

## 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: «Дослідження гальмівних систем вантажних  
автомобілів та автобусів»

Шифр МРТАМ 2118128.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВАм-20-1

  
Підпис

О.Я. Жарюк  
Ініціали, прізвище

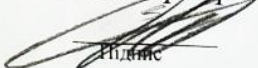
Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ

  
Підпис

О.Ю. Рудик  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.

  
Підпис

О.В. Духа  
Ініціали, прізвище

10 12 2021 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

21 жовтня 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Жарюку Олександр Яковичу

Прізвище, ім'я, по батькові

Тема проекту (роботи) Дослідження гальмівних систем вантажних автомобілів та автобусів

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

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

Затверджено наказом університету від 25 серпня 2021р. № 102 (25)

Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2021 р.

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

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальна характеристика гальмівної системи вантажних автомобілів та автобусів

2. Огляд та аналіз конструкцій гальмівних камер з пружинним енергоакумулятором

3. Удосконалення гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором пневмоприводу автомобілів сімейства КамАЗ

4. Розрахунок деталей удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором

5. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану деталей удосконаленого енергоакумулятора

6. Розробка технологічної карти то гальмівної системи автомобілів сімейства КамАЗ

7. Обґрунтування економічної ефективності

Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проекту представити у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

Відомості про видачу

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_


### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ зп.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Цілі
1	Літературний огляд	30.09.2021	
2	Технологічний розділ	25.10.2021	
3	Дослідницький розділ	15.11.2021	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2021	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	1.12.2021	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	5.12.2021	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.12.2021	

Студент

  
Підпис

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

О.Я. Жарюк  
Ініціали, прізвище

О.Ю. Рудик  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

**Обсяг пояснювальної записки** – 100 сторінок, кількість рисунків – 44, таблиць – 0, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 28.

**Об'єкт дослідження:** гальмівні системи вантажних автомобілів МАЗ, ЛАЗ, КамАЗ, ЗИЛ-130 та автобусів ЛіАЗ-677, ЛАЗ-695Н

**Мета роботи:** удосконалення гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором пневмоприводу автомобілів сімейства КамАЗ

**Результати та їх новизна:** проведений огляд та аналіз конструкцій гальмівних камер з пружинним енергоакумулятором; розроблена конструкція удосконаленого енергоакумулятора і технологічна карта на технічне обслуговування гальмівного пневмопривода; визначена техніко-економічна ефективність проекту.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:** розроблений пристрій фіксації поршня, що дозволяє понизити у пневмоприводі втрати стислого повітря, розвантажити компресор і збільшити його ресурс, понизити витрату палива та підвищити безпеку руху транспортного засобу.

**Перелік ключових слів:** ВАНТАЖНІ АВТОМОБІЛІ, АВТОБУСИ, ГАЛЬМІВНІ КАМЕРИ, ПНЕВМОПРИВОД, ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОР.

ВСТУП .....

## 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

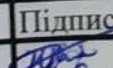
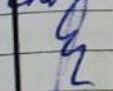
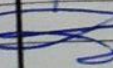
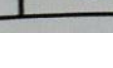
### ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА АВТОБУСІВ.....

1.1 Гальмівні системи автомобілів МАЗ, ЛАЗ, КамАЗ і ЗІЛ-130.....	9
1.2 Регулювання гальм КамАЗ.....	9
1.3 Будова привода гальм причіпного складу.....	11
1.4 Енергоаккумулятори: призначення, принцип роботи й установка.....	11
1.4.1 Призначення й принцип дії енергоаккумулятора.....	11
1.4.2 Будова енергоаккумулятора КамАЗ.....	17
1.4.3 Принцип роботи енергоаккумулятора КамАЗ.....	19
1.4.4 Ремонт гальмівної камери з пружинним енергоаккумулятором.....	20
1.5 Гальмівні системи автобусів ЛіАЗ-677, ЛАЗ-695Н.....	21

## 2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГАЛЬМІВНИХ КАМЕР

### З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ .....

2.1 Пневматичний енергоаккумулятор пружинно-поршневого типу.....	22
2.2 Комбіновані гальмівні камери з пружинними енергоаккумуляторами автомобілів ЗІЛ і КамАЗ.....	24
2.2.1 Пружинний енергоаккумулятор з конструкцією механічного розгальмовування без деформації силової пружини.....	26
2.2.2 Пружинний енергоаккумулятор з пристроєм гідралічного розгальмовування.....	27
2.2.3 Гальмівна камера з пружинним енергоаккумулятором типу 12/20 автобуса ЛіАЗ-5256 .....	28

					МРТАМ 2118128.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Дослідження гальмівних систем вантажних автомобілів та автобусів	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Жарюк					У	4	100
Перевір.	Рудик							
Н.контр.	Бабак							
Затвер.	Диха							

2.3 Висновки відносно аналізу конструкцій гальмівних камер з пружинним енергоаккумулятором .....	
<b>3 УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ КАМЕРИ З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ ПНЕВМОПРИВОДУ АВТОМОБІЛІВ СІМЕЙСТВА КамАЗ .....</b>	
3.1 Схема та принцип дії запропонованої конструкції .....	
3.2 Управління удосконаленою конструкцією енергоаккумулятора.....	
<b>4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛЕЙ УДОСКОНАЛЕНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ КАМЕРИ З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ .....</b>	
4.1 Розрахунок міцності фіксуєчого механізму .....	
4.2 Розрахунок гвинтової пари пристосування для механічного розгальмовування.....	
4.3 Розрахунок клепаного з'єднання напрямної поршня.....	
4.4 Розрахунок клепаного з'єднання корпусу електромагніту .....	
4.5 Розрахунок пружини фіксуєчого пристрою .....	
4.6 Розрахунок електромагніту для управління механізмом фіксації поршня..	
4.6.1 Розрахунок параметрів магнітопроводу .....	
4.6.2 Розрахунок параметрів обмотки електромагніту .....	
<b>5 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ УДОСКОНАЕНОГО ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРА .....</b>	
5.1 Дослідження міцності поршня за допомогою SolidWorks Simulation .....	
5.2 Дослідження міцності кришки корпусу електромагніту за допомогою SolidWorks Simulation .....	
5.3 Дослідження міцності корпусу магнітопроводу за допомогою SolidWorks Simulation .....	
5.4 Дослідження міцності сердечника за допомогою SolidWorks Simulation....	
<b>6 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ТО ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ СІМЕЙСТВА КамАЗ.....</b>	
<b>7 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....</b>	
7.1 Розрахунок статті витрат на впровадження конструкції .....	
7.2 Розрахунок статей доходів від упровадження проекту.....	

7.3 Розрахунок показників економічної ефективності.....

**ВИСНОВКИ.....**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....**

**ДОДАТКИ.....**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У процесі експлуатації гальмівного механізму автомобілів та автобусів в енергоакумуляторах зношуються і виходять з ладу ущільнення поршня в циліндрі та труби штовхача в корпусі, що веде до пригальмовування автомобіля та, як наслідок, до збільшення витрати палива й зносу гальмівного механізму. При обриві пневмопроводів, які підводять стисле повітря в енергоакумулятори для розгальмовування автомобіля, відбувається спрацьовування стоянкового гальма під час руху, що може привести до виникнення аварійної ситуації й дорожньо-транспортної події. Необхідність постійно (при руху автомобіля) подавати в енергоакумулятори стисле повітря призводить до того, що компресор знаходиться в робочому стані значний час, здійснюючи підживлення стоянкового контуру. При цьому відбувається знос навантажених деталей компресора.

**Новизна роботи.** З метою зниження зносу компресора і попередження деяких експлуатаційних відмов пропонується модернізація гальмівної стоянкової системи, зокрема, конструкції пружинного енергоакумулятора та способу управління ним. Конструктивною його відмінністю є застосування фіксуючого механізму з дистанційним пристроєм розгальмовування. У результаті знижується ризик виникнення аварійної ситуації на дорозі, спрощується процес аварійного розгальмовування.

**Достовірність отриманих результатів та обґрунтованість висновків і рекомендацій** забезпечена застосуванням сучасних методів досліджень, достатнім об'ємом експериментально-розрахункової частини роботи, використанням комп'ютерної техніки для розв'язання задач.

**Результати досліджень були представлені на:**

– сімнадцятій Всеукраїнській конференції студентів і молодих науковців «Інформатика, інформаційні системи та технології» (присвячується 100-річчю фізико-математичного факультету університету Ушинського). – 24 квітня 2020 р., Одеса: ОНУ.

**Можливість використання висновків і рекомендацій у наукових дослідженнях та на практиці:** перевагами удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором є можливість роботи енергоакумулятора в розгальмованому режимі без підведення до нього з гальмівної магістралі стислого повітря. В результаті такої особливості під час роботи автомобіля виключається ймовірність виникнення аварійної ситуації через розгерметизацію гальмівного стоянкового контуру.

Робота пропонованого енергоакумулятора в розгальмованому положенні без підведення стислого повітря дозволяє істотно скоротити потреби гальмівного пневмоприводу у ньому. Зниження витрати повітря відбувається за рахунок зменшення технологічно необхідної для енергоакумулятора кількості повітря і витоків у стоянковому контурі. В результаті цього зменшується час роботи компресора в режимі навантаження і, як наслідок, знижується знос його деталей. Одночасно відбувається зниження витрати палива, споживаного двигуном, на здійснення приводу компресора.

# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

## 1.1 Гальмівні системи вантажних автомобілів МАЗ, ЛАЗ, КамАЗ і ЗИЛ-130

Гальмівну систему з пневматичним приводом застосовують на великовантажних автомобілях і великих автобусах. Гальмівне зусилля в пневматичному приводі створюється повітрям, тому під час гальмування водій прикладає до гальмівної педалі невелике зусилля, що керує лише подачею повітря до гальмових механізмів. Порівняно з гідравлічним приводом пневмопривод має менш жорсткі вимоги щодо герметичності всієї системи, оскільки невелика втрата повітря під час роботи двигуна поповнюється компресором. Проте в пневмопривода складніша конструкція приладів, їхні габаритні розміри й маса набагато більші, ніж у гідропривода. Особливо ускладнюються системи пневмопривода на автомобілях, що мають двоконтурну або багатоконтурну схему (МАЗ, ЛАЗ, КамАЗ і ЗИЛ-130 – [27]).

Надійна робота гальмівної системи – основа безпеки дорожнього руху. Багатоконтурна гальмівна система автомобілів сімейства КамАЗ задовольняє таким вимогам, як робота у стежачому режимі гальмівних контурів тягача і причепа, стоянкове гальмування пружинними енергоакумуляторами, пристосованість до різних типів причепів і забезпечення контролю над станом гальмівного приводу [1-3].

При вказаних позитивних якостей багатоконтурних гальмівних приводів автомобілів сімейства КамАЗ найчастішими несправностями є витіки повітря через порушення герметичності кілець ущільнювачів, манжет, поломки пневмоприводів, замерзання вологи у приводі при від'ємних температурах. Потрібно звернути увагу на несправності гальмівного стоянкового контуру, оскільки від його роботи залежать техніко-економічні показники автомобіля та безпека руху [4-5].

Гальмівна система автомобілів та автопоїздів КамАЗ складається з чотирьох автономних гальмових систем: робочої, запасної, стоянкової та допоміжної [8]. Хоча гальмівні системи КамАЗ мають загальні елементи, працюють вони незалежно й забезпечують високу ефективність гальмування у будь-яких умовах експлуатації. Крім того, автомобіль КамАЗ оснащений приводом аварійного розгальмовування, що забезпечує можливість поновлення руху автомобіля (автопоїзда) при автоматичному його гальмуванні через витік стисненого повітря, аварійною сигналізацією й контрольними приладами, що дозволяють стежити за роботою пневмопривода.

Гальмівна робоча система КамАЗ призначена для зменшення швидкості руху автомобіля або повної його зупинки. Гальма робочої гальмівної системи КамАЗ установлені на всіх шести колесах автомобіля. Привод робочої гальмівної системи, зокрема, КамАЗ-5320 – пневматичний двоконтурний, він пускає в хід роздільно гальмівні механізми передньої осі й заднього візка автомобіля. Управляється привод ногою

педалью, механічно пов'язаної з гальмівним краном. Виконавчими органами привода робочої гальмівної системи КамАЗ-5320 є гальмівні камери.

Гальмівна запасна система КамАЗ-5320 призначена для плавного зниження швидкості або зупинки автомобіля, що рухається, у випадку повного або часткового виходу з ладу робочої системи [6-7].

Гальмівна стоянкова система КамАЗ забезпечує гальмування нерухомого автомобіля на горизонтальній ділянці, а також на ухилі й при відсутності водія. Стоянкова гальмівна система на автомобілях КамАЗ виконана як єдине ціле із запасною і для її включення рукоятку ручного крана слід установити в крайнє (верхнє) фіксоване положення. Таким чином, гальма КамАЗ заднього візка є загальними для робочої, запасної та стоянкової гальмівних систем, а дві останні мають, крім того, і загальний пневматичний привод [6-7].

Гальмівна допоміжна система КамАЗ служить для зменшення навантаженості й температури гальмівних механізмів робочої гальмівної системи. Допоміжною гальмівною системою на автомобілях КамАЗ є моторне гальмо-сповільнювач, при включенні якого перекриваються випускні трубопроводи двигуна й відключається подача палива [6-7].

Аварійна система розгальмовування КамАЗ призначена для розгальмовування пружинних енергоакумуляторів при їхньому автоматичному спрацьовуванні й зупинці автомобіля внаслідок витоку стисненого повітря в приводі. Привод системи аварійного розгальмовування КамАЗ здубльований: крім пневматичного привода є гвинти аварійного розгальмовування в кожному із чотирьох пружинних енергоакумуляторів, що дозволяє розгальмувати останні механічним шляхом [6-7].

На автомобілях-тягачах установлений також комплекс пневматичних апаратів для приведення в дію гальмівних механізмів причепа КамАЗ (напівпричепа). Наявність на тягачах такого привода забезпечує їхнє агрегування з будь-якими причепами (напівпричепами), що мають пневматичний привод гальмівних механізмів [6-7].

## **1.2 Регулювання гальм КамАЗ**

У гальмах КамАЗ виконуються два регулювання – часткове й повне. Часткове регулювання гальм КамАЗ проводиться в процесі експлуатації й має на меті відновлення нормального зазору між накладками колодок і гальмівним барабаном [2-4].

Про необхідність регулювання гальм КамАЗ судять по виходу штоків гальмівних камер, який повинен становити при натисканні на гальмівну педаль 20 мм. Необхідну величину ходу встановлюють за допомогою черв'ячної пари регулювального важеля. При регулюванні гальмо автомобіля КамАЗ повинне бути холодним, стоянкове гальмо відпущене, стопорний болт ослаблений на один-два оберти й знову надійно затягнутий.

Для одержання однакої ефективності гальмування правих і лівих коліс вихід штоків правих і лівих гальмівних камер на кожному мосту повинен бути однаковий.

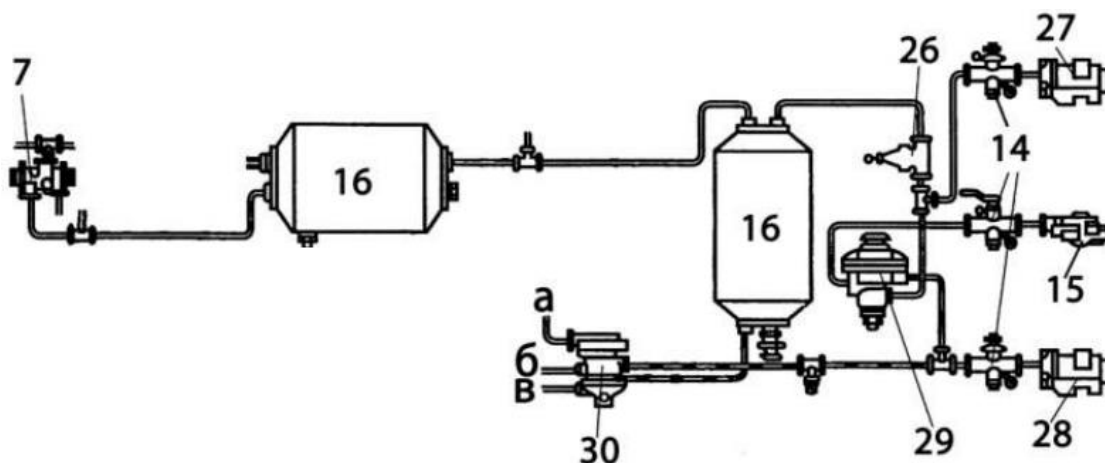
Повне регулювання гальм КамАЗ проводиться після їхнього розбирання (заміни накладок або колодок). Мета цього регулювання – правильно встановити колодки відносно барабана.

Регулювання гальм КамАЗ проводиться за допомогою ексцентрикових осей колодок і регулювального важеля.

Гальмо вважається відрегульованим правильно, якщо зазор між накладкою й гальмівним барабаном, заміряний щупом через люк в опорному диску на відстані 30 мм від краю накладки у верхній і нижній частинах, знаходиться у межах 0,2-0,4 мм, а щуп товщиною 0,1 мм не проходить уздовж усієї ширини колодки [6].

### 1.3 Будова привода гальм причіпного складу

Усі автомобілі КамАЗ можуть працювати з причіпною складом (ПС – причіп або напівпричіп). У цьому випадку на тягачі повинні бути пристрої, які забезпечують роботу гальм причіпної складу (рис. 1.1). Це вимоги безпеки руху [9].



