesis of a finite-element model was carried out taking into account the conditions of its fixation at the nodal points; the obtained system of algebraic equations is solved; the components of the stress-

strain state are determined (fig. 2, table 1).

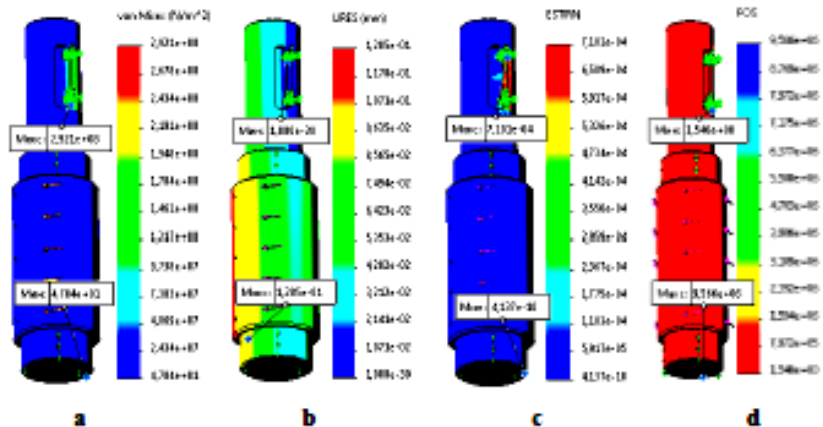


Fig. 2. Plots of total stresses von Mises (a), displacements URES (b), equivalent deformations ESTRN (c), strength reserve FOS shaft

Table 1

The results of the study of the shaft

| Steel | Tension (maximum), $\sigma$ , MPa | Moving (maximum), $h$ , mm | Deformation (maximum), $\delta$ , mm | Margin of safety (minimum), $n$ |
|-------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 45    | 285,945                           | 0,131668                   | 0,000735392                          | 2,903                           |
| 15    | 292,1                             | 0,1285                     | 0,0007101                            | 1,540                           |

Since the minimum safety factor for the shaft made of steel 15 is  $n = 1,540$ , in the case of replacing steel 45 with this steel for its manufacture, the safety margin is sufficient (allowable safety factor  $[n] = 1.5$ ).

REFERENCES

1. Borovyk O. V. Application of ICT for the development of the diagnostic stand of gear-boxes and anchorman bridges of vehicles / O. V. Borovyk, O. Yu. Rudyk, M. O. Pazii // Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom, 2020. – Pp. 71-79. – URL:

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України  
Кафедра експлуатації та ремонту машин



**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І  
ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН,  
ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ**

IV Міжнародна науково-практична конференція

***МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ***

13-16 квітня 2022 року  
м. Кропивницький

1

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ SOLIDWORKS ПРИ ТЕХНІЧНОМУ  
ОБСЛУГОВУВАННІ АВТОМОБІЛІВ**

А.В. Лішук, магістрант, гр. МТВАм-21-1,

О.Ю. Рудик, доц., канд. техн. наук

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Витрати на ремонт і технічне обслуговування (ТО) автомобілів є досить високими. При цьому вони експлуатуються із значними відхиленнями технічного стану механізмів від оптимальних. У таких автомобілів у наявності підвищена витрата палива, що викликано відсутністю необхідних умов для своєчасної та якісної оцінки їх технічного стану.

Зменшенню негативних чинників, які впливають на якість ТО та ремонт автомобілів, сприяє запровадження новітніх методів і засобів технічного діагностування, у тому числі стендових перевірок – діагностування.

Діагностування проводиться при ТО, ремонті, виявленні причин відмов, а також при визначенні залишкового ресурсу автомобілів.

Основна мета застосування діагностування – забезпечення найбільш ефективної експлуатації автомобілів при мінімальних витратах на їхнє ТО й ремонт. Скорочення витрат при запровадженні діагностування досягається за рахунок виконання ремонтно-обслуговуючих робіт відповідно до технічного стану машин. Це дозволяє запобігти передчасним ремонтам, вчасно запобігти відмовам і скоротити простой автомобілів з технічних причин.

При діагностуванні визначають справність або тільки працездатність механізмів і систем; стан регульованих спражень; технічні характеристики складових частин, зазначені в інструкції для експлуатації автомобіля; виявляють ознаки, місця й причини відмов. У результаті діагностування одержують характеристику фактичного технічного стану автомобіля (ствалість діагнозу). На основі діагнозу вказують конкретні ремонтні роботи, необхідні для відновлення допустимих параметрів технічного стану.

Діагностування виконують згідно з технологією, яка містить: технічні вимоги на діагностування, вказівки про порядок і режими проведення робіт, застосовуваному устаткуванню, послідовності перевірок; поопераційних нормативах трудомісткості й тривалості робіт.

У результаті діагностування отримують інформацію про технічний стан автомобіля, яка дозволяє: вчасно виявити й запобігти його відмовам; підтримувати оптимальні регулювання; скоротити простой через технічні несправності; кваліфіковано оцінити технічний стан складових частин й розробити рекомендації з виконання попереджувальних операцій; замінити окремі частини автомобіля, їх ремонт або подальшу експлуатацію без ТО.

Впровадження діагностування дозволяє на основі достовірної інформації про технічний стан автомобіля раціонально організувати його ТО й ремонт.

Тому метою даного дослідження є визначення працездатності стелу діагностики коробок передач і ведучих мостів автомобілів на основі використання універсальної системи параметризації SolidWorks. Конструкція стелу діагностики та принцип його роботи наведені в [1].

Початок дослідження – екстремальний випадок, який може виникнути при збиранні стелу діагностики: ослаблення (або відсутність) правого болта кріплення підшипникової опори. Внаслідок цього відбувається перебік вала барабану [2]. Продовження – розрахунок статичної міцності вала навантаженого пристрою ланцюгової передачі [3].

У цих дослідженнях для розрахунків застосовані інформаційні технології на прикладі

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

застосування сучасної промислової системи автоматизованого проектування (CAD) та інженерного аналізу (CAE) – SolidWorks. Її можливості:

- простий інтерфейс;
  - можливість при побудові віртуального образу визначити площу, об'єм, масу об'єкта, відстань між його характерними точками;
  - спроможність легко змінювати розміри й форми віртуального геометричного тіла.
- Додатком SolidWorks є SolidWorks Simulation, за допомогою якого можна прогнозувати поведінку деталі в реальній експлуатації. Для цього цифрова модель аналізується методом скінченних елементів (МСЕ). Можна проводити лінійний і нелінійний статичний і динамічний аналізи. Переваги [4]:
- можливість швидко прорахувати велику кількість альтернативних варіантів конструкції;
  - скорочення циклу розробки завдяки оптимізації конструкторських рішень;
  - визначення запасу міцності, втомних напружень та інших параметрів на різних стадіях розробки деталі;
  - скорочення витрат на матеріали (SolidWorks Simulation допомагає виявити й виключити зайвий запас міцності);
  - зниження витрат на випробування фізичних зразків завдяки віртуальним випробуванням цифрових 3D-моделей.

Взаємодія з додатком SolidWorks для проектування [4]:

- робота у середовищі SolidWorks 3D CAD;
- підтримка конфігурацій і матеріалів SolidWorks;
- довільна система, документація й база даних;
- запис макросів та інтерфейси прикладного програмування (API).

Основна ідея МСЕ полягає в тому, що будь-яку безперервну величину, таку як температура, тиск і переміщення, можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будуватиметься на базі шматково-безперервних функцій. У загальному випадку безперервна величина наперед не відома, і потрібно визначити значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області [5].

Останнє дослідження деталей стенду діагностики, яке проводилось у SolidWorks Simulation – статичний розрахунок його вала [1], матеріал якого – сталь 45 ГОСТ 535-88. При аналізі результатів моделювання встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності вала становить  $n = 2,903$ , що більше допустимого  $[n] = 1,5$ . Тому мета даної роботи – визначення можливості заміни даного матеріалу на інший, наприклад, сталь 15 DIN 1.1141 (C15E) – рис. 1.

|                                   |                                   |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Имя:                              | Сталь 45 ГОСТ 535-88              | Имя:                              | 1.1141 (C15E)                     |
| Тип модели:                       | Линейный Упругий<br>Изоотропный   | Тип модели:                       | Линейный Упругий<br>Изотропный    |
| Критерий прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises | Критерий прочности по умолчанию:  | Максимальное напряжение von Mises |
| Предел текучести:                 | $8,2e+08 \text{ Н/м}^2$           | Предел текучести:                 | $4,5e+08 \text{ Н/м}^2$           |
| Предел прочности при растяжении:  | $9,8e+08 \text{ Н/м}^2$           | Предел прочности при растяжении:  | $5,5e+08 \text{ Н/м}^2$           |
| Модуль упругости:                 | $2,04e+11 \text{ Н/м}^2$          | Модуль упругости:                 | $2,1e+11 \text{ Н/м}^2$           |
| Коэффициент Пуассона:             | 0,3                               | Коэффициент Пуассона:             | 0,28                              |
| Массовая плотность:               | $7824 \text{ кг/м}^3$             | Массовая плотность:               | $7800 \text{ кг/м}^3$             |
| Модуль сдвига:                    | $7,8e+10 \text{ Н/м}^2$           | Модуль сдвига:                    | $7,9e+10 \text{ Н/м}^2$           |
| Коэффициент теплового расширения: | $1,19e-05 \text{ /Кельвин}$       | Коэффициент теплового расширения: | $1,1e-05 \text{ /Кельвин}$        |
| а)                                |                                   | б)                                |                                   |

Рисунок 1 – Властивості сталей 45 (а) і 15 (б)

Повторними розрахунками у SolidWorks Simulation проведено розділення моделі вала на скінченні елементи [6], побудовано матрицю жорсткості; здійснено синтез скінченно-елементної моделі з урахуванням умов її закріплення у вузлових точках; розв'язано одержану систему алгебраїчних рівнянь; визначено компоненти напружено-деформованого стану (на рис. 2 наведено кінематичний результат розрахунка – запас міцності FOS вала).

| Имя             | Тип  | Мин                    | Макс                      |
|-----------------|------|------------------------|---------------------------|
| Запас прочности | Авто | 2,93266<br>Узел: 13965 | 7,01485e+016<br>Узел: 919 |

а

| Имя             | Тип  | Мин                      | Макс                   |
|-----------------|------|--------------------------|------------------------|
| Запас прочности | Авто | 1,540e+00<br>Узел: 13965 | 9,566e+06<br>Узел: 915 |

б

Рисуюнок 2 – Запас міцності FOS вала (а – сталь 45, б – сталь 15)

Встановлені максимальні напруження VON, які виникають у валу, виготовленому із сталі 15  $\sigma_{max} = 292,1$  МПа (вузол 13965); максимальне результуюче переміщення URES  $U_{max} = 1,285e-01$  mm (вузол 10663); максимальна еквівалентна деформація ESTRN  $\epsilon_{max} = 7,101e-04$  (елемент 4072). Таким чином, у випадку заміни сталі 45 на сталь 15 для виготовлення вала стелю діагностики коробок передач і ведучих мостів автомобілів запас міцності достатній (допустимий коефіцієнт запасу міцності  $[n] = 1,5$ ).

Отже, отримані результати підтверджують актуальність проведеного дослідження з використанням SolidWorks та його додатку – SolidWorks Simulation (застосування динамічного статичного аналізу): з точки зору забезпечення міцності для виготовлення вала заміна його матеріалу є можливою. Але, враховуючи умови роботи цієї деталі, для підвищення її зносостійкості рекомендується термічна або хіміко-термічна обробка.

#### Список використаних джерел

1. Borovuk O. V. Application of ICT for the development of the diagnostic stand of gear-boxes and anchorless bridges of vehicles / O. V. Borovuk, O. Yu. Rudyk, M. O. Pazi // Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Cognium Publishing House: Liverpool, United Kingdom, 2020. – Pp. 71-79. – URL: <http://elar.kh.ua/jspui/handle/123456789/9768>
2. Рачок Р. В. Дослідження ориєнтованості стелю діагностики автомобільної техніки та діагностики SolidWorks / Р. В. Рачок, О. Ю. Рудик, В. С. Єрмаков // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Ресурсно-орієнтоване значення в «3D»: доступність, діалог, динаміка» / укл. Н. В. Кононець, В. О. Балюк. – Полтава: КУЕП ЦДАА, 2019. – С. 80-85. – Режим доступу: <http://elar.kh.ua/jspui/handle/123456789/9431>
3. Трасковецька Л. М. Застосування інформаційно-комп'ютерних технологій для міцніших розрахунків // Л. М. Трасковецька, О. Ю. Рудик, С. П. Мазур // Тези доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18-20 квітня 2019 р.). – Житомир: ЖДТУ, 2019. – С. 190-191. – Режим доступу: <http://elar.kh.ua/jspui/handle/123456789/9466>
4. SOLIDWORKS Simulation [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://interset.kiev.ua/simulation\\_packages](https://interset.kiev.ua/simulation_packages)
5. Овчаренко В. А. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник / В. А. Овчаренко, С. В. Подласний, С. М. Звиченко. – Кривий Ріг: ДДМА, 2008. – 380 с.
6. Рудик О. Ю. Методологія використання ІКТ на базі SolidWorks / О. Ю. Рудик, О. В. Діва // Сучасні інформаційні технології в освіті і науці: 3 Всеукр. наук. Інтернет-конф., 26-27 березня 2021 р. : (об'єднаний матеріал) / МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини, Ін-т інформаційних технологій і засобів навч. НАПН України [та ін.] ; редкол.: Медведєва М. О. (голова ред.), Ткачук Г. В., Жмуд О. В., [та ін.]. – Умань: Віпні, 2021. – С. 120-122. – Режим доступу: <http://elar.kh.ua/jspui/handle/123456789/10192/>
7. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.]; під заг. ред. В. В. Ауліна. – Кривий Ріг: Лисенко В. Ф., 2020. – 428с.