а – від камер гальмівних механізмів заднього та середнього мостів; б – від енергоаккумуляторів; в – від камер гальмівних механізмів переднього моста

7 – подвійний захисний клапан; 14 – роз'єднувальні крани; 15 – сполучна головка типу А;  
16 – повітряні балони; 26 – одинарний захисний клапан; 27 – сполучна голівка типу «Палм» живильної магістралі; 28 – сполучна головка типу «Палм» керуючої магістралі;  
29 – клапан керування гальмами причепа з однопровідним приводом; 30 – клапан керування гальмами причепа з двопровідним приводом

**Рисунок 1.1 – Привод гальм причіпного складу**

Повітря від подвійного захисного клапана 7 подається у повітряні балони 16, резерв стисненого повітря забезпечує роботу привода гальм причіпної складу. Привода гальм бувають із однопровідним приводом та з двопровідним приводом. Привод повинен забезпечувати дві функції гальма причепа: живлення стисненим повітрям і управління.

При експлуатації КамАЗ із ПС з однопровідним приводом сполучення пневмоприводів автомобіля й причепа забезпечується сполучними головками типу А 15 і типу Б (на причепі). Через цю магістраль забезпечуються обидві функції. Система керування гальмами причіпного складу зворотної дії, тобто при зниженні тиску повітря в магістралі гальма спрацьовують. При номінальному (найбільшому) тиску в магістралі відбувається постачання повітряних балонів причіпного складу резервом стисненого повітря. Ці функції забезпечує клапан керування гальмами причепа з однопровідним приводом 29. Управління клапана 29 забезпечується клапан керування гальмами причепа з двопровідним приводом 30.

Якщо КамАЗ експлуатується з ПС з двопровідним приводом (наприклад, ГКБ 8350 для автомобілів КамАЗ-5320), то функції забезпечуються з'єднанням двох голівок типу «Палм». Живлення стисненим повітрям через головку 27, управління – через головку 28. Управління прямої дії, тобто при підвищенні тиску в керуючій магістралі гальма причіпного складу спрацьовують. У цьому випадку дію забезпечує клапан керування гальмами причепа з двопровідним приводом 30. Клапан 30 пов'язаний з гальмівними камерами й енергоакумуляторами й забезпечує керування гальмами причепа від дії ГТК і крана стоянкового гальма. Живлення стисненим повітрям причіпного складу забезпечується через одинарний захисний клапан 26. Він запобігає повному підбуренню стисненого повітря з повітряних балонів 16 у випадку розгерметизації сполучних магістралей. При падінні тиску в балонах 16 нижче  $5,45 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,545 \text{ МПа}$ ) клапан 26 припиняє подачу стисненого повітря в сполучні магістралі. Якщо тиск у балонах досягає  $5,5 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,55 \text{ МПа}$ ), то клапан 26 відновляє подачу стисненого повітря, стравлюючи його в несправну магістраль. Він підтримує тиск у болонках на рівні  $5,45 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,545 \text{ МПа}$ ). Після відновленні герметичності тиск у сполучній магістралі доходить до номінального ( $7,0\text{-}7,5 \text{ кгс/см}^2$ ) завдяки підбуренню повітря.

#### **1.4 Енергоакумулятори: призначення, принцип роботи й установка**

У великій частині вантажного автотранспорту й автобусів у конструкції гальм використовується принцип приведення в дію механізмів, що виконують гальмування енергією стисненого повітря. Даний вузол улаштований таким чином, щоб ефективно працювати при будь-яких умовах. Найважливішим елементом є енергоакумулятор – спеціальний модуль, призначений для забезпечення штатного функціонування стоянкової й допоміжної систем гальм [10].

## 1.4.1 Призначення й принцип дії енергоакумулятора

Автомобілі та автопоїзди КамАЗ обладнано чотирма автономними гальмівними системами: робочою (пневматичний гальмівний привод), допоміжною (моторне гальмо-сповільнювач), запасною та стоянковою з пружинними енергоакумуляторами, які кріпляться до гальмівних камер середнього й заднього ведучих мостів та утворюють загальний гальмівний пристрій. Аварійний система розгальмовування призначена для розгальмовування пружинних енергоакумуляторів при їх автоматичному спрацьовуванні й зупинці автомобіля внаслідок витoku стисненого повітря в приводі. Хоча ці системи мають загальні елементи, працюють вони незалежно й забезпечують високу ефективність гальмування у будь-яких умовах експлуатації.

Пневматична гальмівна система (ГС) має ряд переваг порівняно із широко розповсюдженою гідравлічною. Стиснене повітря не обов'язково запасати, високий тиск у гальмівних камерах (ГК) створюється за допомогою компресора постійно – потрібно тільки завести двигун. Але як бути, якщо мотор треба виключити? У цьому випадку тиск відразу впаде й, без вживання спеціальних заходів, гальмівні колодки негайно відіжмуться. Запобігти цьому допомагає спеціально розроблений пристрій, який зберігає притискне зусилля на колодках при зупиненому двигуні [10].

Енергоакумулятор – вузол пневматичного привода гальмівної системи вантажних автомобілів та автобусів. Цей елемент накопичує енергію стислої пружини й при необхідності звільняє її. Енергоакумулятор працює за рахунок стисненого повітря в системі й прикладає сили до гальмівних колодок, які, притискаючись до гальмівного диска або барабана, гальмують автомобіль [23].

Пружинні енергоакумулятори прийшли на зміну центральному трансмісійному гальму, нездатному втримувати на ухилах автотранспортні засоби. Застосування нових гальмівних приладів дозволило в декілька разів підвищити надійність і безпеку транспортних засобів, але це також відбилося на ускладненні конструкції гальмівного пневмоприводу (зросли вимоги до його експлуатації, якості проведення ТО й ремонту).

Енергоакумулятори:

- утримують автомобіль на стоянці в загальмованому стані;
- автоматично загальмовують рухомий автомобіль у випадку ушкодження трубопроводів пневматичного гальмівного привода або відмови в роботі компресора;
- виконують функції запасної гальмівної системи (колеса розгальмовуються й автомобіль може рухатися).

Привод системи аварійного розгальмовування дубльований: окрім пневматичного привода є гвинти аварійного розгальмовування в кожному із чотирьох пружинних енергоакумуляторів, що дозволяє розгальмувати останні механічним шляхом.

Так як енергоакумулятори спрацьовують дуже швидко, то автомобіль може зупинитися безпосередньо на проїзній частині дороги, перебивши рух іншого транспорту. Тому передбачена аварійна система розгальмовування, яка наповнює циліндри енергоакумуляторів стисненим повітрям зі спеціального балона.

Потрібно сказати, що енергоакумулятори повинні бути досить потужними, щоб забезпечувати гарантоване гальмування автобусів і таких великовантажних автомобілів, як КамАЗ, а також подібних вантажівок. Експлуатація цих машин часто здійснюється в екстремальних умовах і саме тому надійності даного виробу приділяється так багато уваги. Тим більше що гальмівна система піддається впливу ряду факторів, які впливають на тривалість і безаварійність експлуатації:

- високі механічні навантаження;
- підвищена вібрація;
- вода й агресивні реагенти;
- пил і бруд.

Усе це є причиною прискореного зношування деталей і суттєво зменшує термін служби всього блоку в цілому.

Принцип, на якому функціонує блок, фактично єдиний для всіх різновидів, що випускаються безліччю виробників (чи задній енергоакумулятор гальмівної системи якої-небудь моделі КамАЗ, чи енергоакумулятор на напівпричіп вантажної автомашини). Він не залежить від типу ГК і з однаковим успіхом застосовується для деталей, як оснащених поршнем, так і таких, у яких застосовується діафрагма.

Блок є герметичним сталевим стаканом з поршнем і потужною пружиною, яка може стискуватися й розтискатися залежно від підвищення або зниження тиску в ГС. При відключеному двигуні тиск у підпоршневій камері знижується до атмосферного, у результаті чого пружина розпрямляється й давить на під'ятник, який через мембрану ГК і через шток затискає гальмівні колодки. Тобто, у неробочому стані гальма завжди включені, тому що для відтиску пружини акумулятора в підпоршневій камері необхідно створити підвищений тиск, який можна одержати тільки при заведеній силовій установці. Така логіка роботи запобігає випадковому мимовільному переміщенню транспортного засобу й забезпечує безпеку учасників дорожнього руху.

Ознаки несправності пружинного енергоакумулятора:

- гальмування автомобіля неефективне або воно відсутнє;
- погане утримання автомобіля на місці (неспрацьовування стоянкового гальма);
- при знятті стоянкового гальма вантажівка відмовляється розгальмовуватися;
- витік повітря через прискорювальний клапан відбувається при включеному стоянковому гальмі й одночасно натиснутої гальмівної педалі;
- підгальмування проміжного й заднього мостів під час руху.

У процесі експлуатації в енергоаккумуляторах зношуються й виходять з ладу ущільнення поршня в циліндрі й труби штовхача в корпусі, що веде до пригальмовування автомобіля та, як наслідок, до збільшення витрати палива й зношування гальмівного механізму. При обриві пневмопроводів, які підводять стиснене повітря в енергоаккумулятори для розгальмовування автомобіля, відбувається спрацьовування стоянкового гальма під час руху, що може привести до виникнення аварійної ситуації й дорожньо-транспортної пригоди. Необхідність постійно при русі автомобіля подавати в енергоаккумулятори стиснене повітря призводить до того, що компресор перебуває в робочому стані значний час, здійснюючи підживлення стоянкового контуру. При цьому відбувається зношування навантажених деталей компресора.

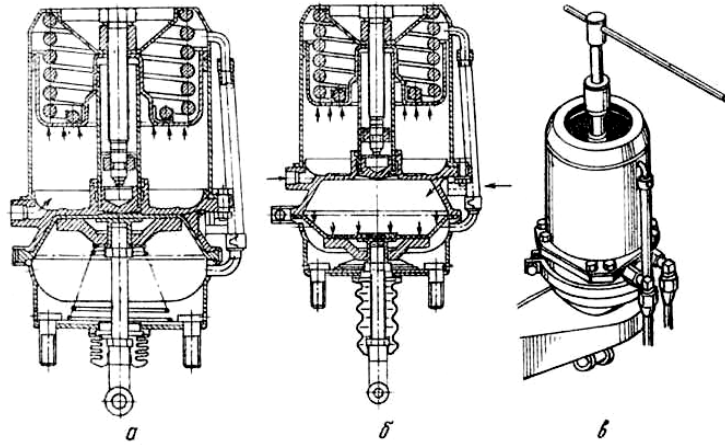
### **1.4.2 Будова енергоаккумулятора КамАЗ**

Автомобілі цього виробника, крім гальмової системи, оснащеної пневматичним приводом, мають також стоянкову й запасну гальмівні системи, обладнані пружинними енергоаккумуляторами, які встановлюються на задньому ведучому мосту, а також на середньому ведучому мосту. Також на них встановлена допоміжна система гальм [12].

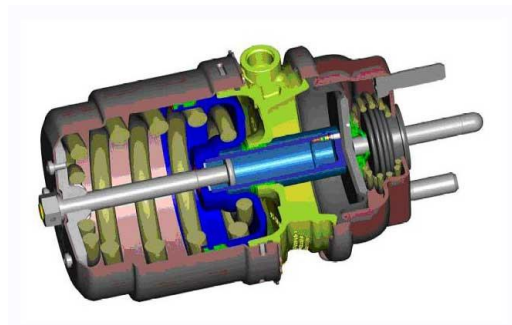
Енергоаккумулятор утримує машину загальмованою на стоянці, відіграючи роль стоянкової системи гальм, в автоматичному режимі загальмовуючи рухоме авто при ушкодженні трубопроводів, що входять до складу пневматичного привода гальм, або відмові компресора.

Схема енергоаккумулятора КамАЗ має на увазі його кріплення до гальмівної камери заднього ведучого мосту й середнього ведучого мосту з утворенням загального гальмівного пристрою, який включає гальмівну камеру й циліндр енергоаккумулятора. Гальмівна камера має корпус, що складається з 2-х половин. Між цими половинами знаходиться прогумована діафрагма. Нижче діафрагми розміщений опорний диск з металу, який з'єднується зі штоком. Під цим диском розташована пружина конічної форми (рис. 1.2).

Шток з'єднаний з важелем, що входять у розтискний кулак гальмівних колодок, будучи закритий чохлам з гуми, який запобігає проникненню бруду й пилу. Циліндр енергоаккумулятора містить установлений герметично поршень зі сталі з ущільненням. Поршень зазнає вплив потужної силової пружини, яка прагне до втримання його в самій нижній позиції, що відповідає загальмованому стану автомобіля.



а – вимкнення стоянкової гальмівної системи; б – включення робочої гальмівної системи;  
в – відгальмування стоянкового гальмівного механізму за допомогою механізму аварійного відгальмування



**Рисунок 1.2 – Енергоаккумулятор КамАЗ**

Унизу в поршень установлена опорна шайба, а також запресована труба зі сталі, у яку, в свою чергу, вставлений штовхач, що має ущільнювач. Верхня частина гальмівної камери труби має кільцеве ущільнення.

У трубі встановлений пристрій, який здійснює механічне розгальмовування коліс для відведення машини до безпечного місця або її буксирування у випадку несправності гальмівного привода. Пристрій включає гвинт зі сталі, який вкручений у бобишку, що приварена до верху циліндра, а також упорне стопорне кільце, яке замикає підшипник з кільцем з гуми й обіймами на гвинтовому хвостовику. Порожнина, яка знаходиться зверху, циліндра за допомогою труби з'єднується з порожниною камери під діафрагмою, що сполучається з атмосферою.

### 1.4.3 Принцип роботи енергоаккумулятора КамАЗ

Під час руху авто за умови справності привода стиснене повітря йде з балонів через трубопроводи й штуцер усередину циліндра енергоаккумулятора, діючи на поршень, який внаслідок цього піднімається, стискаючи пружину.

Поршень при підйомі веде трубу зі штоvhачем. Пружина гальмівної камери діє на діафрагму, а також на диск, піднімаючи їх.

З диском підіймається також шток, який приводить до припинення дії на розтискний кулак, а також на важіль, дозволяючи стяжним пружинам стягати колодки таким чином, щоб між гальмівним барабаном і колодками з'явився зазор. Завдяки цьому колеса здійснюють вільне обертання.

Під час гальмування машини, здійснюваною гальмівною системою, повітря в стислому стані йде через трубопровід у порожнину гальмівної камери над діафрагмою, прогинаючи останню й діючи за допомогою диска на шток, що висувається й повертає важіль із розтискним кулаком, який притискає гальмові колодки до барабанів.

У цей момент між колодками й барабанами з'являється сила тертя, що призводить до зупинки авто. Після відпускання гальмівної педалі відбувається вихід повітря в зовнішню атмосферу; діафрагма зі штоком приймають початкове положення; відбувається розгальмовування коліс, машина може рухатися далі.

Будова енергоакумулятора КамАЗ у розборі передбачає, що під час руху машини й використання робочої гальмівної системи відбувається безперервний надходження стисненого повітря усередину циліндра енергоакумулятора; пружина втримується в стислому положенні, накопичуючи кінетичну енергію. Якщо гальмівний пневматичний привод або компресор несправний і це спричинило витік повітря, останній не буде поступати усередину циліндра енергоакумулятора, тоді як присутнє у ньому повітря залишить його, завдяки чому пружина розпрямиться й буде діяти на поршень й опускати його.

Поршень, у свою чергу, буде впливати торцем на розтискний кулак і шток. Цей кулак у ході повертання притисне гальмівні колодки заднього мосту й середнього мосту до барабанів. Між барабаном і колодками з'явиться сила тертя, що утримує авто в загальмованому положенні. Оскільки енергоакумулятор спрацьовує досить оперативно, машина може зупинитися прямо на проїзній частині й перекрити рух на ній. Тому є аварійна система розгальмовування, яка наповнює циліндри енергоакумуляторів повітрям, що йде у стислому стані з балона.

#### **1.4.4 Ремонт гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором**

Ремонт енергоакумулятора – трудомісткий і небезпечний процес, який неможливо зробити без спеціального устаткування й без професійного втручання. Для виконання ремонту пружинного енергоакумулятора в автомайстернях застосовують стенди, що дозволяють виконати розбирання й складання вузла, перевірити й відрегулювати його роботу.

При знятті гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором потрібно:

- установити рукоятку крана стоянкової гальмівної системи в положення «стоянкове гальмо»;
- викрутити до упору гвинт механічного розгальмовування пружинного енергоакумулятора; переконатися при цьому, що шток гальмівної камери відійшов;
- від'єднати ведучі трубопроводи, послабити кріплення гальмівної камери, від'єднати вилку штока від регулювального важеля і зняти гальмівну камеру.

### **1.5 Гальмівні системи автобусів ЛіАЗ-677, ЛАЗ-695Н**

Кожний гальмівний механізм має барабан, установлений на маточині колеса, а, отже, обертається разом з нею. Усередині барабана розташовано дві гальмові колодки з наклепаними фрикційними накладками. Колодки кріпляться на нерухомому опорному диску, установленому на фланці картера заднього мосту й на поворотних цапфах передніх коліс [28].

Унизу колодки встановлені на ексцентрикових пальцях, що дозволяють зцентрувати колодки з гальмівним барабаном при регулюванні гальм.

Зверху колодки впираються в розтискний кулак, до якого вони притискаються стяжними пружинами. Установлені на колодках ролики зменшують тертя. Розтискний кулак виконаний як одне ціле з валом, який шліцами встановлений у черв'ячну шестірню регулювального важеля. У важелі є регулювальне пристосування для регулювання зазору між гальмівним барабаном і колодками, що складається з черв'ячної шестірні й черв'яка.

Важіль через палець з'єднується з вилкою штока гальмівної камери.

Гальмівна камера складається з корпусу й кришки, між якими затиснута діафрагма, виконана зі спеціальної прогумованої тканини. У середині діафрагми встановлена сталева тарілка, що спирається на диск штока.

Порожнина камери з боку кришки з'єднана трубопроводом з гальмівним краном. При гальмуванні стиснене повітря надходить у камеру й віджимає діафрагму вліво разом зі штоком. При цьому шток повертає важіль, а разом з ним і вал з кулаком. Кулак, повертаючись, розводить колодки, притискаючи їх до барабана. Відбувається гальмування.