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

**Графічне забезпечення дипломної роботи**

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | МРТАМ 2217126.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

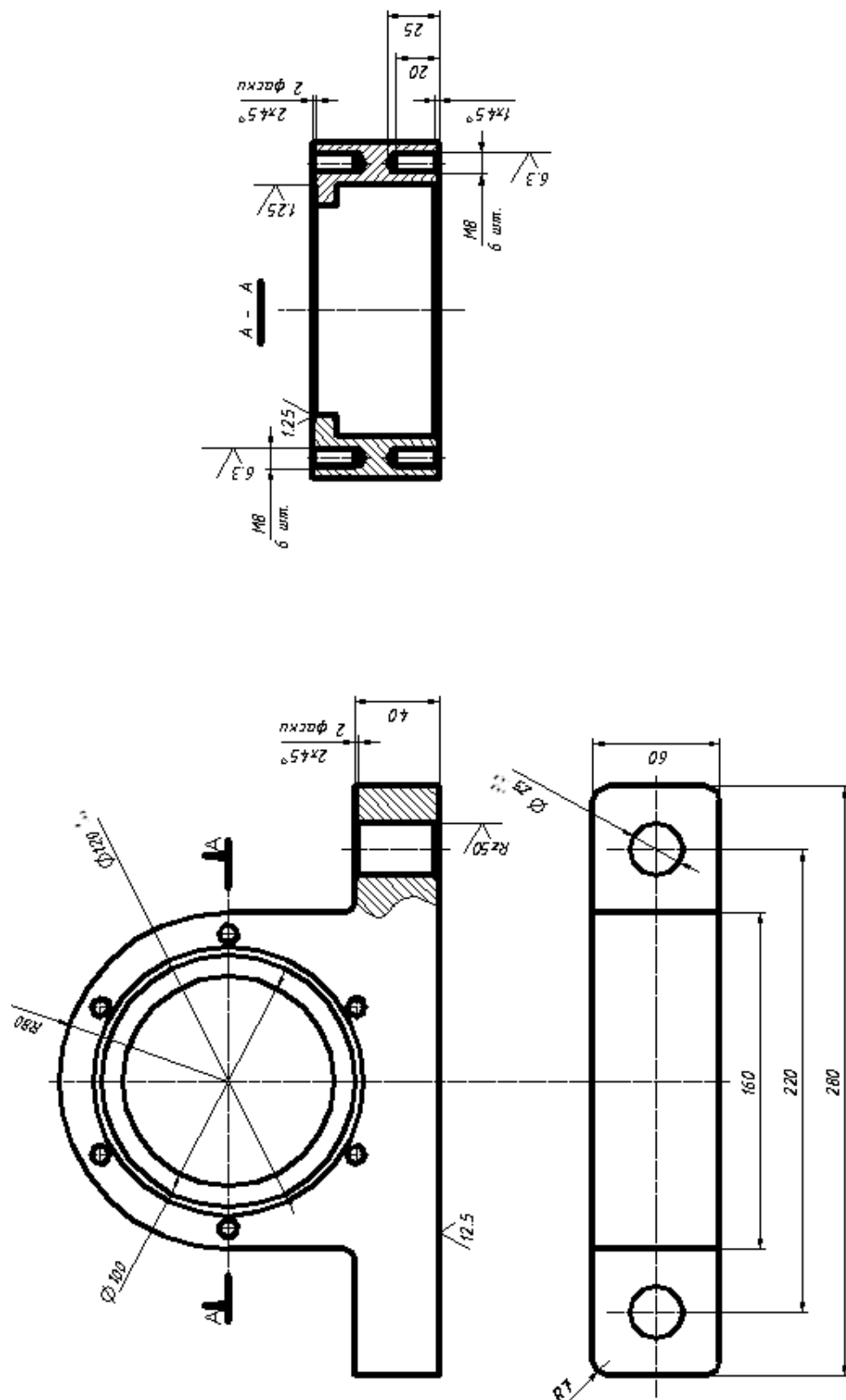


Рисунок Б1 – Креслення підшипникової опори (Compas-3D)

Сталь 40 ГОСТ 4543-71

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

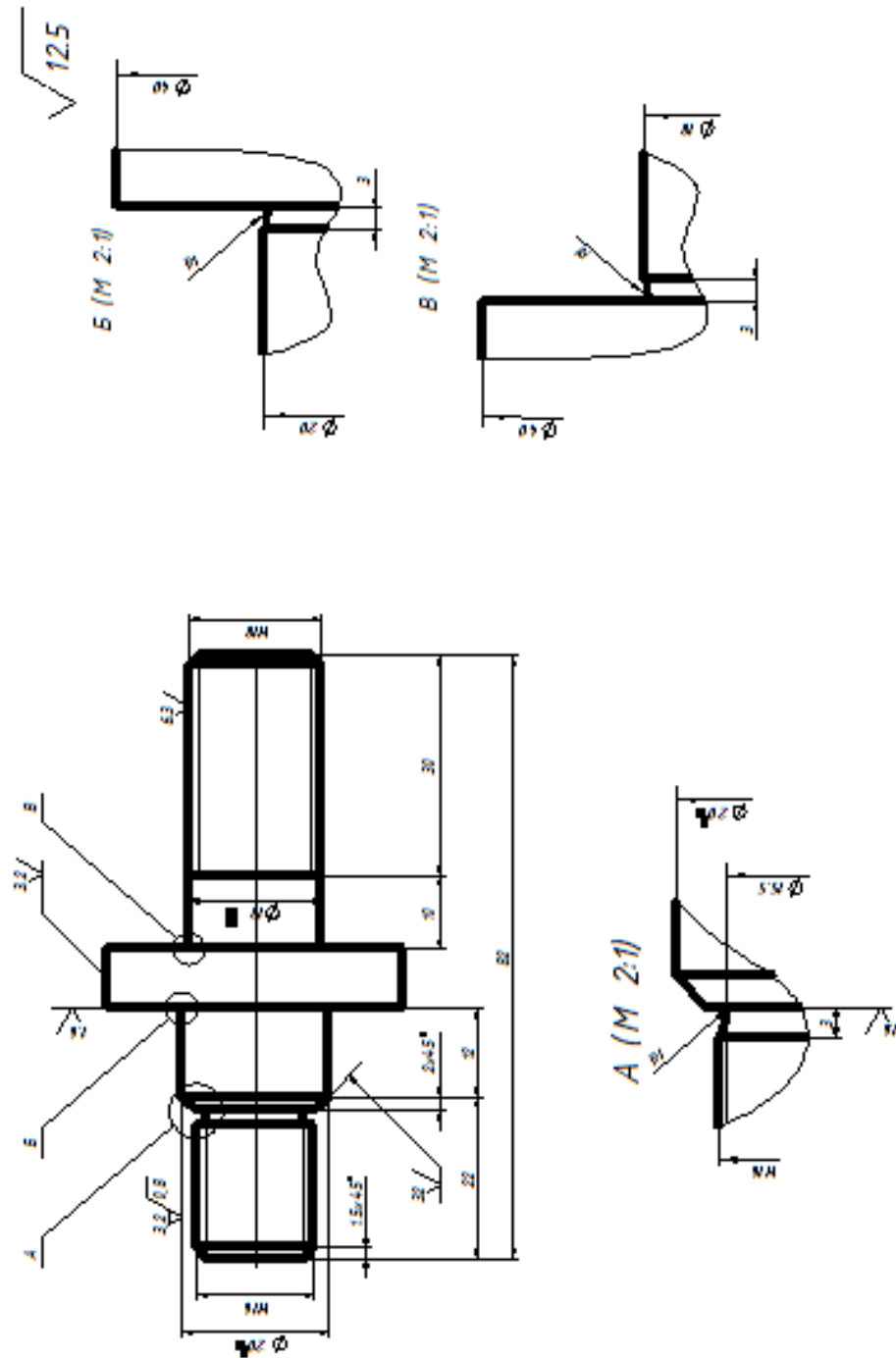


Рисунок Б2 – Креслення валу натяжного пристрою(Compas-3D)

Сталь 45 ГОСТ 4543-88

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

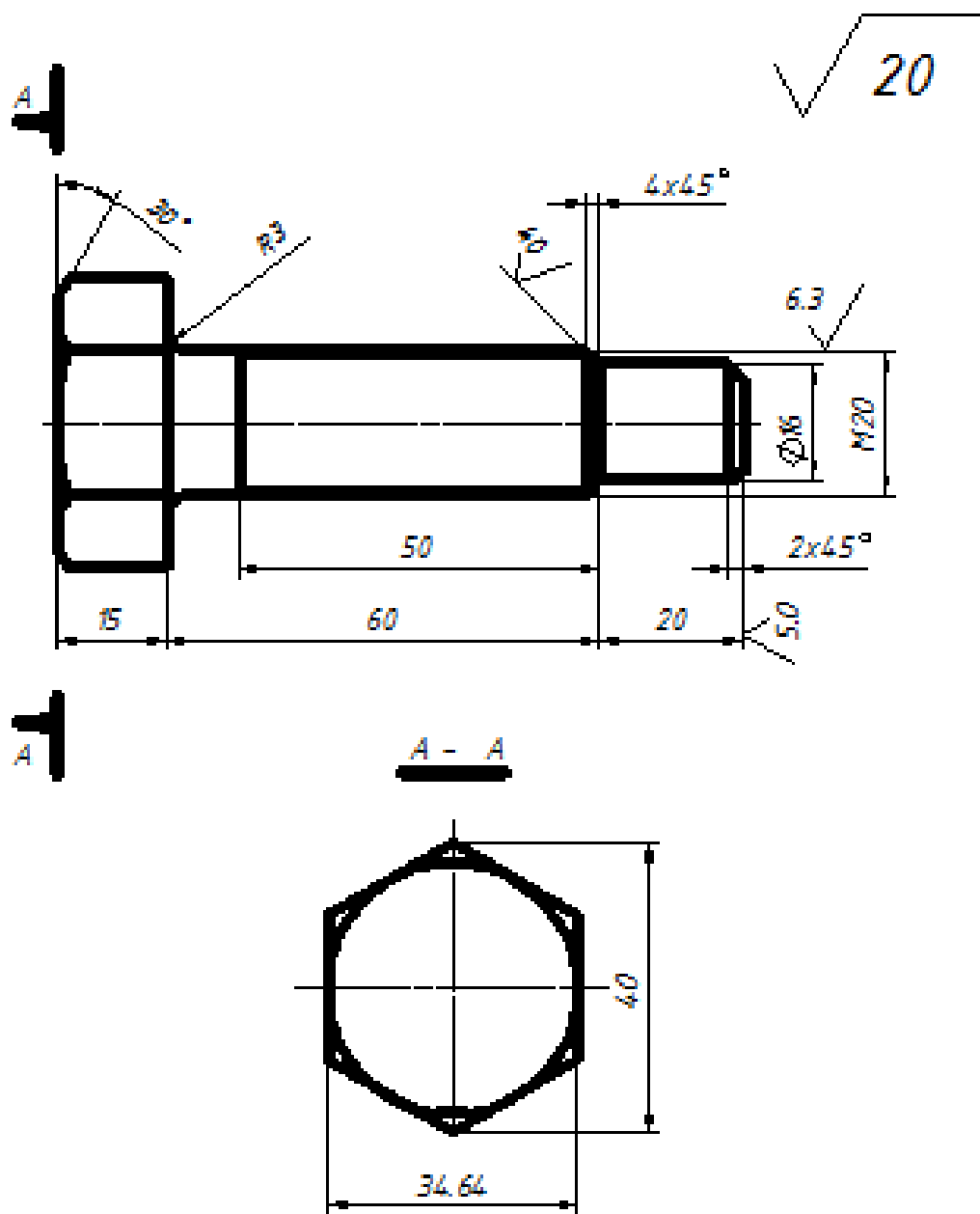


Рисунок БЗ – Креслення упорного болта натяжного механізму (Compas-3D)

*Сталь 20 ГОСТ 4543-71*

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

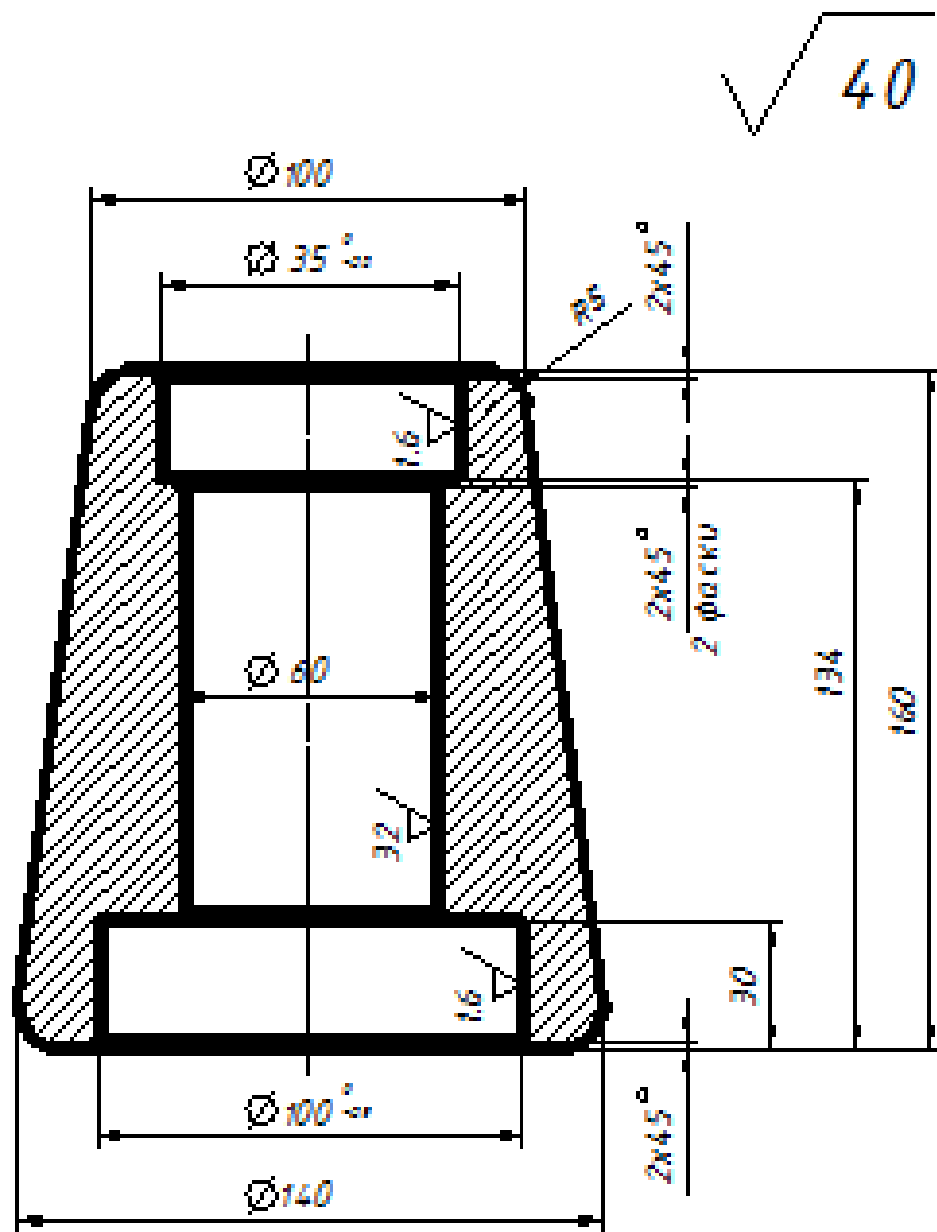


Рисунок Б4 – Креслення відбійного ролика (Comras-3D)