Після припинення гальмування діафрагма відходить у зворотному напрямку під дією двох спіральних пружин, а колодки — від барабана під дією стяжних пружин. Відбувається розгальмовування.

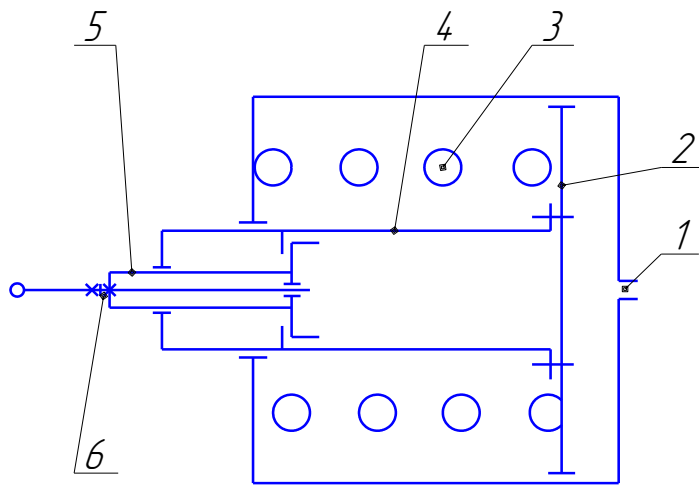
## **2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГАЛЬМІВНИХ КАМЕР З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ**

Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором призначена для здійснення гальмування транспортного засобу в робочому режимі та утримання автомобіля в режимі стоянки [1]. Крім робочого і стоянкового режимів енергоакумулятор може виконувати функцію запасного гальма при виході з ладу робочого гальмівного контуру. Серед різних конструкцій і типів енергоакумуляторів є одна особливість – практично у всіх джерелом, яке накопичує механічну енергію, є пружний елемент, виконаний у вигляді витої пружини. У робочому стані (розгальмованому) пружина стисла та утримується в такому положенні за допомогою тиску поршня стислим повітрям, що подається на нього. Якщо ж необхідно включити стоянкове гальмо, то необхідно випустити стисле повітря, що утримує деформовану пружину. Основні типи енергоакумуляторів відрізняються один від одного способом механічного розгальмовування стоянкового гальма.

Гальмівні камери з акумулятором механічної енергії з'явилися наслідком переходу вітчизняного та Європейського автомобілебудування до пневматичних гальмівних приводів другого покоління. Пружинні енергоакумулятори прийшли на зміну центральному трансмісійному гальму, нездатному утримувати на ухилах автотранспортні засоби, що поважчали. Застосування нових гальмівних приладів дозволило у декілька разів підвищити надійність, безпеку й кон'юнктурність транспортних засобів, але це також відобразилося на ускладненні конструкції гальмівного пневмоприводу. З ускладненням гальмівного приводу зросли вимоги до експлуатації, якості проведення технічного огляду (ТО) і ремонту пневмоприводу. Основні типи конструкцій гальмівних камер з енергоакумуляторами наведені нижче.

### **2.1 Пневматичний енергоакумулятор пружинно-поршневого типу**

Даний вид пневматичного енергоакумулятора (ПЕА) відноситься до початкового етапу впровадження гальмівних систем другого покоління. Конструкція такого пристрою була системою, яка складається з потужної силової пружини та рухомого пневматичного елемента. Типова конструкція такого ПЕА наведена на рис. 2.1 [5].

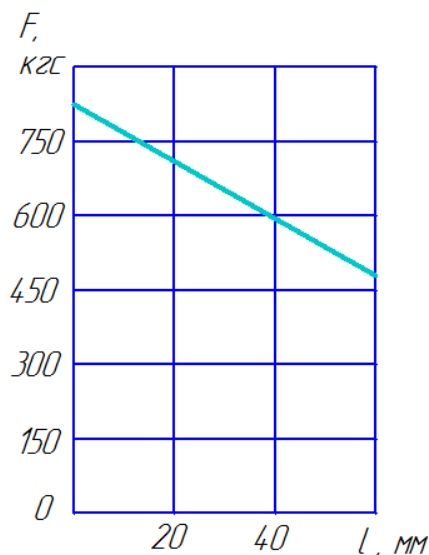


1 – вхід для підведення стислого повітря; 2 – поршень; 3 – пружина; 4 – шток; 5 – штовхач; 6 – гайка розгальмування

**Рисунок 2.1 – Схема пневматичного пружинного енергоакумулятора**

У розгальмованому стані на вхід 1 подається стисле повітря (рис. 2.1). Діючи на поршень 2, стисле повітря впливає на силову пружину 3, унаслідок чого шток 4 разом з штовхачем 5 знаходяться у крайньому лівому положенні. Сила на ньому відсутня і приводиме ПЕА гальмо розгальмовується. При випуску стислого повітря з входу 1 шток 4 під впливом пружини 3 переміщується вправо і штовхачем 5, вставленим в отвір штока, приводить в дію гальмівний механізм. Таким чином, сила на штоку ПЕА створюється силовою пружиною, а пневматичний елемент ПЕА використовується для утримання пружини в стислому початковому стані при розгальмовуванні. Для розгальмовування за відсутності стислого повітря потрібно відкрутити гайку 6 з контргайкою [3].

Силовa пружина в ПЕА знаходиться у заздалегідь стислому стані, а сила, створювана на штоку, залежить від його ходу. Статична характеристика ПЕА – залежність зусилля  $F$  від ходу штока  $l$  – наведена на рис. 2.2.



**Рисунок 2.2 – Силова характеристика пневматичного пружинного енергоакумулятора**

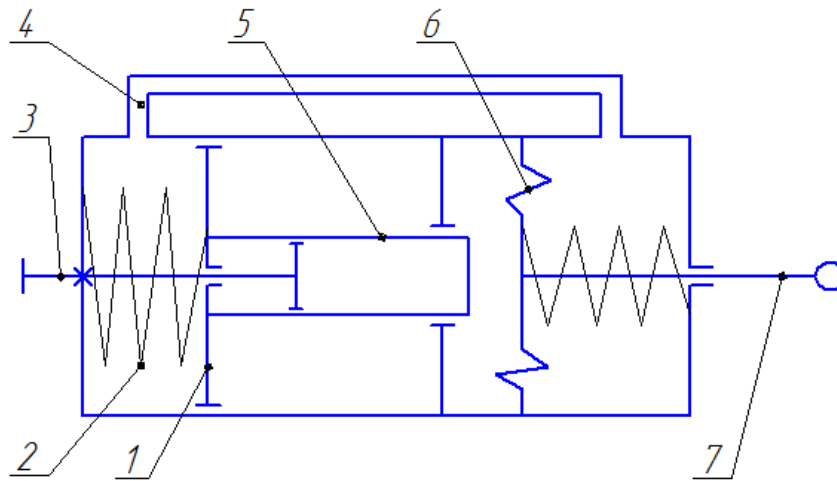
Тиск, який утримує ПЕА в розгальмованому стані, рівний 4,5-5,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Пневматичний елемент ПЕА може бути поршневым або мембранним. Поршневі ПЕА мають хід від 30 до 110 мм, мембранні – 50-60 мм.

## **2.2 Комбіновані гальмівні камери з пружинними енергоакумуляторами автомобілів ЗІЛ і КамАЗ**

Найбільше поширення набули комбіновані виконавчі органи, які складаються з гальмівної камери й пружинного енергоакумулятора. Така комбінація дозволила одним пневмоапаратом виконувати функції виконавського органу трьох гальмівних систем – робочої, запасної та стоянкової (у зв'язку з цим один з варіантів цієї комбінації одержав назву «тристоп» [1]).

Конструктивно обидві частини такого пневмоапарата можуть бути виконані у вигляді циліндра або у вигляді камери. Обидві частини розташовуються послідовно, оскільки діють на один шток. Схема гальмівної камери з поршневым ПЕА автомобіля КамАЗ наведена на рис. 2.3.



1 – поршень; 2 – силова пружина; 3 – гвинт механічного розгальмовування; 4 – патрубок циліндра; 5 – штовхач; 6 – діафрагма; 7 – шток

**Рисунок 2.3 – Схема гальмівної камери з поршневым ПЕА**

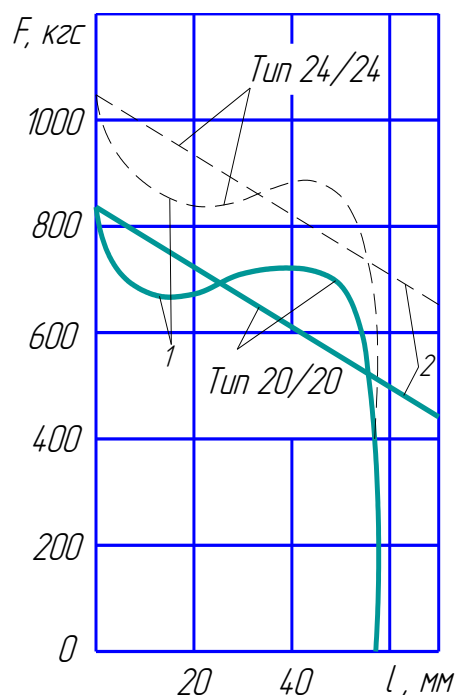
При вимкненій гальмівній стоянковій системі стисле повітря постійно підводиться у поршневий простір пружинного енергоакумулятора. Поршень 1 з штовхачем 5 знаходяться в крайньому лівому положенні, силова пружина повністю стисла.

При гальмуванні робочої гальмівної системи стисле повітря від гальмівного крана подається у порожнину над мембраною 6. Мембрана, прогинаючись, впливає через шток 7 на гальмівний механізм. Таким чином, гальмування відбувається так само, як із звичною гальмівною камерою.

При включенні запасної або стоянкової гальмівної системи, тобто при випуску повітря в атмосферу за допомогою ручного крана з-під поршня 1, пружина 2 повертається в початкове положення і поршень 1 переміщається вправо. Штовхач 5, впливаючи через мембрану на шток 7, який, переміщаючись, повертає важіль гальмівного механізму. Відбувається загальмовування автомобіля.

ПЕА має вбудований механізм аварійного розгальмовування. При відкручуванні гвинта 3 переміщається вгору і впливає на поршень 1. Поршень разом з штовхачем 5 переміщається в крайнє ліве положення і стискає пружину 2, внаслідок чого ПЕА розгальмовується [1].

Пружинні енергоакумулятори за розмірністю класифікуються так само, як і гальмівні камери. Характеристики уніфікованих гальмівних камер з ПЕА типу 20/20 і 24/24 (перша цифра в позначенні – розмірність камери, друга – розмірність ПЕА), вживаних на автомобілях ЗІЛ і КамАЗ, наведені на рис. 2.4.



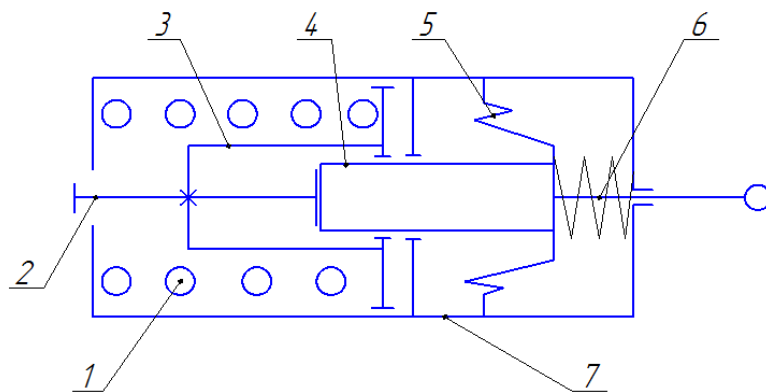
1 – гальмівні камери; 2 – пружинні енергоакумулятори

**Рисунок 2.4 - Силві характеристики гальмівних камер з ПЕА, вживаних на автомобілях ЗІЛ і КамАЗ [5]**

Варіантів конструкцій комбінованих виконавчих органів з ПЕА випускалося досить багато, оскільки усунення вразливих місць конструкції йшло різними шляхами. Одним з таких напрямів стала зміна способу механічного розгальмовування.

### **2.2.1 Пружинний енергоакумулятор з конструкцією механічного розгальмовування без деформації силової пружини**

Відомі ПЕА, в яких у разі відсутності стислого повітря ручне гвинтове пристосування дозволяє розгальмувати енергоакумулятор без стиснення силової пружини. Принципова схема такої камери наведена на рис. 2.5.



1 – силова пружина; 2 – гвинт механічного розгальмовування; 3 – поршень пружини; 4 – штанга поршня; 5 – діафрагма; 6 – шток; 7 – корпус

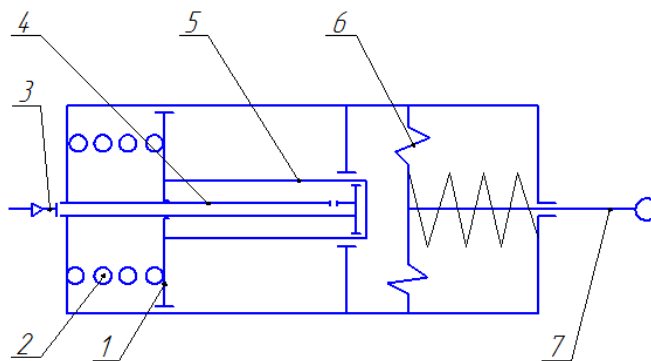
**Рисунок 2.5 – Схема пружинного енергоакумулятора з конструкцією механічного розгальмовування без деформації силової пружини**

У разі відсутності тиску повітря у пневмосистемі розгальмування штока 6 стає неможливим. У такому разі енергоакумулятор можна розгальмувати за допомогою гвинтового пристосування. Для розгальмування необхідно викрутити гвинт 2, внаслідок чого штанга поршня 4 зміщується вліво. Це забезпечує розгальмування штока 6 [3].

Такий спосіб механічного розгальмовування дозволяє прискорити розгальмовування ПЕА внаслідок полегшення процесу викручування гвинта 2. Ця мета досягається тим, що зусилля пружини 1, яке передається через гвинт 2, сприяє його викручуванню з поршня 3. Проте, такий тип камер має ряд недоліків, до яких відносяться ускладнення конструкції, збільшення металоємності, підвищені вимоги до міцності різьбового вузла [3].

### 2.2.2 Пружинний енергоакумулятор з пристроєм гідравлічного розгальмовування

З метою полегшення механічного розгальмовування ПЕА можна використати конструкцію енергоакумулятора з пристроєм гідравлічного розгальмовування [3]. Одним з недоліків камер з ПЕА є заважкий процес механічного розгальмовування. Полегшення розгальмовування досягається шляхом виключення необхідності окремого ручного управління пристроями розгальмовування кожної гальмівної камери транспортного засобу. На рис. 2.6 наведена будова ПЕА з гідравлічним розгальмовуванням.



1 – поршень пружини; 2 – силова пружина; 3 – потік з гідроприводу; 4 – порожнистий шток; 5 – порожнистий циліндр; 6 – діафрагма; 7 – шток

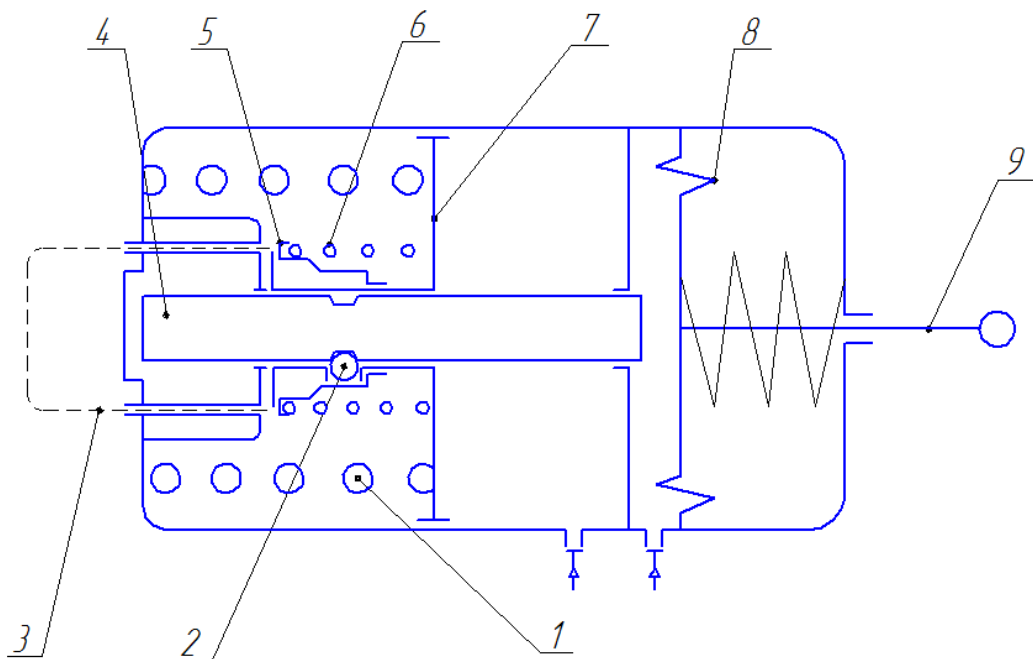
**Рисунок 2.6 – Схема пружинного енергоакумулятора з пристроєм гідравлічного розгальмовування**

У разі відмови пневматичного гальмівного приводу тиск під поршнем 1 відсутній і шток 7 через порожнистий циліндр 5 і поршень 1 утримується пружиною 2 в загальмованому положенні. Для розгальмування рідина з відкритого гідроприводу через порожнистий шток 4 подається у порожнину циліндра 5. Під дією тиску рідини порожнистий циліндр 5 зміщується вліво і через поршень 1 стискає пружину 2. Це забезпечує розгальмування штока 7.