Сталь 30 ГОСТ 4543-71

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

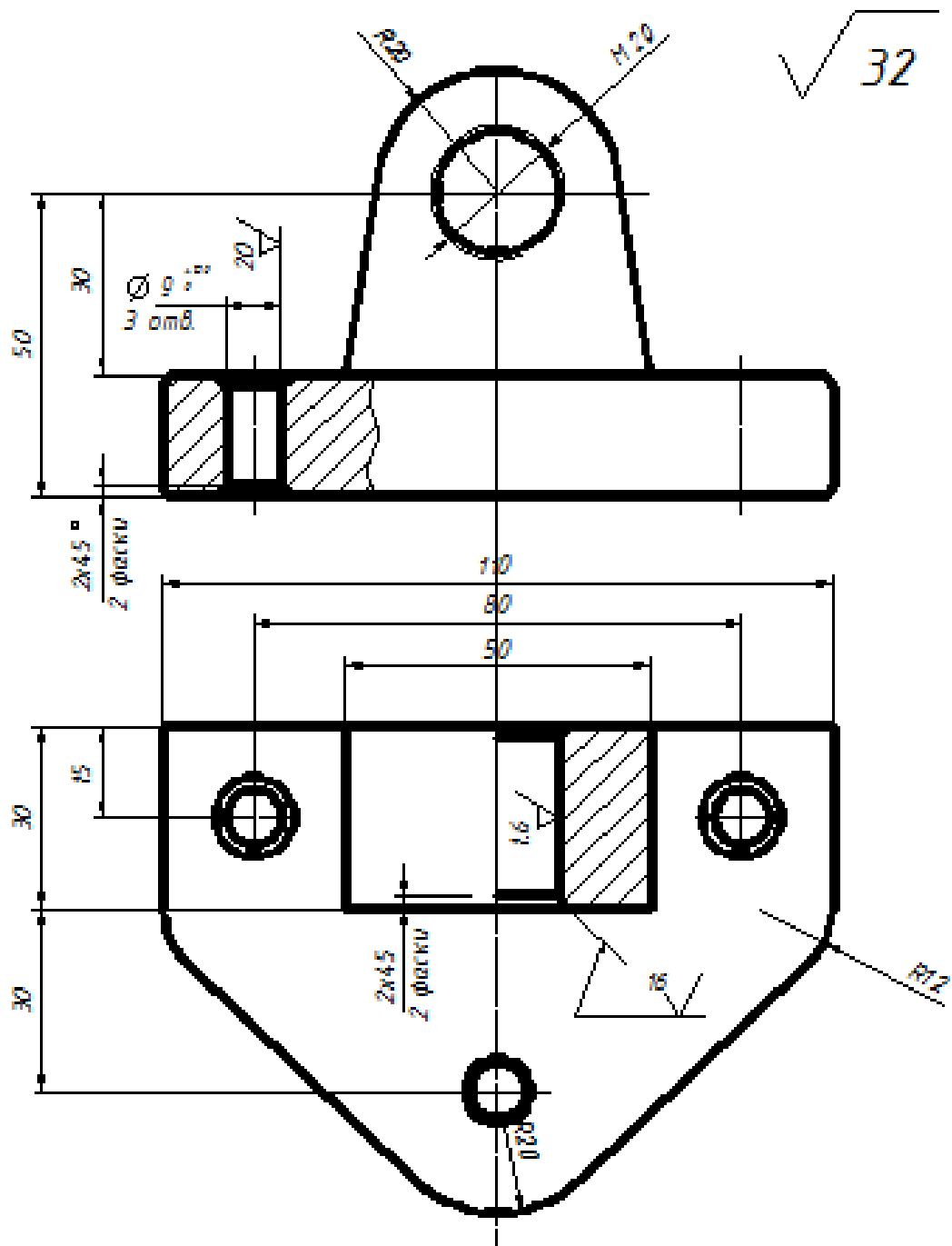


Рисунок Б5 – Креслення опори натяжного пристрою (Compas-3D)

Сталь 35 ГОСТ 4548-71

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

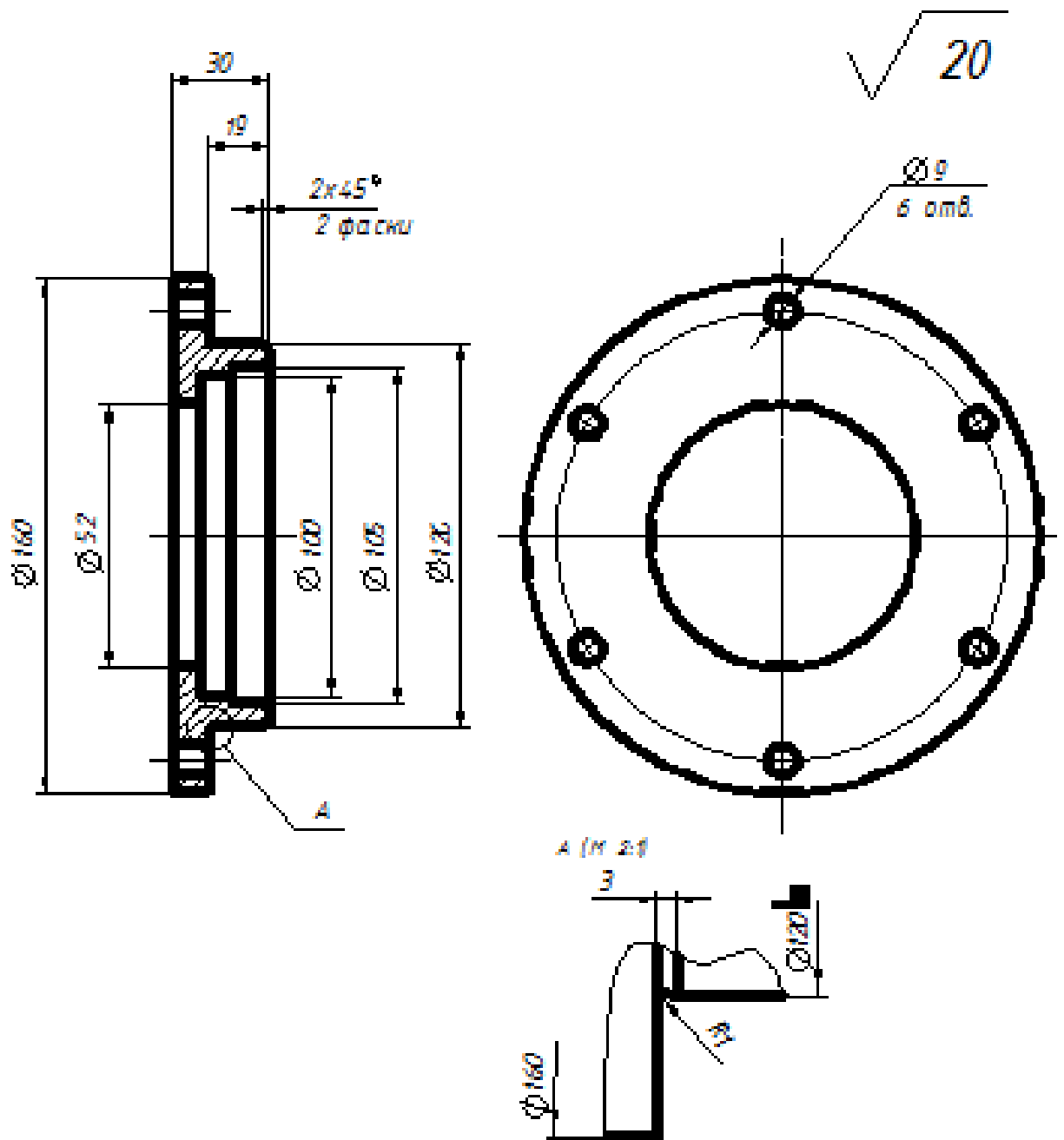
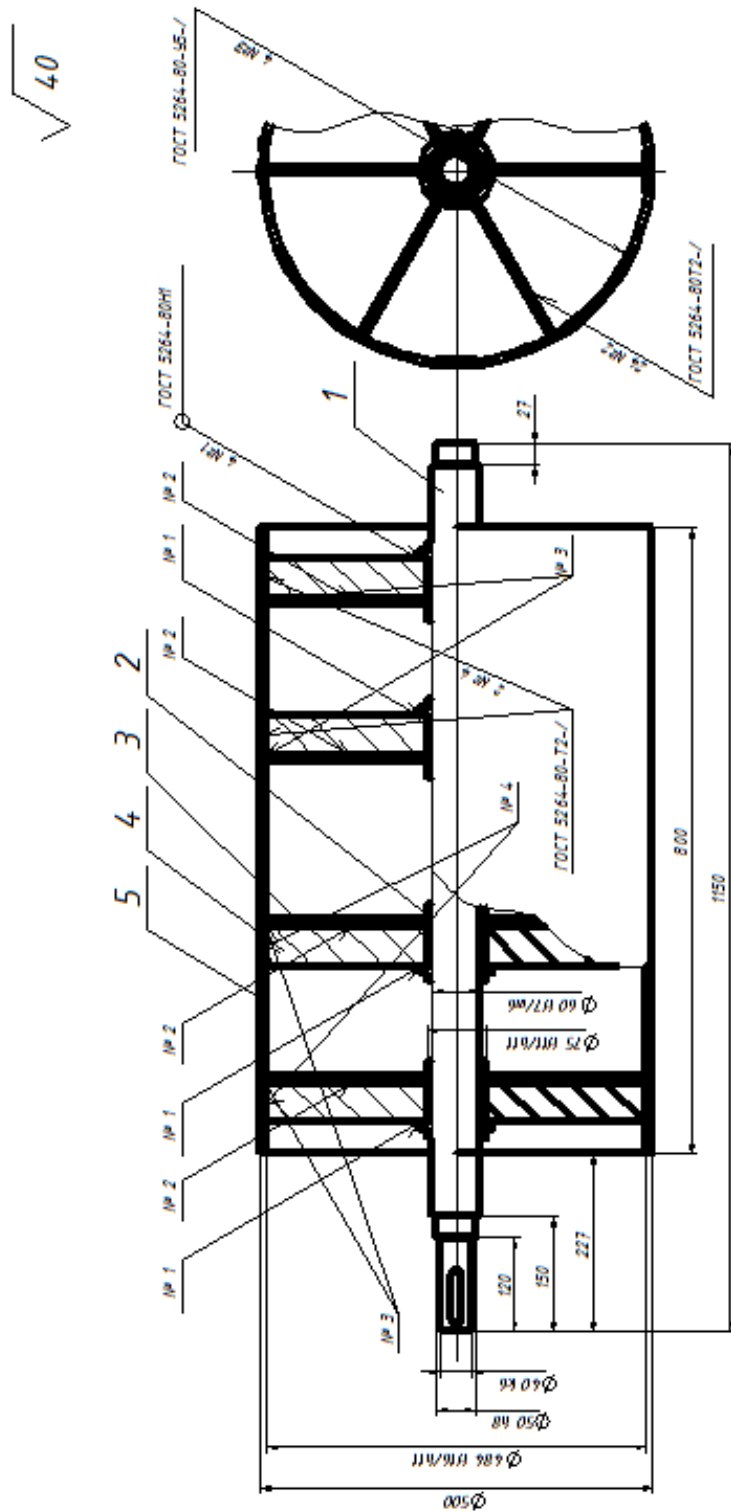


Рисунок Б6 – Креслення наскрізної кришки (Compas-3D)  
 Круг 165 Сталь 20 ГОСТ 4543-71

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.



1 – вал; 2 – маточина; 3 – ребро жорсткості; 4 – диск; 5 – обойма барабана  
**Рисунок Б7 – Барабан з валом. Складальне креслення (Compas-3D)**

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

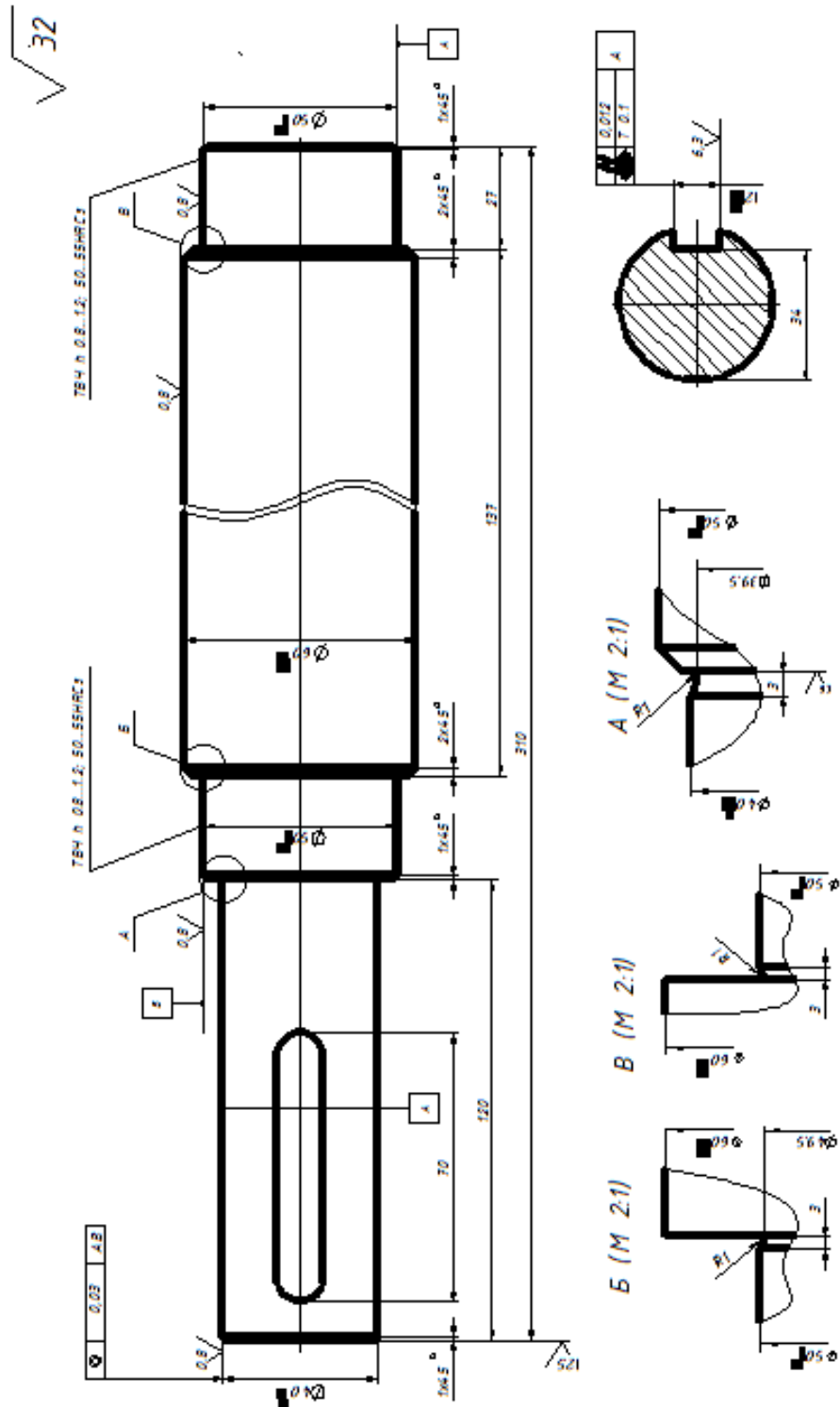


Рисунок Б8 – Креслення валу (Compas-3D)