Пропонована конструкція може полегшити розгальмування автомобіля у разі відмови пневмосистеми, проте, вимагає наявності додаткової гідравлічної системи, що призводить до ускладнення конструкції й технології проведення технічного обслуговування.

### **2.2.3 Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором типу 12/20 автобуса ЛіАЗ-5256**

На автобусах встановлюються гальмівні камери типу 12/20 з пружинним енергоакумулятором виробництва Гродненського автоагрегатного заводу моделі 12.3519110. Схема пружинного акумулятора наведена на рис. 2.7.



1 – силова пружина; 2 – кулька; 3 – вилка механічного розгальмовування; 4 – штовхач; 5 – втулка фіксатора; 6 – пружина фіксатора; 7 – поршень; 8 – діафрагма; 9 – шток

**Рисунок 2.7 – Схема пружинного енергоакумулятора типу 12/20**

При включенні стоянкового або запасного гальма, тобто при випуску повітря за допомогою ручного гальма з порожнини під поршнем 7, пружина розтискає і через поршень 7 і кульки 2 переміщає штовхач 4 енергоакумулятора. У свою чергу штовхач 4 і діафрагму 8 тисне на шток 9. Відбувається загальмовування [13].

У аварійному випадку, якщо в пневматичній системі (пневмоконтурі приводу стоянкових гальм) впав тиск, наприклад, при розгерметизації системи, пружина 1 розтиснеться і відбудеться автоматичне загальмовування [13]. Для того, щоб розгальмувати такий несправний автобус (наприклад, для буксирування), передбачений пристрій механічного розгальмовування, який складається з штовхача поршня 7, сполученого зі штовхачем 4 енергоакумулятора за допомогою трьох кульок 2. Кульки утримуються в отворах корпусу поршня і в канавці штовхача фіксуючою втулкою 5, притиснутою пружиною 6. Отвір втулки виконаний ступінчастим таким чином, що при зсуві втулки уподовж корпусу поршня кульки звільняються і можуть вийти з канавки штовхача, роз'єднавши штовхач з поршнем. Пружина 6 утримує фіксуючу втулку 5 від мимовільного зсуву.

Дана конструкція пружинного енергоакумулятора, у разі відсутності стислого повітря, дозволяє в короткий час провести розгальмовування автобуса. Недоліком конструкції є те, що для механічного розгальмовування ПЕА використовується додаткове пристосування у вигляді знімної вилки 3. Це створює додаткові незручності при механічному розгальмовуванні.

## **2.3 Висновки відносно аналізу конструкцій гальмівних камер з пружинним енергоакумулятором**

У гальмівних системах автомобілів й автобусів з пневматичним приводом як виконавчі пристрої застосовуються гальмівні камери з ПЕА. Варіантів конструкцій комбінованих виконавчих органів з ПЕА випускалося досить багато, оскільки усунення вразливих місць конструкції йшло різними шляхами (додаток Б1).

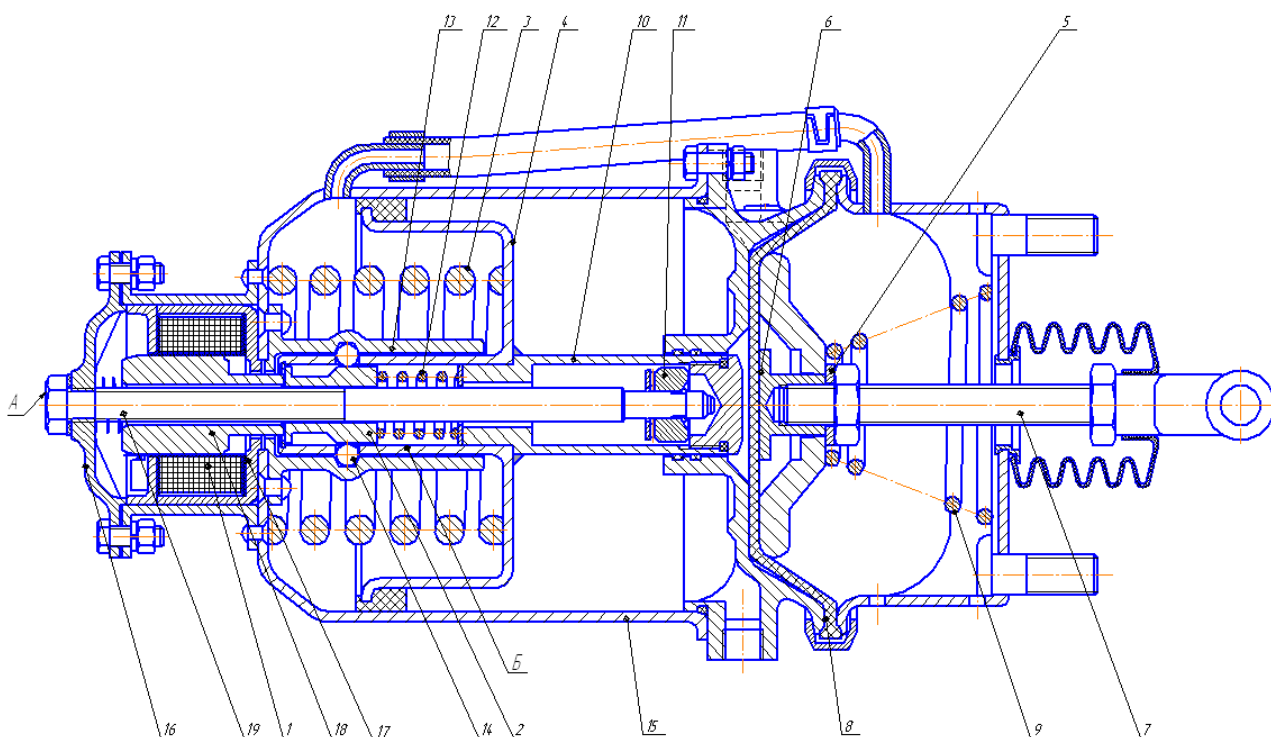
У процесі експлуатації були виявлені такі недоліки, як розгальмовування ПЕА за відсутності стислого повітря у приводі, запобігання одночасному спрацьовуванню обох частин комбінованого виконавчого органу, необхідність постійної подачі в енергоакумулятор стислого повітря під час руху транспортного засобу.

# 3 УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ КАМЕРИ З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ ПНЕВМОПРИВОДУ АВТОМОБІЛІВ СІМЕЙСТВА КамАЗ

## 3.1 Схема та принцип дії запропонованої конструкції

У гальмівній системі автомобілів сімейства КамАЗ як виконавчий пристрій застосована гальмівна камера з пружинним енергоаккумулятором поршневого типу. Пружинний енергоаккумулятор управляється від запасного та аварійного стоянкових контурів. Від чіткості та безвідмовності його роботи залежить надійність і безпека експлуатації транспортного засобу.

З метою подальшого підвищення надійності роботи гальмівного пневмоприводу запропонована конструкція удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоаккумулятором (див. додатки Б2-Б4, рис. 3.1).



1. На деталях заусенці, вм'ятини та інші пошкодження не допускаються.
2. Усі деталі, які поступають на складання, повинні бути чистими. При складанні забезпечити чистоту внутрішніх порожнин.
3. Посадкові місця під гумові кільця перед складанням змастити мастилом ТСЗ<sub>п</sub>-8 ОСТ38.01365-84.
4. Гвинт А затягнути до упору в кришку поз.16.
5. Перед складанням різьбові з'єднання корпусу та тертьові поверхні Б змастити мастилом МС-70 ГОСТ9762-76.
6. \* Розміри для довідок

1 – електромагніт; 2 – золотник розпору; 3 – пружина механізму фіксатора; 4 – поршень; 5 – шайба дистанційна; 6 – упор; 7 – шток; 8 – гальмівна діафрагма; 9 – пружина повернення; 10 – штовхач; 11 – упорний підшипник; 12 – пружина фіксуючого пристрою; 13 – втулка (обойма) фіксатора напрямна; 14 – упорні кульки (кульки фіксатора); 15 – корпус (циліндр енергоакумулятора); 16 – кришка корпусу електромагніту; 17 – корпус магнітопроводу; 18 – сердечник; 19 – гвинт механічного розгальмовування

### **Рисунок 3.1 – Удосконалений енергоакумулятор (складальне креслення – Компас-3D)**

Основними деталями удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором є: корпус – циліндр енергоакумулятора 15, поршень 4 (поз. 4 у додатку Б3) зі штовхачем 10 (поз. 10 у додатку Б3), втулка фіксатора напрямна 13 (обойма фіксатора 13 у додатку Б3), упорні кульки 14 (кульки фіксатора 14 у додатку Б3), золотник розпору 2 (золотник фіксатора 2 у додатку Б3), пружина механізму фіксатора 3 (силова пружина енергоакумулятора – поз. 3 у додатку Б3), електромагніт 1 (поз. 1 у додатку Б3), гвинт механічного розгальмовування 19 (поз. 15 у додатку Б3) з упорним підшипником 11 (поз. 11 у додатку Б3), гальмівна діафрагма 8 (поз. 9 у додатку Б3) з пружиною фіксуючого пристрою 12 (пружиною механізму фіксатора – поз. 12 у додатку Б3), пружина повернення 9 (поз. 8 у додатку Б3) і штоком 7 (поз. 7 у додатку Б3), кришка корпусу електромагніту 16, корпус магнітопроводу 17, сердечник 18, 19 – гвинт механічного розгальмовування.

Удосконалена гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором конструктивно відрізняється від існуючого пружинного енергоакумулятора. Циліндр енергоакумулятора має центральний отвір у торцевій стінці для центрування по ньому корпусу електромагніту і втулки фіксатора 13. Також через цей отвір здійснюється виведення механізму фіксатора із зафіксованого положення шляхом переміщення золотника розпору 2 сердечником управляючого електромагніту 18 у крайнє праве положення. У напрямній частині поршня енергоакумулятора виконано шість отворів, у які встановлені упорні кульки 14. Поршень 4 зі встановленими у нього упорними кульками 14, золотник розпору 2 і напрямна втулка 13 разом утворюють механізм фіксатора, що дозволяє утримувати силову пружину в деформованому (розгальмованому) стані без підведення стислого повітря [5]. *Тобто, раніше кульки 2 установлювалися у штовхач 4 (рис. 2.7), а тепер у напрямну втулку 13 (рис. 3.1).*

Перевагами удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором є можливість роботи енергоакумулятора в розгальмованому режимі без підведення до нього з гальмівної магістралі стислого повітря. В результаті під час роботи автомобіля виключається ймовірність виникнення аварійної ситуації через розгерметизацію гальмівного стоянкового контуру.

Робота даного енергоакумулятора в розгальмованому положенні без підведення стислого повітря дозволяє істотно скоротити потреби гальмівного пневмоприводу у ньому. Зниження витрати повітря відбувається за рахунок зменшення технологічно

необхідної для енергоакумулятора кількості повітря і витоків у стоянковому контурі. В результаті цього зменшується час роботи компресора в режимі навантаження і, як наслідок, знижується знос його деталей. Одночасно відбувається зниження витрати палива, споживаного двигуном, на здійснення приводу компресора [5].

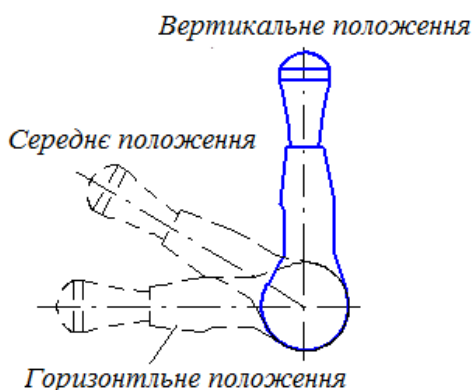
### 3.2 Управління удосконаленою конструкцією енергоакумулятора

Схема роботи удосконаленого пружинного енергоакумулятора (додаток Б4) наступна:

– при штатному гальмуванні потік стислого повітря від двосекційного гальмівного крана поступає у порожнину Б (рис. 3.1), впливаючи на діафрагму 8. При цьому відбувається переміщення штока і загальмовування автомобіля;

– стоянкове гальмування забезпечується за рахунок енергії стислої силової пружини; при цьому пружина впливає на шток енергоакумулятора через поршень 4 і пов'язаний з ним штовхач 10, забезпечуючи тим самим необхідне гальмівне зусилля;

– для виключення стоянкового гальма і початку руху необхідно перевести рукоятку крана стоянкового гальма в середнє положення, не допускаючи при цьому повного переведення рукоятки крана в горизонтальне положення (рис. 3.2), інакше відбудеться подача управляючого сигналу в електронний блок управління енергоакумулятором, який здійснить підготовку пружинного енергоакумулятора до його переведення в положення стоянкового або запасного гальма;



**Рисунок 3.2 – Схема основних положень рукоятки крана стоянкового гальма**

– у такому разі виключення стоянкового гальма доведеться провести повторно. При переведенні рукоятки крана стоянкового гальма в середнє положення, в порожнину А (додаток Б3) пружинного енергоакумулятора з ресиверів, через прискорювальний клапан, нагнітається потік стислого повітря, який переміщає поршень 4 (додаток Б3) і разом з ним стискає силову пружину 3, відключаючи стоянкове гальмо. Переміщаючись у крайнє ліве положення, поршень 4 пересуває упорні кульки 14 фіксуєчого механізму в ту саму сторону. При досягненні упорними кульками діаметральної проточки в напрямній втулці (обоймі) фіксатора 13 відбувається фіксація поршня 4 відносно втулки

13. Потім рукоятку крана стоянкового гальма необхідно перевести у вертикальне положення для випуску стислого повітря з порожнини А. Про відключення стоянкового гальма сигналізує контрольна лампа на панелі приладів;

– для включення стоянкового гальма водію необхідно поворотом рукоятки крана стоянкового гальма перевести її з вертикального положення у горизонтальне; при цьому відбудеться нагнітання стислого повітря у порожнину А (додаток Б3) пружинного енергоакумулятора. Процес додаткового нагнітання стислого повітря у пружинний енергоакумулятор необхідний для додаткового стиснення силової пружини і зниження опору тертя на переміщення золотника розпору 2 (фіксатора 2 у додатку Б3). Одночасно з нагнітанням повітря відбувається подача сигналу в електронний блок управління від датчика, встановленого в корпусі крана стоянкового гальма.

– блок управління, одержавши сигнал з крана стоянкового гальма, подає струм на обмотку електромагніту 1 (додаток Б3). Сердечник електромагніту, втягуючись, переміщає золотник фіксатора 2 вправо, вивільняючи тим самим замкнуті упорні кульки фіксатора 14; при цьому на панелі приладів включається сигнал про можливість включити стоянкове гальмо;

– поворотом рукоятки крана стоянкового гальма у вертикальне положення водій випускає стисле повітря з енергоакумулятора, завершуючи включення стоянкового гальма;

– у разі відмови штатної гальмівної системи водій може скористатися запасним гальмівним контуром. Для цього необхідно поворотом рукоятки крана стоянкового гальма перевести її з вертикального положення у горизонтальне, при цьому відбудеться нагнітання стислого повітря у порожнину А пружинного енергоакумулятора. Процес додаткового нагнітання стислого повітря у пружинний енергоакумулятор у даному випадку необхідний для додаткового стиснення силової пружини та зниження опору тертя на переміщення золотника фіксатора (розпору) 2, а також для можливості плавного управління роботою пружинного енергоакумулятора;

– одночасно з нагнітанням повітря відбувається подача сигналу в електронний блок управління від датчика, встановленого в корпусі крана стоянкового гальма. Блок управління, одержавши сигнал з крана стоянкового гальма, подає струм на обмотку електромагніту 1 (додаток Б3); сердечник електромагніту, втягуючись, переміщає золотник фіксатора 2 вправо, вивільняючи тим самим замкнуті упорні кульки фіксатора 14 – при цьому на панелі приладів подається сигнал про можливість включити запасне гальмо;

– поворотом рукоятки крана стоянкового гальма у вертикальне положення водій поступово випускає стисле повітря з енергоакумулятора, регулюючи таким чином гальмівне зусилля;

– в аварійній ситуації для рушення автомобіля з місця без наявності в ресиверах необхідного тиску повітря водію необхідно натиснути кран аварійного розгальмовування 14 (додаток Б4); стисле повітря при цьому поступає в енергоакумулятор безпосередньо від потрійного захисного клапана, стискаючи силову пружину. При повному стисненні

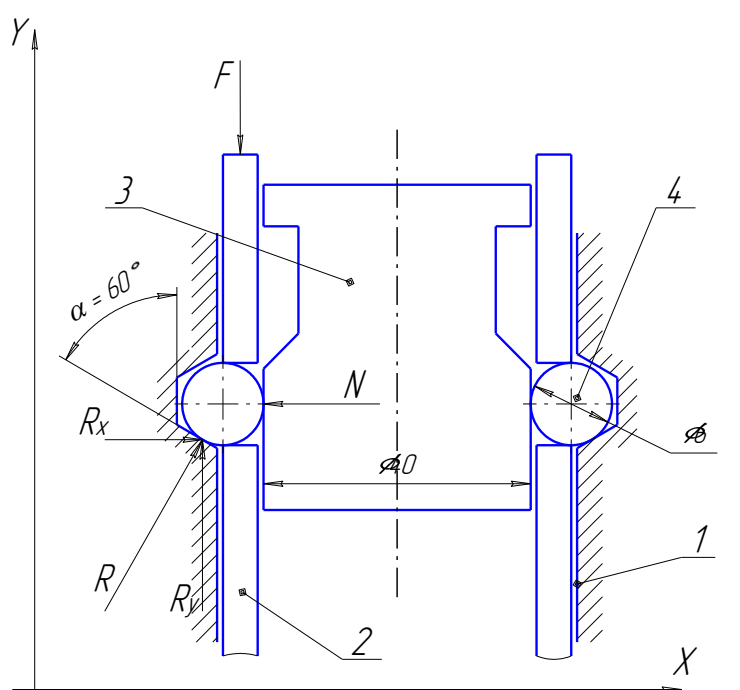
пружини відбувається спрацьовування фіксуючого механізму і настає повне розгальмовування енергоакумулятора;

Без змін залишається конструкція гальмівної камери енергоакумулятора, спосіб підключення пружинного енергоакумулятора до гальмівних магістралей і його кріплення до автомобіля (кран управління стоянковим гальмом наведено у додатку Б5).