Круг В65 ГОСТ 2590-88

Сталь 45 ГОСТ 4543-88

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

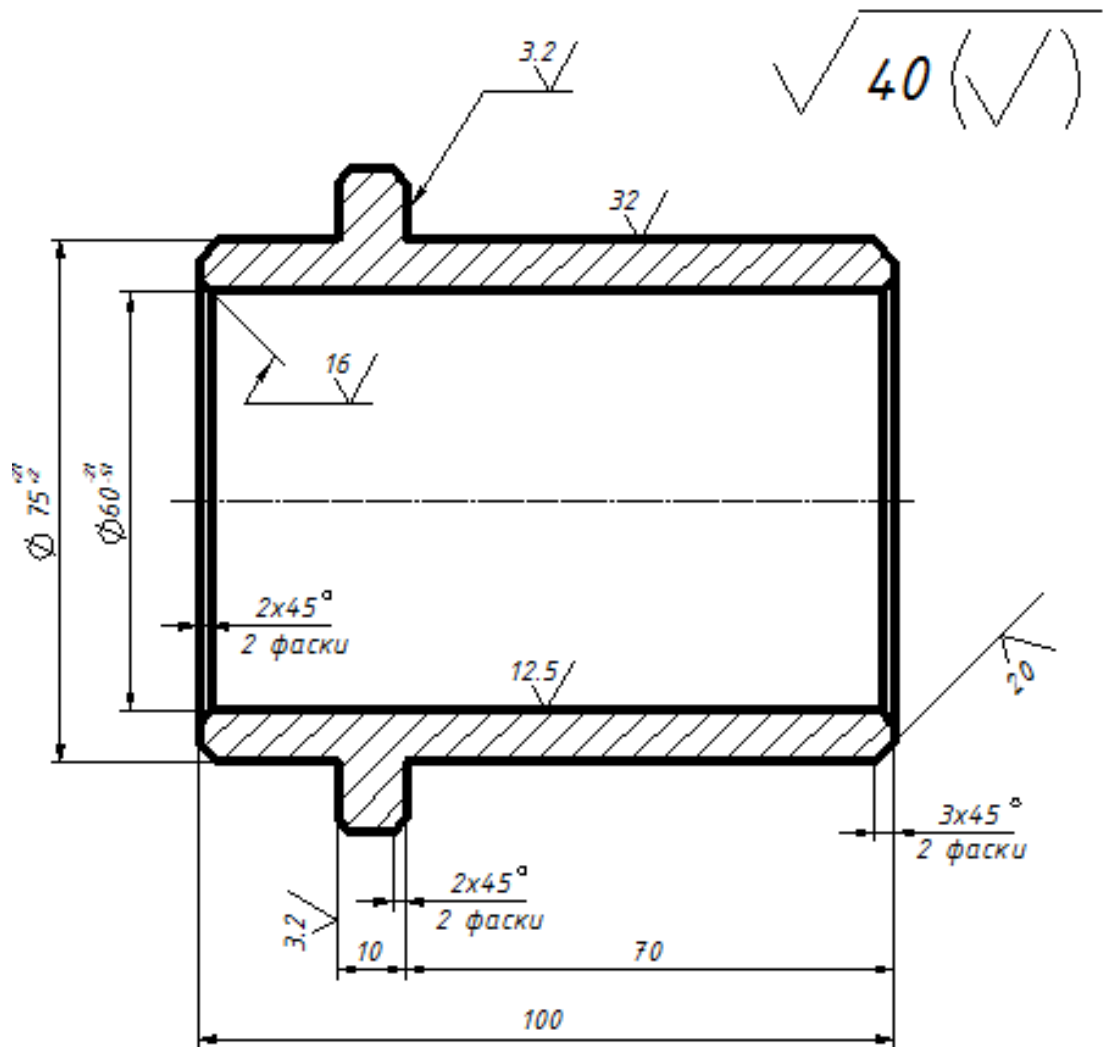


Рисунок Б9 – Креслення маточини барабана (Compas-3D)  
*Круг Сталь 45 ГОСТ 4548-88*

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

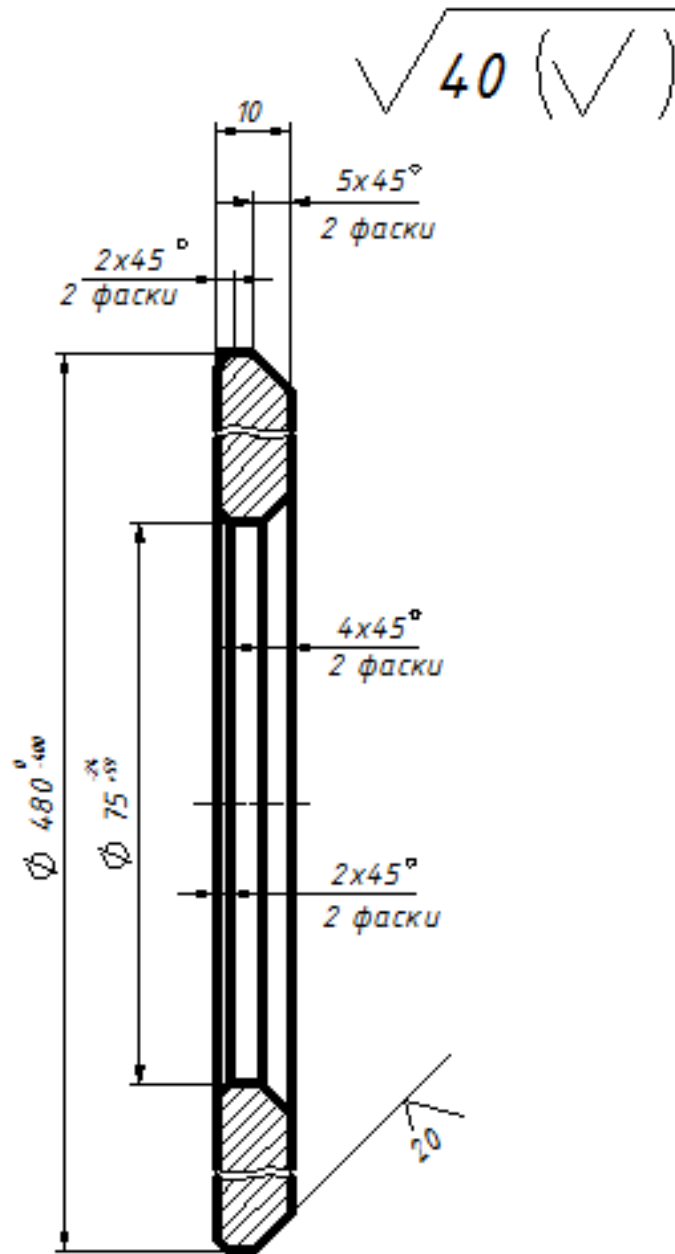


Рисунок Б10 – Креслення диску барабана (Compas-3D)

Сталь 20 ГОСТ 4548-88

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.