## 4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛЕЙ УДОСКОНАЛЕНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ КАМЕРИ З ПРУЖИННИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ

### 4.1 Розрахунок міцності фіксуючого механізму

Фіксуючий механізм служить для утримання силової пружини у стислому положенні. Таким чином деталі механізму фіксації повинні витримувати значні навантаження пробігом довгого часу. Деталі фіксатора включають циліндричні та сферичні поверхні, що призводить до утворення високонавантажених ланок. Розрахункова схема фіксуючого механізму наведена на рис. 4.1.



1 – напрямна поршня (нерухома деталь фіксатора); 2 – поршень; 3 – золотник розпору; 4 – кулька розпору

Рисунок 4.1 – Розрахункова схема фіксуючого механізму

Міцність і довговічність контактуючих поверхонь оцінюють за контактними напруженнями. Розрахункові контактні напруження при дотику в точці [14-16]:

$$\sigma_n = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{F_n \cdot E_{np}^2}{\rho_{np}^2}} \leq [\sigma], \quad (4.1)$$

де  $F_n$  – сила притиснення, нормальна до поверхні контакту; у стислому стані  $F_n = 800 \text{ кг} = 7840 \text{ Н}$  [1, 6];

$E_{np}$  – модуль пружності; для сталі  $E_{np} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;

$\rho_{np}$  – радіус кривизни поверхні контакту, м;

Радіус кривизни поверхні:

$$\rho_{np} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2}}, \quad (4.2)$$

де  $r_1, r_2$  – радіуси поверхонь.

Визначимо сили, діючі у механізмі фіксатора. Для цього розглянемо рис. 4.1. Рівняння рівноваги системи у проекціях на осі OX та OY:

$$\sum OX: R_x - N = 0, \quad (4.3)$$

$$R \cdot \cos \alpha - N = 0, \quad N = R \cdot \cos \alpha, \quad (4.3.1)$$

$$\sum OY: R_y - F = 0, \quad (4.4)$$

$$R \cdot \sin \alpha - F = 0. \quad (4.4.1)$$

Підставляючи чисельні значення у вирази (4.3.1) і (4.4.1), одержимо:

$$R = \frac{7840}{\sin 60^\circ} = 9052 \text{ Н}, \quad (4.4.2)$$

$$N = 9052 \cdot \cos 60^\circ = 4526 \text{ Н}. \quad (4.4.3)$$

Умова міцності для кінематичної пари 1-4:

$$\sigma_n = 0,55 \cdot \sqrt[3]{\frac{R \cdot E_{np}^2}{n \cdot \rho_{np}^2}} \leq [\sigma], \quad (4.5)$$

де  $n$  – число опорних кульок.

$$\rho_{np} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{\infty}} = 3 \text{ мм},$$

$$\sigma_n = 0,55 \cdot \sqrt[3]{\frac{9052 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^5)^2}{6 \cdot 3^2}} = 827 \text{ МПа},$$

для загартованої сталі  $[\sigma_n]=2000$  МПа; отже, умова міцності виконується. Кінематична пара 1-4 найбільш навантажена порівняно з іншими елементами, тому міцність решти елементів забезпечується [14-16].

#### 4.2 Розрахунок гвинтової пари пристосування для механічного розгальмовування

Основним видом руйнування кріпильних різьб є зріз витків. Відповідно до цього, основним критерієм працездатності і розрахунку для кріпильних різьб є міцність, пов'язана з напруженнями зрізу  $\tau$ . Гвинт у з'єднанні знаходиться навантаженим розтягуючою силою. Отже, гвинт необхідно розрахувати по нормальним напруженням розтягу. Тоді умова міцності при центральному розтягу [17-18]:

$$\delta = \frac{4 * F}{\pi * d^2} \leq \delta_{\max}, \quad (4.6)$$

де  $F$  – сила розтягування (сила пружини у стислому стані), Н;

$d$  – діаметр гвинта, м;

$\delta_{\max}$  – максимальні напруження розтягу, МПа.

Показник максимального напруження розтягування показує максимально допустимі навантаження з урахуванням коефіцієнта запасу міцності:

$$\delta_{\max} = \frac{[\delta]}{k}, \quad (4.7)$$

де  $[\delta]$  – граничні напруження при розтягу, МПа; для сталі Ст.3  $[\delta] = 100$  МПа;

$k$  – коефіцієнт запасу; при змінному навантаженні  $k = 1,5-1,8$  [19].

Підставляючи вираз (4.7) в (4.6), одержимо:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot F}{\pi \cdot [\delta]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 7840}{\pi \cdot 100 \cdot 10^6}} \approx 0,012 \text{ м},$$

приймаємо діаметр гвинта  $d = 12$  мм.

Розрахунок довжини різьби у кришці електромагніту ведемо за умовою міцності різьби на зріз:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m} \leq \tau_{\max}, \quad (4.8)$$

де  $d$  – діаметр різьби, м;

$H$  – довжина різьби, м;

$K$  – коефіцієнт повноти різьби; для прямокутної різьби  $K = 0,87$  [6, с. 33])

$K_m$  – коефіцієнт нерівномірності навантаження; для прямокутної різьби  $K_m = 0,65$  [20];

$\tau_{\max}$  – максимальні напруження зсуву, МПа.

$$\tau_{\max} = \frac{[\tau]}{\kappa_1}, \quad (4.9)$$

де  $[\tau]$  – граничне напруження зрізу; для сталі Ст. 3  $[\tau] = 100$  МПа;

$\kappa_1$  – коефіцієнт запасу міцності;  $\kappa_1 = 1,8-2,0$  [20];

підставляючи вираз (4.9) в (4.8), одержимо:

$$H \geq \frac{K_1 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot K \cdot K_m \cdot \tau_{\max}} = \frac{2 \cdot 7840}{\pi \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,87 \cdot 0,65 \cdot 100 \cdot 10^6} \approx 0,008 \text{ м,}$$

остаточно приймаємо  $H = 8$  мм.

### 4.3 Розрахунок клепаного з'єднання напрямної поршня

Напрямна поршня з'єднана з циліндром енергоакумулятора за допомогою клепаного з'єднання. У розгальмованому положенні поршень енергоакумулятора передає

напрямній поршня зусилля від стислої силової пружини. При цьому клепане з'єднання зазнаватиме розтягуючі навантаження. Отже, заклепки необхідно розраховувати за нормальними напруженнями розтягу. Тоді умова міцності при центральному розтягу прийме вид [21]:

$$\sigma = \frac{4 * N}{\pi * d^2} \leq \sigma_{\max}, \quad (4.10)$$

де  $N$  – сила, яка приходиться на одну заклепку, Н;

$d$  – діаметр заклепки, м;

$\sigma_{\max}$  – максимальні напруження розтягу, МПа.

Показник максимального напруження розтягу вказує максимально допустимі навантаження з урахуванням коефіцієнта запасу міцності:

$$\sigma_{\max} = \frac{[\sigma]}{\kappa}, \quad (4.11)$$

де  $[\sigma]$  – граничні напруження при розтягу, МПа; для сталі Ст.3  $[\sigma] = 100$  МПа;

$\kappa$  – коефіцієнт запасу; при змінному навантаженні  $\kappa = 1,8-2$  [21].

Зусилля, яке приводиться на одну заклепку, визначається відношенням зусилля силової пружини у деформованому стані до числа заклепок у з'єднанні:

$$N = \frac{F}{n}, \quad (4.12)$$

де  $F$  – зусилля пружини, Н; у стислому стані  $F = 800 \text{ кг} = 7840 \text{ Н}$  [17];

$n$  – число заклепок.

Підставивши вирази (4.12) і (4.11) в (4.10) і прийнявши число заклепок  $n = 5$ , при коефіцієнті запасу  $\kappa = 2$  маємо:

$$\delta = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2 \cdot n} \leq \frac{[\delta]}{k}, \quad (4.10.1)$$

звідки

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot F}{\pi \cdot n \cdot [\delta]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 7840}{\pi \cdot 5 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0,0059 \text{ м} = 5,9 \text{ мм},$$

приймаємо  $d = 6$  мм.

#### 4.4 Розрахунок клепаного з'єднання корпусу електромагніту

Корпус електромагніту сприймає періодичні навантаження у вигляді моменту опору від викручування гвинта механічного розгальмовування. Клепане з'єднання у зібраному стані сприймає навантаження аналогічно болтовому з'єднанню, поставленому без зазору. При розрахунку міцності з'єднання не враховують сили тертя у стику. Стержень розраховують за напруженнями зрізу. Умова міцності:

$$\tau = \frac{F_t}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot i} \leq \tau_{\max}, \quad (4.11)$$

де  $F_t$  – колова сила, Н;

$d$  – діаметр заклепки, мм;

$i$  – число заклепок.

$$F_t = \frac{T_T}{r_3}, \quad (4.12)$$

де  $T_T$  – момент опору викручування від сил тертя, Нм;

$r_3$  – осьовий радіус заклепок, м.

$$T_T = 0,5 \cdot F \cdot d_2 \left[ \left( \frac{D_{cp}}{d_2} \right) \cdot f + \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \right], \quad (4.13)$$

де  $F$  – осьове зусилля від силової пружини, Н;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$d_2$  – середній діаметр різьби, мм;

$\psi$  – кут підйому різьби,  $\psi = 3^\circ$  для кріпильних різьб [14];

$\varphi$  – кут тертя у різьбі,  $\varphi = 10^\circ$  для кріпильних різьб [14];

підставляючи чисельні значення у вираз (4.13), одержуємо:

$$T_T = 0,5 \cdot 7840 \cdot 11,5 \cdot 10^{-3} \cdot [(10,5/11,5) \cdot 0,2 + \operatorname{tg}(3+10)] = 19,6 \text{ Н.}$$

З виразу (4.11) маємо:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot K_1 \cdot T_T}{\pi \cdot i \cdot r_3 \cdot [\tau]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 19,6}{\pi \cdot 5 \cdot 38 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,0035 \text{ м,}$$

приймаємо діаметр заклепок  $d = 4$  мм.

#### 4.5 Розрахунок пружини фіксуючого пристрою

Для розрахунку параметрів пружини задаємося початковими умовами: робочий хід пружини  $h = 6,5$  мм; сила пружини при робочій деформації  $F_2 = 20$ Н; сила при попередній деформації  $F_1 = 12$  Н; з урахуванням діаметра золотника приймаємо внутрішній діаметр пружини  $D = 16$  мм.

За [16] приймаємо пружину I класу, розряду 1 з  $\tau = 750$  МПа. Враховуючи, що середній діаметр пружини  $D > 16$  мм, та орієнтуючись на діаметр дроту  $d = 1,5$  мм, приймаємо  $c = 15$ ,  $k = 1,16$  [16]. Тоді сила пружини при максимальній деформації:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}, \quad (4.14)$$

де  $\delta$  – відносний зазор, що приймається залежно від класу пружини і характеру сприйманого навантаження;  $\delta = 0,05-0,25$ .

$$F_3 = \frac{20}{1-0,1} = 22,2H$$

Діаметр дроту:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{k \cdot c \cdot F}{[\tau]}}, \quad (4.15)$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{1,16 \cdot 15 \cdot 22,2}{750}} = 1,15 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d = 1,2$  мм.

Зовнішній і внутрішній діаметри пружини:

$$D_3 = D + d; D_6 = D - d. \quad (4.16)$$

Середній діаметр пружини:

$$D = d \cdot c. \quad (4.17)$$

Звідси:

$$D = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ мм},$$

$$D_3 = 18 + 1,2 = 19,2 \text{ мм},$$

$$D_6 = 18 - 1,2 = 16,8 \text{ мм}.$$

Жорсткість пружини:

$$z = \frac{F_2 - F_1}{h} = \frac{F_2}{\lambda_2}, \quad (4.18)$$

де  $F_1$  – сила пружини при попередній деформації, Н;

$h$  – робочий хід, мм;

$\lambda_2$  – робоча деформація, мм.

$$z = \frac{20-12}{6,5} = 1,2 \text{ Н / мм.}$$

Продуктивна деформація:

$$\lambda_1 = \frac{F_1}{z}, \quad (4.19)$$

$$\lambda_1 = \frac{12}{1,2} = 10 \text{ мм.}$$

Робоча деформація:

$$\lambda_2 = \frac{F_2}{z}, \quad (4.20)$$

$$\lambda_2 = \frac{20}{1,2} = 16,7 \text{ мм}$$

Максимальна деформація:

$$\lambda_3 = \frac{F_3}{z}, \quad (4.21)$$

$$\lambda_3 = \frac{22,2}{1,2} = 18,5 \text{ мм}$$

Жорсткість одного витка:

$$z_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3} = \frac{10^4 \cdot d}{c^3}, \quad (4.22)$$

де  $G$  – модуль зсуву матеріалу дроту (для сталі  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа).

$$z_1 = \frac{10^4 \cdot 1,2}{15^3} = 3,6 \text{ Н / мм.}$$

За [18] приймаємо пружину №239 ГОСТ 13767 – 86 із силою при максимальній деформації (до зіткнення витків)  $F_{max} = 24$  Н;  $d = 1,2$  мм;  $D_H = 20$  мм;  $D = 18$ , мм;  $z_1 = 7,5$  Н/мм; найбільше прогинання одного витка  $\lambda_{max} = 3,052$  мм.

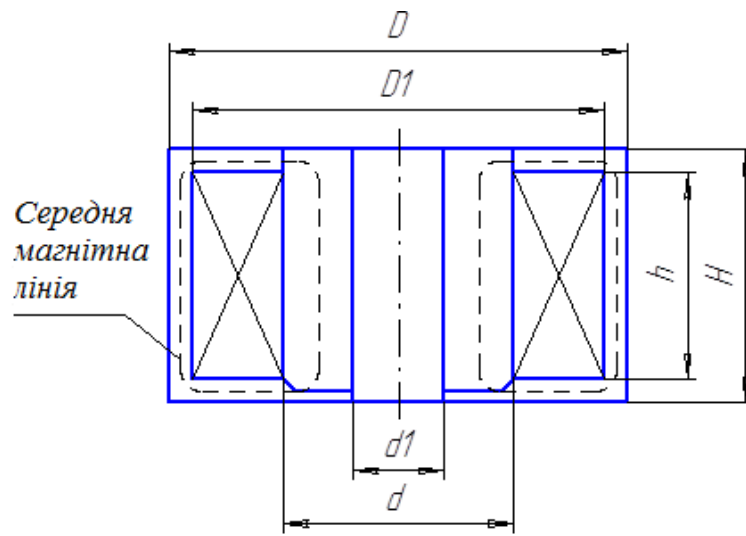
Визначимо решту параметрів пружини.

Число робочих гвинтів:

$$n_p = \frac{z_1}{z} = \frac{3,6}{1,2} = 3 \quad (4.23)$$

#### 4.6 Розрахунок електромагніту для управління механізмом фіксації поршня

Виходячи з конструктивних параметрів та особливостей енергоаккумулятора, а також характеру взаємодії його окремих компонентів, приймаємо первинні габаритні розміри електромагніту згідно рис. 4.2.



**Рисунок 4.2 – Розрахункова схема магнітопроводу електромагніту**

$D$  – зовнішній діаметр магнітопроводу, мм;

$D_1$  – внутрішній діаметр магнітопроводу, мм;

$d$  – зовнішній діаметр сердечника, мм;

$d_1$  – внутрішній діаметр сердечника, мм;

$H$  – висота магнітопроводу, мм;

$h$  – висота обмотки, мм.

Прийняті габаритні розміри електромагніту:

$$D = 60 \text{ мм}; D_1 = 54 \text{ мм}; d = 30 \text{ мм}; d_1 = 14 \text{ мм}; H = 33 \text{ мм}; h = 27 \text{ мм}.$$

Розрахункове зусилля електромагніту  $F = 20 \text{ Н}$ .

Розрахунок електромагніту ведемо методом перевірного розрахунку за прийнятими параметрами і габаритами. За наслідками розрахунку робиться висновок про необхідність корегування вибраних значень і параметрів [22].