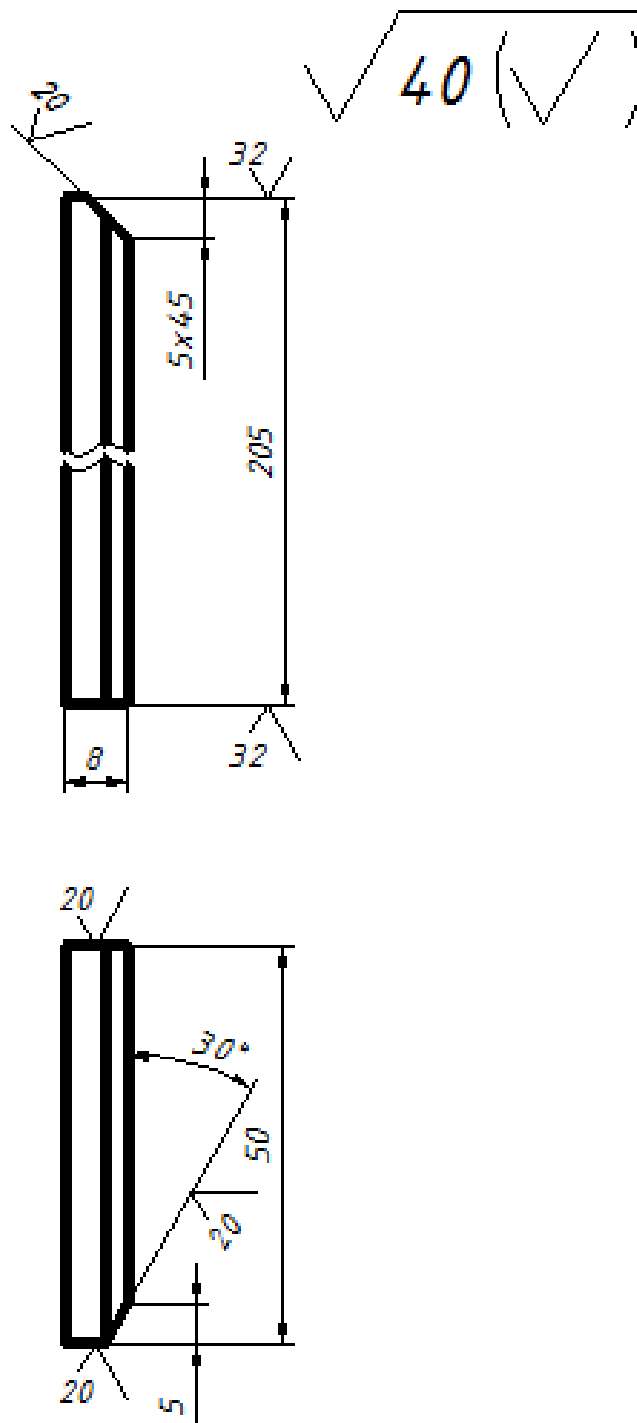


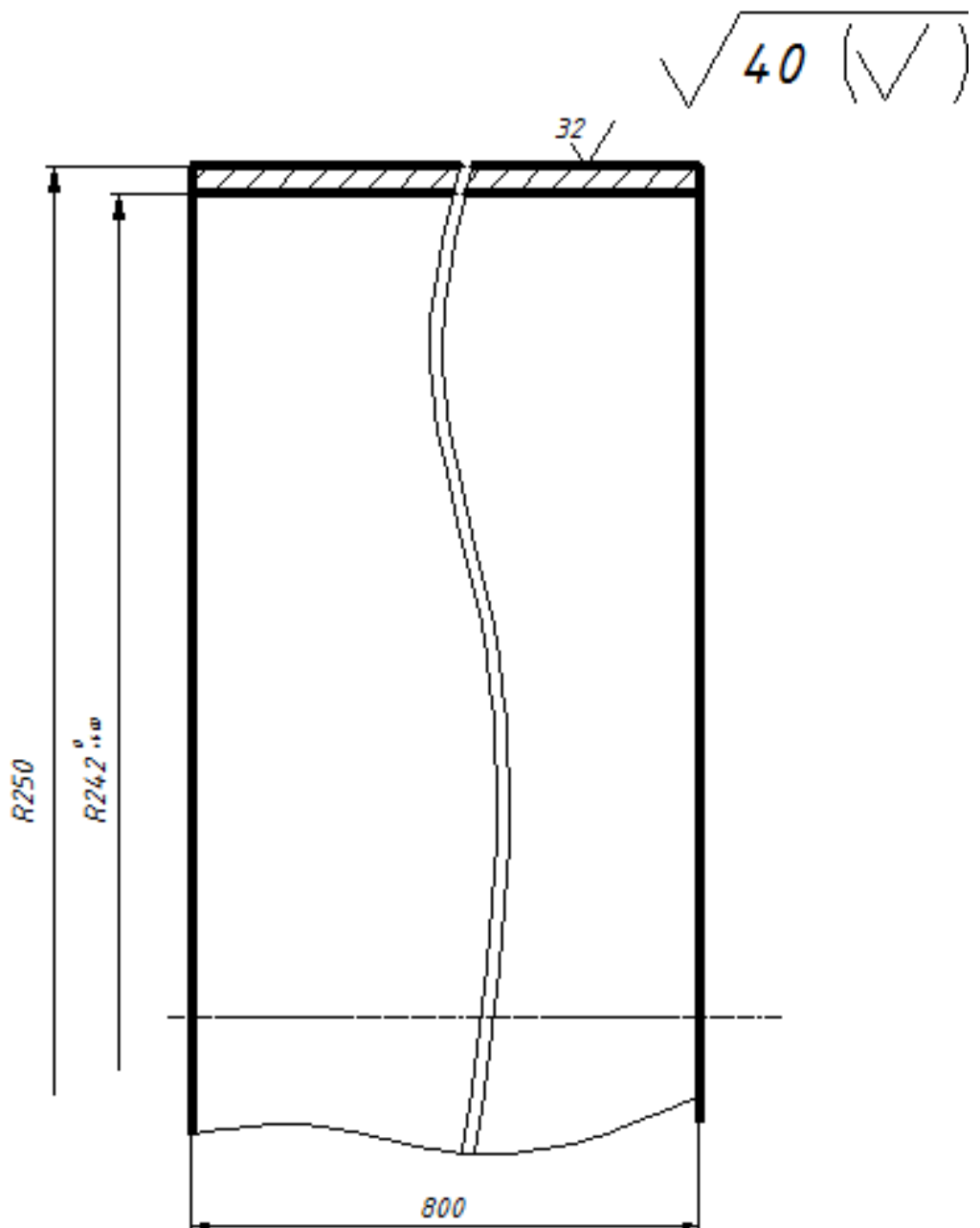
Рисунок Б11 – Креслення ребра жорсткості барабана (Compas-3D)

*Сталь 20 ГОСТ 380-88*

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.



**Рисунок Б12 – Креслення обойми барабана (Compas-3D)**

*Труба 500 ГОСТ 2594-88  
У8 ГОСТ 4543-88*

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

МРТАМ 2217126.000 ПЗ

Арк.