#### **4.6.1 Розрахунок параметрів магнітопроводу**

Довжина магнітопроводу подовж середньої магнітної лінії, (використовуємо ескіз магнітопроводу і рекомендації [22]):

$$l'_c = 2\left(\frac{H+h}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D-D_1}{2} - \frac{d+d_1}{2}\right), \quad (4.24)$$

підставляючи значення в (4.4), одержуємо:

$$l'_c = 2\left(\frac{33+27}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{60-54}{2} - \frac{30+14}{2}\right) = 78 \text{ мм.}$$

Розраховуємо ефективний переріз магнітопроводу:

$$S_{ce} = \frac{l'_c}{\frac{H+h}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 + D_1^2)} + \frac{H+h}{2 \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{D-D_1}{2} - \frac{d-d_1}{2}\right) \cdot \ln\left(\frac{D+D_1}{d+d_1}\right)}{\pi \cdot (H-h) \cdot \left(\frac{D+D_1}{2} - \frac{d-d_1}{2}\right)}}, \quad (4.25)$$

підставляючи вибрані розміри у вираз (4.10), одержимо:

$$S_{ce} = \frac{78}{\frac{33+27}{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (60^2 - 54^2)} + \frac{33+27}{2 \frac{\pi}{4} (30^2 - 14^2)} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{60+54}{2} - \frac{30-14}{2}\right) \cdot \ln\left(\frac{60+54}{30+14}\right)}{\pi \cdot (33-27) \cdot \left(\frac{60+54}{2} - \frac{30+14}{2}\right)}} = 587 \text{ мм}^2.$$

#### 4.6.2 Розрахунок параметрів обмотки електромагніту

Потрібна величина магнітної індукції [22]:

$$F = \frac{B^2 \cdot S_{ce}}{2\mu_0}, \quad (4.26)$$

де  $F$  – сила, яка розвивається електромагнітом, Н;

$B$  – величина магнітної індукції, Тл;

$\mu_0$  – магнітне проникнення вакууму, Гн/м;

тоді

$$B = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot \mu_0}{S_{ce}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{5.87 \cdot 10^{-4}}} = 0.29 \text{ Тл.} \quad (4.26a)$$

Обчислюємо необхідну кількість ампер-витків, використовуючи методику [22]:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I\omega}{l_{нов}}, \quad (4.27)$$

де  $I\omega$  – кількість ампер-витків котушки електромагніту, А;

$l_{нов}$  – величина повітряного зазору, мм; прийнявши величину повітряного зазору 6,5 мм, одержимо:

$$I\omega = \frac{B \cdot l_{нов}}{\mu_0} = \frac{0,29 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} = 1500 \text{ А.}$$

Число витків у котушці електромагніту:

$$W = \frac{h(D_1 - d)}{2 \cdot d_{np}^2}, \quad (4.28)$$

де  $d_{np}$  – діаметр проводу, мм;

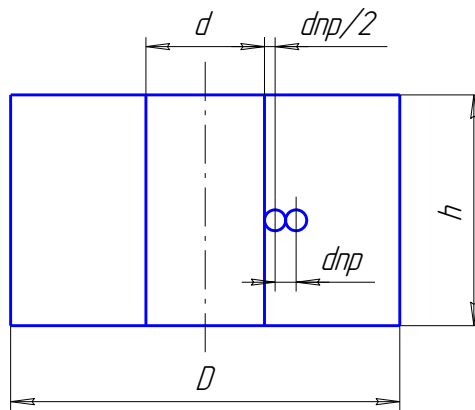
прийнявши діаметр проводу  $d_{np} = 0,5$  мм, маємо:

$$W = \frac{27 \cdot (54 - 30)}{2 \cdot 0,5^2} = 1296.$$

Потрібна сила струму в котушці електромагніту:

$$\mathfrak{I} = \frac{I\omega}{W} = \frac{1500}{1296} = 1,2, \text{ А.}$$

Знайдемо напругу живлення електромагніту, обчисливши опір і довжину проводу обмотки. Для обчислення довжини проводу в обмотці використовуємо розрахункову схему, зображену на рис. 4.3.



**Рисунок 4.3 – Розрахункова схема довжини проводу в обмотці електромагніту**

$d$  – внутрішній діаметр обмотки, мм;

$D$  – зовнішній діаметр обмотки, мм;

$h$  – висота обмотки, мм;

$d_{np}$  – діаметр проводу, мм.

Розрахунок довжини проводу:

$$l = \pi \cdot \left[ \frac{h \cdot (D_1 - d)(d_{np} + d)}{4 \cdot d_{np}^2} + d_{np} \left( \frac{D_1 - d}{2 \cdot d_{np}} - 1 \right) \right] \cdot 10^{-3}, \quad (4.29)$$

підставляючи в (4.29) числові значення, одержимо:

$$l = \pi \cdot \left[ \frac{27 \cdot (54 - 30)(0,5 + 30)}{4 \cdot 0,5^2} + 0,5 \left( \frac{54 - 30}{2 \cdot 0,5} - 1 \right) \right] \cdot 10^{-3} = 62, \text{ м.}$$

Обчислюємо опір обмотки електромагніту:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4.30)$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу, Ом\*м,

для міді  $\rho = 0,017 \cdot 10^{-6}$  Ом\*м, [22];

$l$  – довжина проводу, м;

$S$  – площа поперечного перетину проводу, м<sup>2</sup>.

Площа поперечного перетину проводу:

$$S = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4} = \frac{\pi(0,5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2.$$

Підставляючи значення у вираз (4.10), одержимо:

$$R = 0,017 \cdot 10^{-6} \frac{62}{1,96 \cdot 10^{-7}} = 5,4 \text{ Ом.}$$

Напруга живлення електромагніту:

$$U = \mathfrak{I} \cdot R = 5,4 \cdot 1,2 = 6,5 \text{ В.}$$

## 5 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ УДОСКОНАЕНОГО ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРА

### 5.1 Дослідження міцності поршня за допомогою SolidWorks Simulation

Серед різних конструкцій і типів енергоаккумуляторів є одна особливість – практично в усіх джерелом, що накопичують механічну енергію, є пружний елемент, виконаний у вигляді витої пружини. У робочому стані (розгальмованому) пружина стиснута й утримується у такому положенні за допомогою тиску поршня (під дією на нього стисненого повітря). Заклинювання або поломка поршня (поз. 4 на рис. Б3 і рис. 3.1) призводять до неможливості здійснення гальмування транспортного засобу в робочому режимі й утримання автомобіля у режимі стоянки. Тому задача даного дослідження – перевірка працездатності поршня енергоаккумулятора (рис. 5.1).

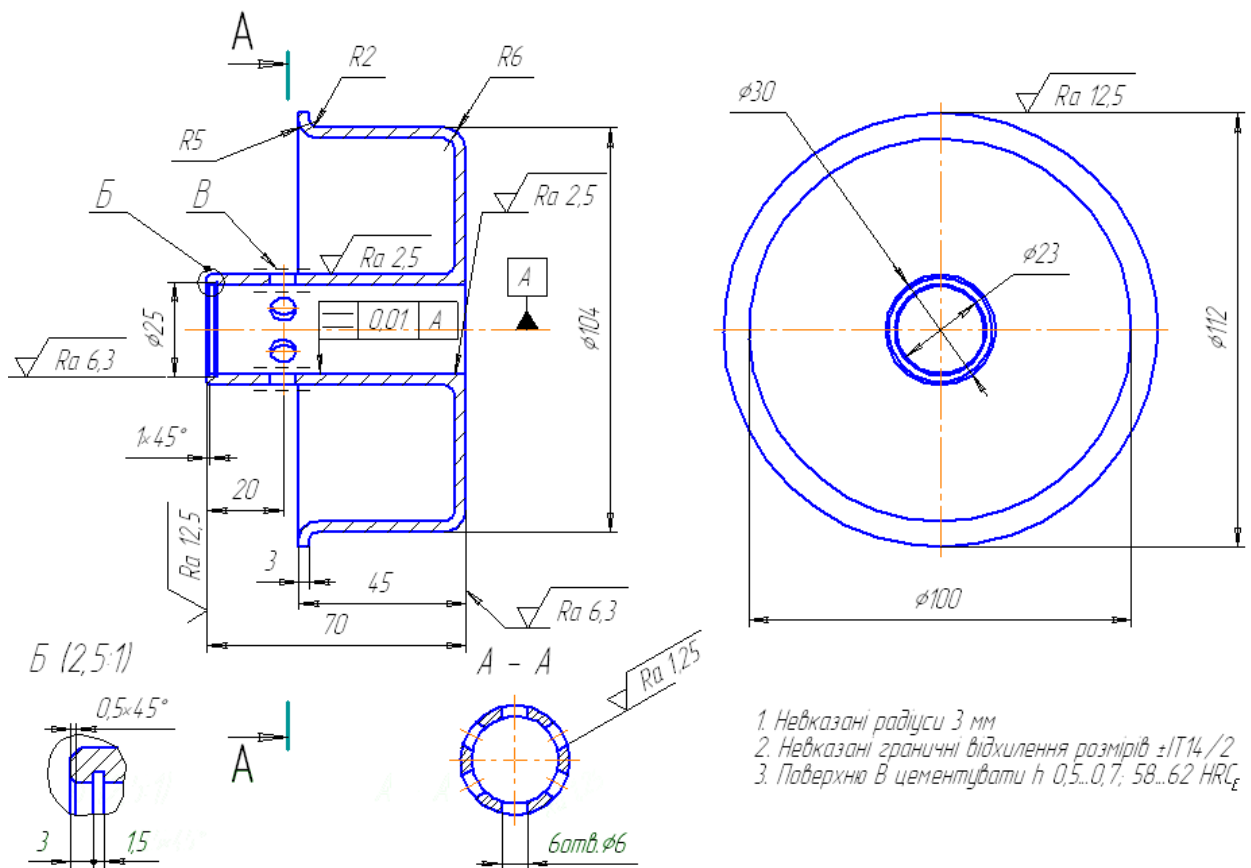


Рисунок 5.1 – Креслення удосконаленого поршня в Comras-3D V13 Home

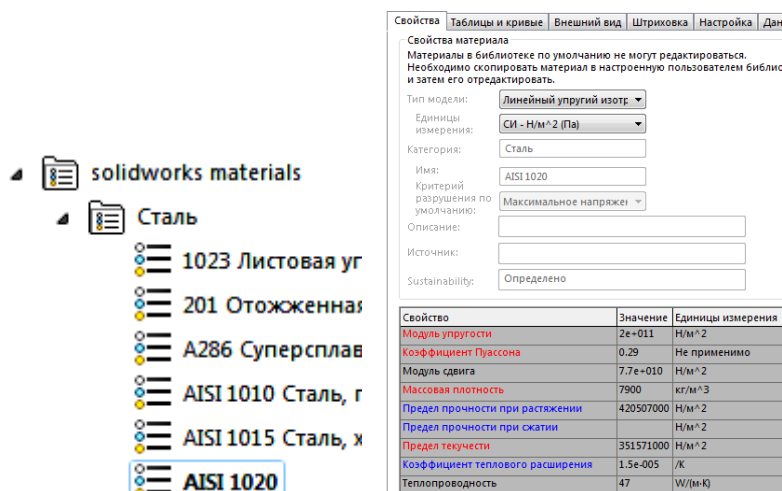
Порушення міцності поршня або його окремого елемента може відбуватися в результаті надмірної (пружної або пластичної) деформації, втрати стійкості, руйнування. Одним із методів, яким можна скористуватись для комплексного розв'язування поставленої задачі, – метод скінченних елементів (МСЕ).

МСЕ — числова техніка знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь (ДР) у частинних похідних (ДРЧП). Процес розв'язання побудовано або на повному усуненні ДР для стаціонарних задач, або на розкладі ДРЧП в апроксимуючу систему звичайних ДР, які потім розв'язуються з використанням якої-небудь стандартної техніки, такої, як метод Ейлера, Рунге-Кутта тощо [24].

При розв'язанні часткових ДР головною метою є створення рівності, яка апроксимує досліджувану функцію і є чисельно стабільною, тобто помилки на вході даних і перехідних обчисленнях не спричиняють абсурдних результатів. Для реалізації цього є багато способів. Але МСЕ-програми забезпечують широкий спектр можливостей контролю складності як модельовальної, так й аналітичної систем. За потреби у більшості технічних програмах можна змінювати рівень точності та час для необхідних розрахунків.

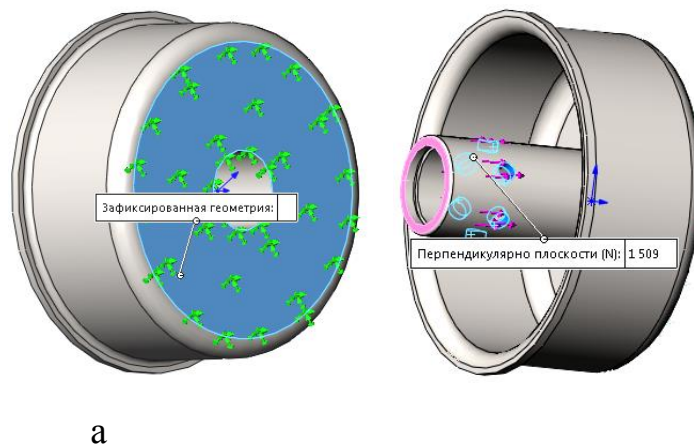
Однією з таких програм є 3D система твердотільного параметричного моделювання SolidWorks, а, точніше, її додаток SolidWorks Simulation. Ця програма користується геометричною моделлю деталі, створеною у SolidWorks, для формування розрахункової моделі. Інтеграція SolidWorks Simulation з SolidWorks мінімізує операції, зв'язані зі своєрідними властивостями скінченно-елементної апроксимації.

Розрахунок міцності поршня починали з вибору матеріалу, з якого він виготовлений – сталь 20; тому з бібліотеки SolidWorks вибрано сталь AISI 1020 з границею міцності на розтяг 420,507 МПа та границею текучості 351,571 МПа (рис. 5.2).



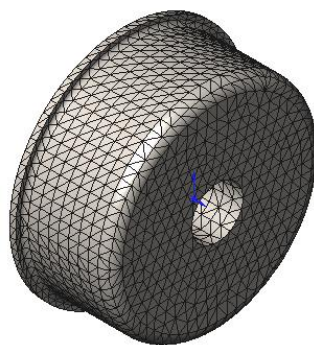
**Рисунок 5.2 – Вибір матеріалу поршня з бібліотеки SolidWorks**

Для проведення статичного аналізу проведено закріплення моделі поршня (рис. 5.3, а). Навантаження прикладувалось згідно ф. 4.4.2 у випадку його рівномірного розподілу на поршень ( $9052/6 = 1509$  Н) після відповідних деформацій (рис. 5.3, б).



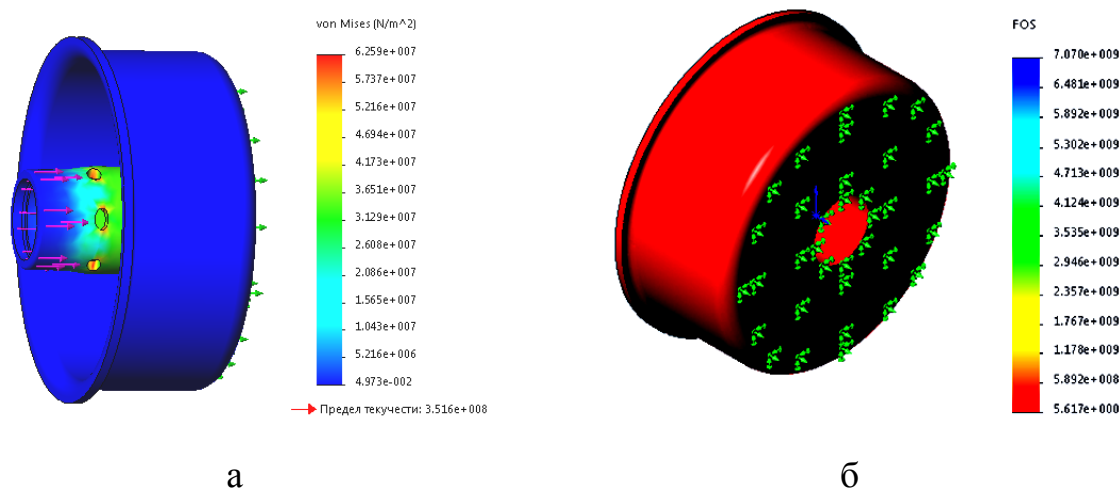
**Рисунок 5.3 – Закріплення моделі поршня (а) і прикладення навантажень (б)**

Наступний етап – поділ моделі на елементи, з'єднані у вузлах: програма аналізу скінченних елементів розглядає модель як сітку (4 точки Якобіана; розмір елемента 4.96785 мм; допуск 0.248392 мм; всього вузлів 15646; всього елементів 7656; максимальне співвідношення сторін 13.105; відсоток елементів із співвідношенням сторін менше трьох – 94.4) – рис. 5.4.



**Рисунок 5.4 – Скінченно-елементна сітка поршня типу „на твердому тілі”**

У результаті статичного аналізу встановлено, що для поршня вузлові максимальні напруження Von Mises, максимальні переміщення URES та еквівалентна деформація ESTRN складають відповідно 625,877 МПа (вузол 15415 – рис. 5.5, а), 0.00924603 мм (вузол 48), і 0.000211043 мм (елемент 6234), тобто не перевищують допустимих значень. При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності FOS становить  $k = 5,617$  (рис. 5.5, б), тобто вище допустимого, який складає  $[k] = 1,5$ . Висновок: поршень працюватиме надійно.



**Рисунок 5.5 – Вузлові напруження von Mises (а) і контурний графік запасу міцності FOS моделі поршня (б)**

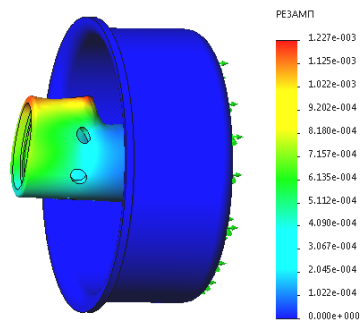
Але часто причиною руйнування конструкції є не порушення міцності, а втрата стійкості рівноваги окремих її елементів. Тому наступне дослідження поршня, яке може запобігти його руйнуванню – втрата стійкості (розрахунки лінійної статyki за допомогою скінченно-елементної техніки).

Втрата стійкості первинної форми рівноваги для більшості елементів конструкцій є причиною вичерпання їх працездатності, а це може призвести до катастрофи всієї конструкції. Такі випадки не поодинокі. При цьому втрата стійкості навіть, здавалося б, другорядним елементом конструкції може виявитися фатальною для всієї конструкції в цілому [25].

Втрата стійкості означає практично повну втрату несучої здатності конструктивного елемента і з цим явищем при проектуванні необхідно рахуватися. Перш за все, слід по можливості уникати такого типу навантажень, при яких можлива втрата стійкості.

Деталі з тонкими компонентами, які навантажуються в осьовому напрямку, згинаються під відносно малими осьовими навантаженнями. Такі конструкції можуть вийти з ладу внаслідок втрати стійкості, незважаючи на те, що напруження набагато нижчі критичних рівнів. Для таких конструкцій критичне поздовжнє навантаження стає критичним конструктивним фактором (аналіз втрати стійкості не потрібні для об'ємистих конструкцій, так як руйнування відбувається раніше внаслідок великих напружень).

За допомогою SolidWorks Simulation встановлено, що максимальна амплітуда коливань  $a = 0,00122695$ , вузол 52 (рис. 5.6, а); запас міцності при можливій втраті стійкості складає 141,51 (рис. 5.6, б), тобто втрата стійкості поршня не відбувається (у випадку рівномірного розподілу навантаження на поршень запас міцності складає 374,46).



а

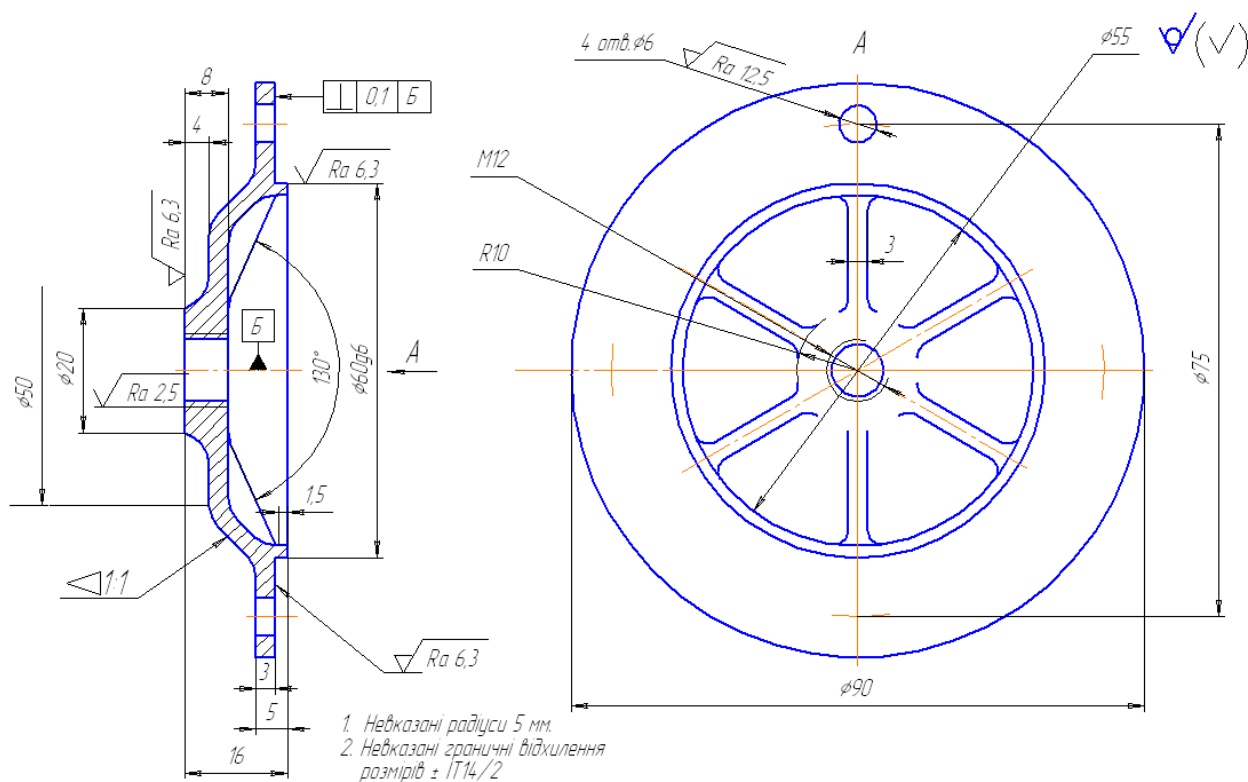
Тип	Мин	Макс
РЕЗАМП: результующая амплитуда Эпюра - для формы колебаний: 1(Коэффициент нагрузки = 141.511)	0	0.00122695
	Узел:	Узел: 52
	1453	

б

**Рисунок 5.6 – Результуюча амплітуда (а) та запас міцності при втраті стійкості (б) поршня**

## 5.2 Дослідження міцності кришки корпусу електромагніту за допомогою SolidWorks Simulation

Кришка корпусу електромагніту (поз. 16 на рис. 3.1; рис. 5.7) фіксує його.



**Рисунок 5.7 – Кришка корпусу електромагніту (Compas-3D V13 Home)**

Аналіз скінченних елементів забезпечує надійний чисельний метод розробок. Процес починається зі створення геометричної моделі кришки (рис. 5.8).

Наступний етап – вибір матеріалу кришки (сталь 45 ГОСТ 535-88) з бібліотеки SolidWorks (рис. 5.8, а). Для проведення статичного аналізу проведено закріплення моделі (рис. 5.8, б) та прикладення навантаження (рис. 5.10). Навантаження прикладувалось згідно ф. 4.4.2 у випадку його рівномірного розподілу на поршень (9052/4 = 2263 Н).

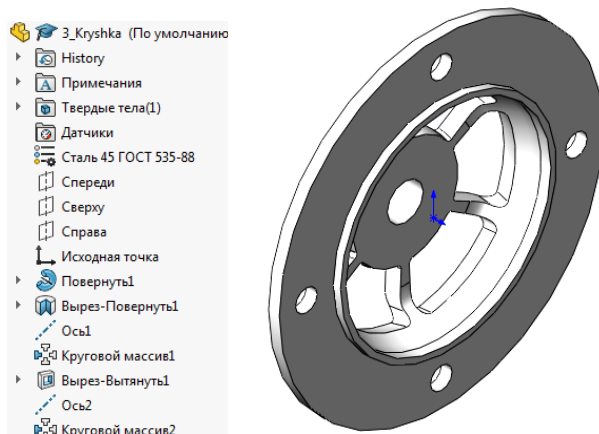


Рисунок 5.8 – Геометрична модель кришки

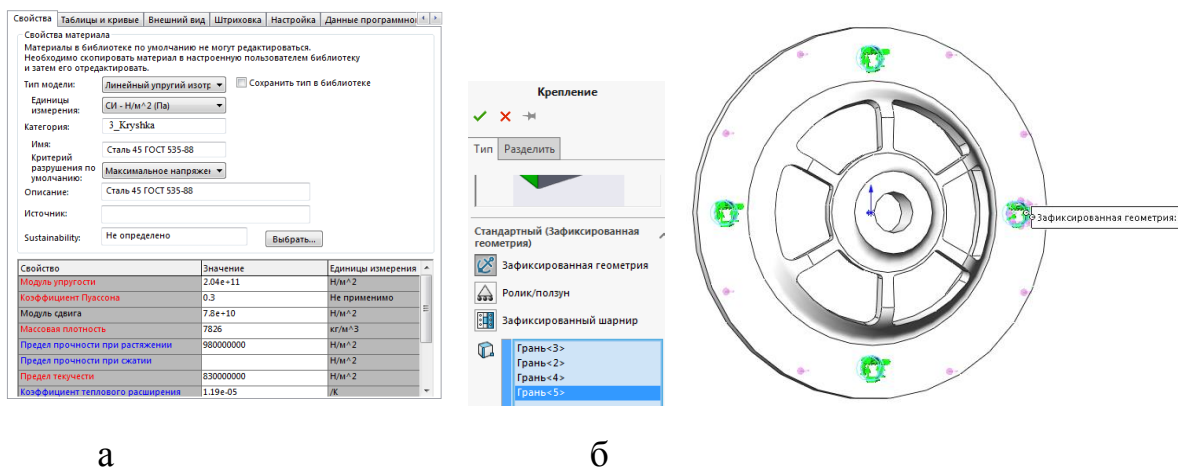
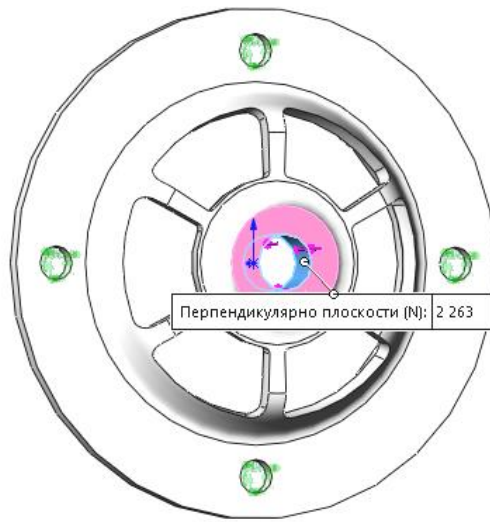
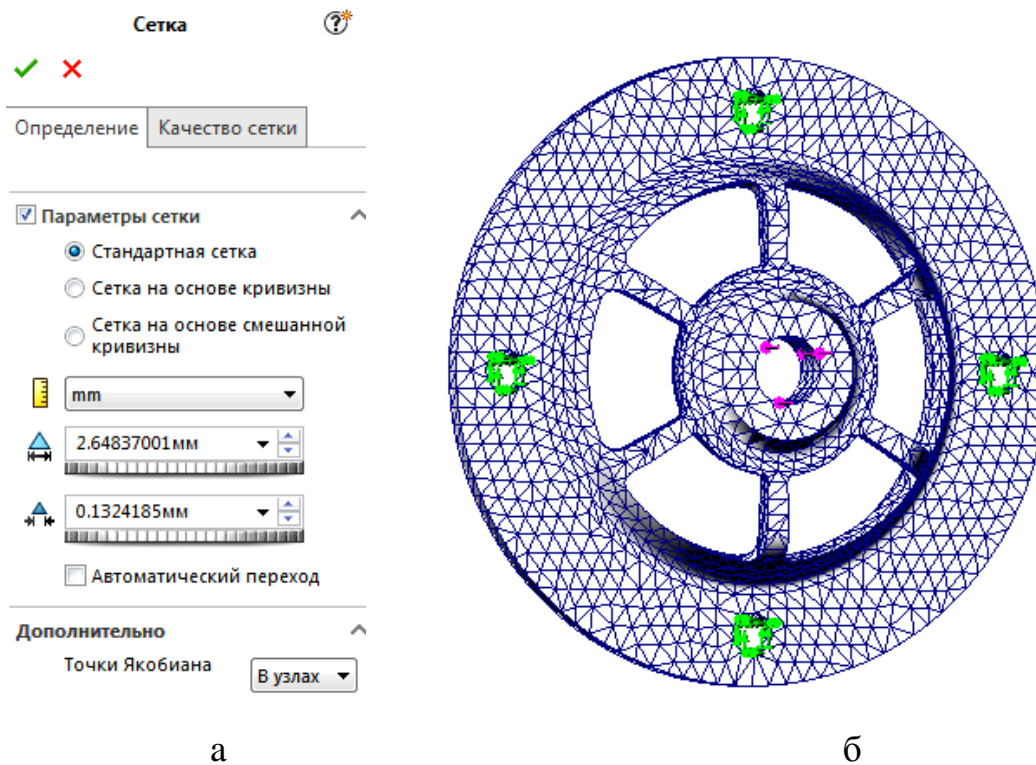


Рисунок 5.9 – Вибір матеріалу кришки(а) та закріплення моделі (б)



**Рисунок 5.10 – Прикладення навантаження до кришки**

Потім програма ділить модель 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). МСЕ прогнозує поведінку моделі за допомогою зіставлення інформації, одержаної від усіх елементів, з яких складається модель. У нашому дослідженні параметри сітки відображено на рис. 5.11.

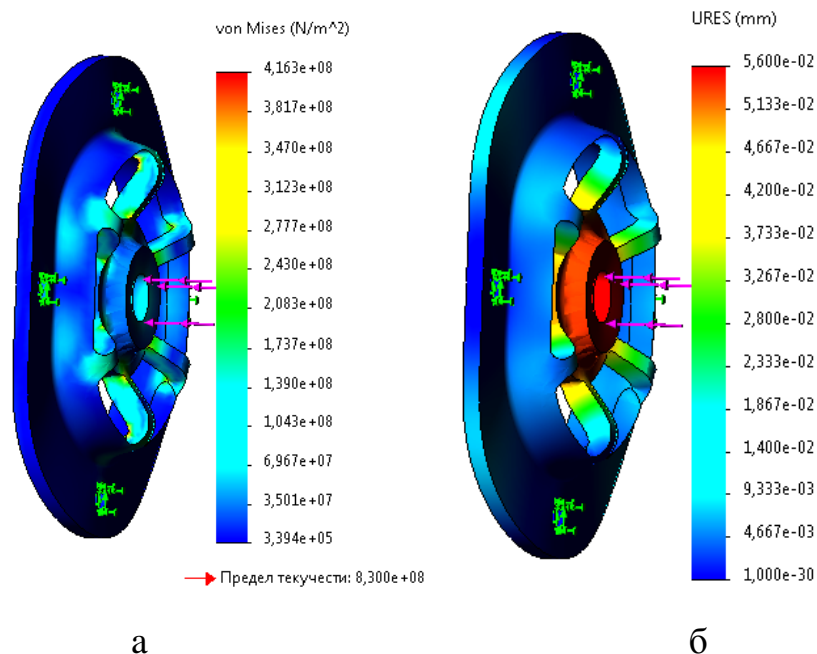


а

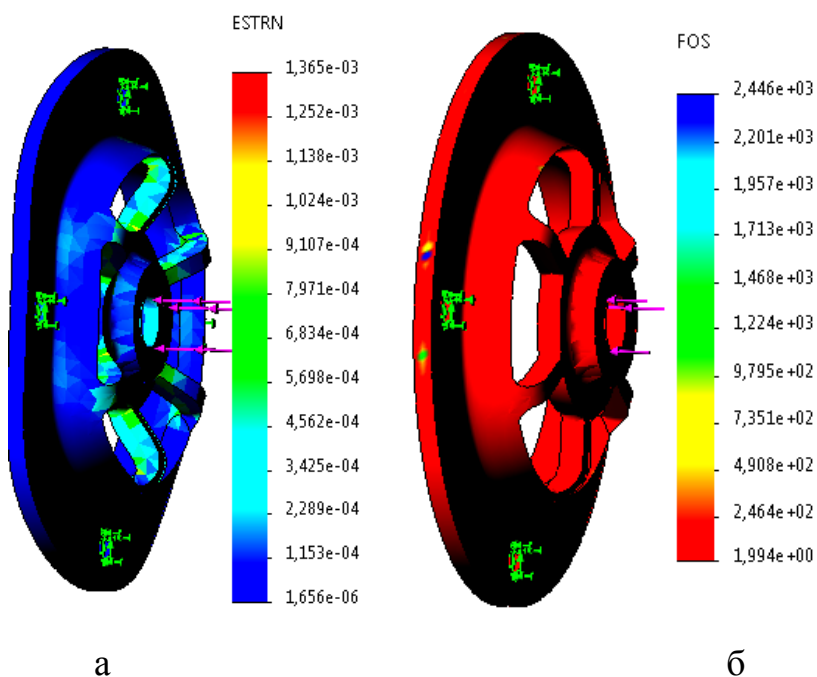
б

**Рисунок 5.11 – Параметри скінченно-елементної сітки моделі кришки та її відображення на твердому тілі**

Результати розрахунків зображаються у вигляді кольорового градієнта. Він показує зміну кольору розподіл розрахованих параметрів: напружень у моделі кришки (рис. 5.12, а), її переміщень (рис. 5.12, б), деформації (рис. 5.13, а), запасу міцності (рис. 5.13, б). При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності кришки становить 1,994; тобто запас міцності достатній.



**Рисунок 5.12 – Контурні графіки сумарних напружень моделі кришки von Mises (а) і переміщень URES (б)**



**Рисунок 5.13 – Контурні графіки деформації моделі кришки ESTRN (а) та її запасу міцності FOS (б)**

### 5.3 Дослідження міцності корпусу магнітопроводу за допомогою SolidWorks Simulation

Корпус магнітопроводу (поз. 17 на рис. 3.1) зображено на рис. 5.14.

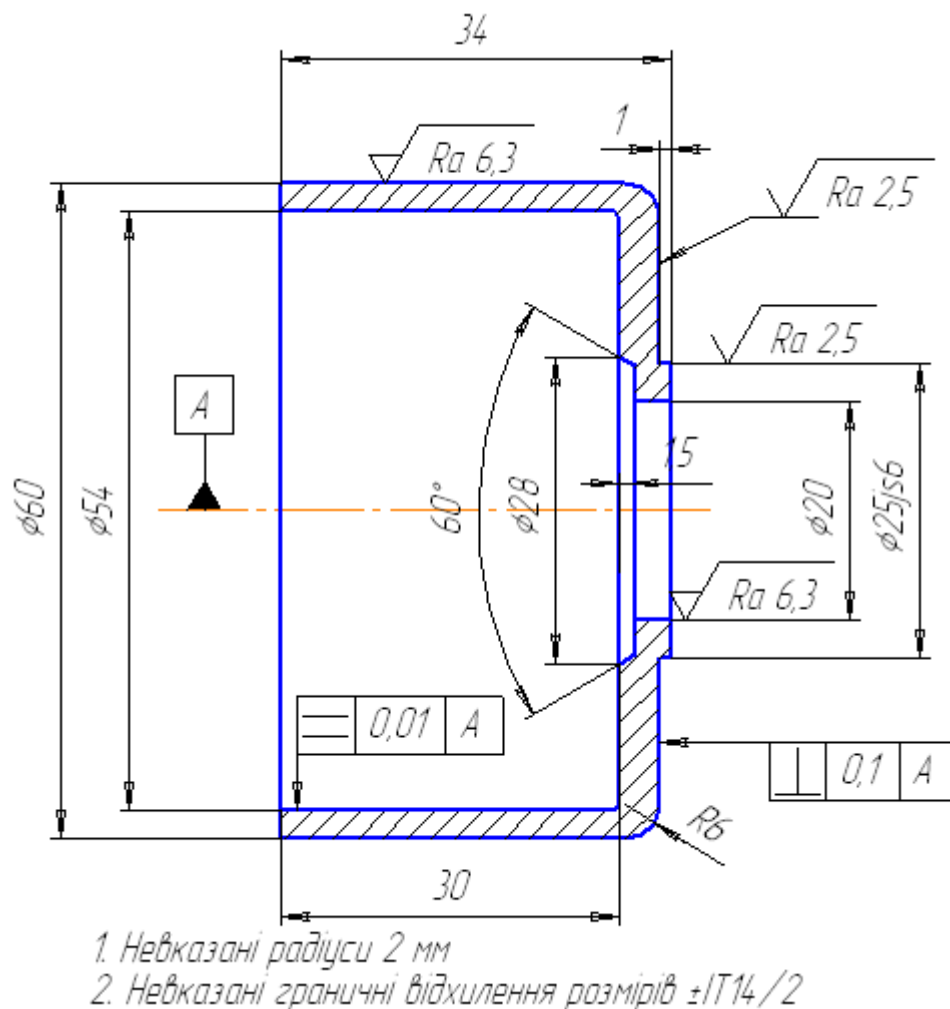


Рисунок 5.14 – Креслення корпусу магнітопроводу в Compas-3D V13 Home

Проведення статичного аналізу корпусу магнітопроводу проводили у наступній послідовності:

- у SolidWorks Simulation створили його 3D-модель;
- у SolidWorks Simulation назначили матеріал знімача (сталь електротехнічна нелегована 10864 – [26]);
- провели дефініцію опори корпусу магнітопроводу (рис. 5.15);

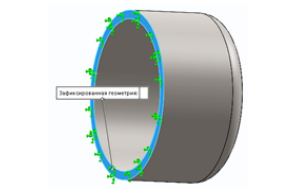
Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления				
Зафиксированный-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Зафиксированная геометрия</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Зафиксированная геометрия
Объекты:	1 грани					
Тип:	Зафиксированная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

Рисунок 5.15 – Дефініція опори корпусу магнітопроводу

– задали область навантаження (навантаження прикладувалось згідно ф. 4.3: осьове зусилля від силової пружини  $F = 7840 \text{ Н}$  – рис. 5.16);

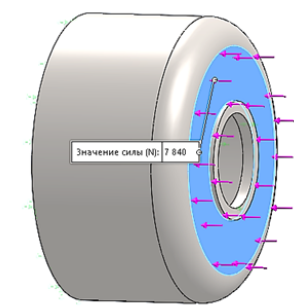
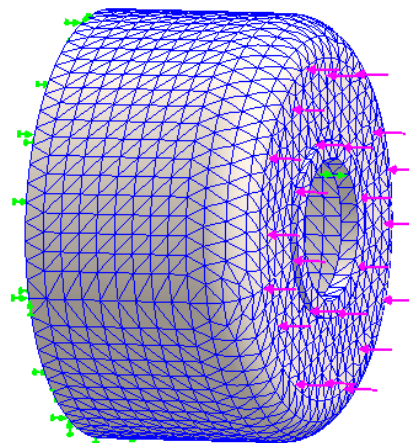
Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные						
Сила-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Приложить нормальную силу</td> </tr> <tr> <td>Значение:</td> <td>7 840 N</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Приложить нормальную силу	Значение:	7 840 N
Объекты:	1 грани							
Тип:	Приложить нормальную силу							
Значение:	7 840 N							

Рисунок 5.16 – Прикладення навантаження

– визначили контактні взаємодії та створили скінченно-елементну модель корпусу магнітопроводу (рис. 5.17);

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический анализ 1
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	В узлах
Размер элемента	2,80496 mm
Допуск	0,140248 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	15974
Всего элементов	8720
Максимальное соотношение сторон	4,6459
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99,1
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
Процент искаженных элементов	0
Число искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:04



а

б

Рисунок 5.17 – Параметри сітки (а) та її відображення на моделі (б)

– програма аналізу SolidWorks Simulation розробила алгебраїчні рівняння, після упорядкування яких знайшлися невідомі (рис. 5.18).

### Результаты исследования

Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	1,370e+04N/m <sup>2</sup> Узел: 12117	1,735e+08N/m <sup>2</sup> Узел: 3106

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0,000e+00mm Узел: 254	1,057e-02mm Узел: 5689

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	5,894e-07 Элемент: 2625	5,138e-04 Элемент: 3563

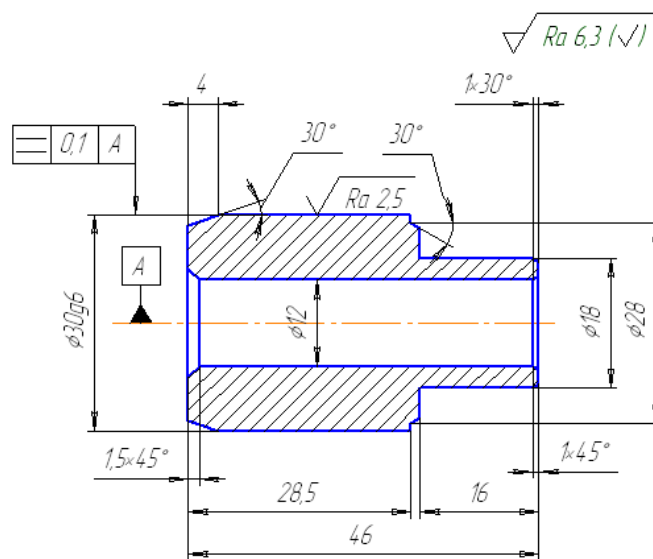
Имя	Тип	Мин	Макс
Запас прочности1	Авто	2,075e+00 Узел: 3106	2,628e+04 Узел: 12117

**Рисунок 5.18 – Результати дослідження міцності корпусу магнітопроводу**

Так як мінімальний запас міцності  $k = 2,075$ , то деталь працює надійно.

### 5.4 Дослідження міцності сердечника за допомогою SolidWorks Simulation

Сердечник (поз. 18 на рис. 3.1) зображено на рис. 5.19.



1. Невказані граничні відхилення розмірів  $\pm IT14/2$

**Рисунок 5.19 – Креслення сердечника в Compas-3D V13 Home**

Властивості матеріалу сердечника відображені на рис. 5.20.

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2.1e+11	Н/м <sup>2</sup>
Кoeffициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	7.9e+10	Н/м <sup>2</sup>
Массовая плотность	7850	кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при растяжении	500000000	Н/м <sup>2</sup>
Предел прочности при сжатии		Н/м <sup>2</sup>
Предел текучести	360000000	Н/м <sup>2</sup>
Кoeffициент теплового расширения	1.1e-05	/К

Рисунок 5.20 – Властивості матеріалу сердечника в SW Simulation

На сердечник діє пружина фіксуючого пристрою із силою (див. розділ 4.5):

– при робочій деформації  $F_2 = 20\text{Н}$ ;

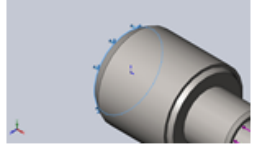
– при попередній деформації  $F_1 = 12\text{ Н}$ .

Розрахунками обрано пружину №239 ГОСТ 13767-86 із силою при максимальній деформації (до зіткнення витків)  $F_{max} = 24\text{ Н}$ .

Приймаємо для розрахунків більше значення сили – 24 Н.

Навантаження та кріплення сердечника наведено на рис. 5.21.

Нагрузки и крепления

Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления		
Зафиксированный-1		Объекты: 1 кромки Тип: Зафиксированная геометрия		
<b>Результирующие силы</b>				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила реакции(N)	24	1,95093e-05	-3,58336e-05	24
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0

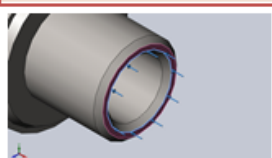
Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-1		Объекты: 1 кромки Справочный: 1 грань< 1 > Тип: Приложить силу Значения: ---; ---; 24 N

Рисунок 5.21 – Навантаження та кріплення сердечника в SW Simulation

Створення сітки твердотільної моделі – рис. 5.22.

### Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	В узлах
Размер элемента	1,34576 mm
Допуск	0,0672882 mm
Качество сетки	Высокая

### Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	76475
Всего элементов	51975
Максимальное соотношение сторон	5,3698
% элементов с соотношением сторон < 3	99,8
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:08
Имя компьютера:	

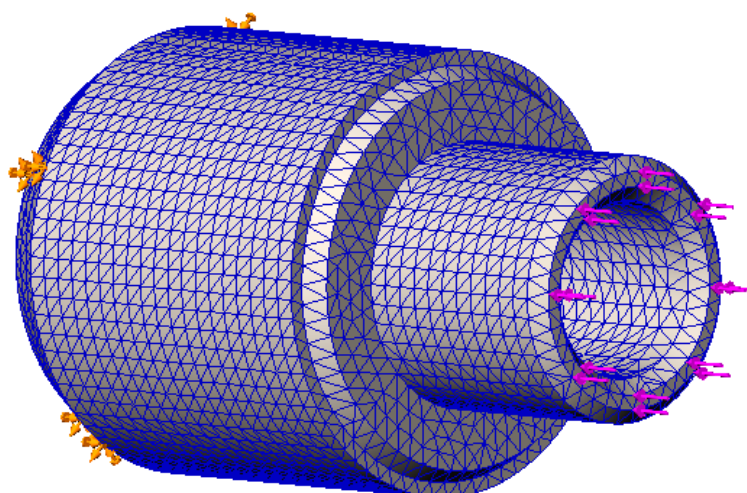


Рисунок 5.22 – Параметры сітки та її відображення на твердому тілі

Результаты расчетов – рис. 5.23.

#### Силы реакции

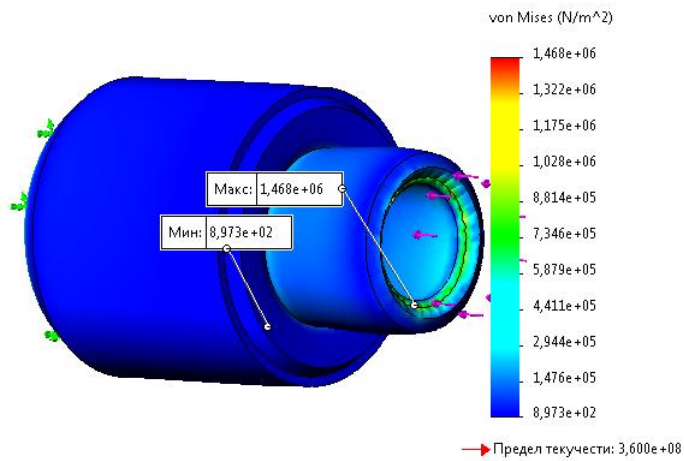
Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	24	1,95093e-05	-3,58336e-05	24

#### Моменты реакции

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

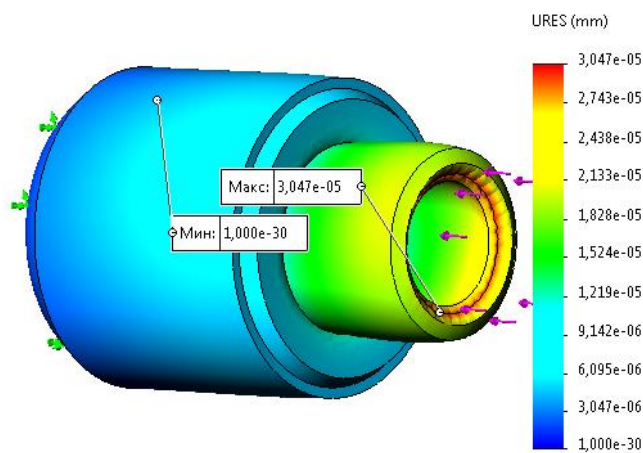
a – силы та моменти реакції

Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	8,973e+02N/m <sup>2</sup> Узел: 6792	1,468e+06N/m <sup>2</sup> Узел: 76430



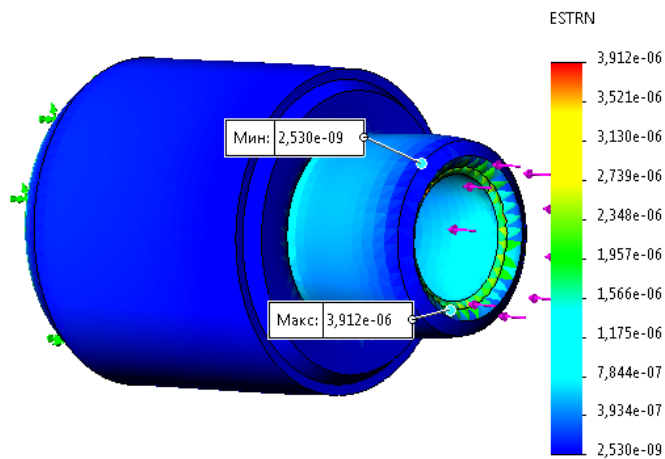
б – вузлові напруження Von Mises

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0,000e+00mm Узел: 775	3,047e-05mm Узел: 8



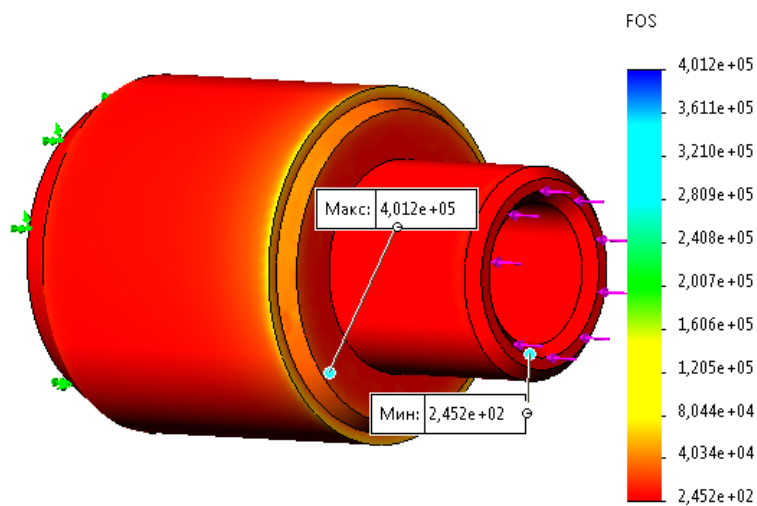
в – розподіл переміщень URES

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	2,530e-09 Элемент: 39386	3,912e-06 Элемент: 6151



г – еквівалентна деформація сердечника ESTRN

Имя	Тип	Мин	Макс
Запас прочности1	Авто	2,452e+02	4,012e+05



д – запас міцності

**Рисунок 5.23 – Результати розрахунків сердечника**

Встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності більше допустимого.

## 6 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ТО ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ СІМЕЙСТВА КамАЗ

У процесі експлуатації гальмівного пневмоприводу відбувається зношування його деталей, змінюються величини зазорів і натягу. В результаті знижуються гальмівні якості та надійність автомобіля у цілому. Для своєчасного виявлення несправностей і відновлення працездатності автомобіля необхідно регулярно проводити роботи з ТО і ремонту гальмівного пневмоприводу.

Складемо технологічну карту ТО гальмівного пневмоприводу. Випробування гальмівного пневмоприводу проводяться на спеціалізованому стенді КИ – 8925. Порядок випробування наступний (додаток Б6):

1. Установити автомобіль на підйомник і поставити противідкатні упори, заглушити двигун.

2. Перевірити кут повороту рукоятки крана стоянкового гальма до спрацьовування датчика повороту (величина кута спрацьовування повинна бути у межах 10-12° від її горизонтального положення). При величині кута більше 12° провести регулювання шляхом викручування датчика з корпусу ручного крана.

3. Перевірити час запізнювання відключення напруження живлення енергоакумулятора (повинен складати 4-5 с після переведення рукоятки крана у вертикальне положення). При необхідності час відключення відрегулювати поворотом підлаштувального резистора у блоці управління.

4. Перевірити величину вільного ходу педалі гальма (повинен бути в межах 23-30 мм), при цьому заїдання не допускаються. При необхідності вільний хід відрегулювати зміною довжини регулювальної тяги.

5. Перевірити тиск повітря у пневмосистемі гальмівного приводу (повинен бути у межах 0,5-0,75 МПа) та падіння тиску при одному натисненні на педаль гальма (не повинна перевищувати 0,07 МПа).

6. Перевірити величину ходу штоків гальмівних камер (допускається 15-25 мм).

7. Відрегулювати гальма на максимальну одночасність спрацьовування. Регулювання проводити черв'яком регулювального важеля. Зазори між колодками і гальмівними барабанами – 0,4 мм у розтискного кулака і 0,2 мм в осей колодок.

8. Запустити двигун. Установити автомобіль задніми колесами на барабани стенду і заглушити двигун. Колеса при цьому не повинні торкатися відбійних роликів.

9. Перевірити гальмівні якості коліс шляхом вимірювання сили опору коченню коліс, гальмуючу силу на колесах, час спрацьовування гальм і деформацію гальмівних барабанів. Плавним натисненням на педаль гальма при тиску повітря в гальмівній системі 0,7 МПа зафіксувати максимальну силу на кожному колесі, величина якої повинна бути не менше 5380 Н. Різниця гальмівних сил лівого і правого коліс не повинна

перевищувати 20% від максимального значення величини гальмівної сили, визначеної на стенді. Без натиснення на педаль гальма відхилення стрілки показуючого приладу від початкової відмітки не повинна перевищувати 5 поділок.

10. Перевірити величину ходу штоків гальмівних камер. Хід штоків гальмівних камер допускається 15-25 мм.

11. При необхідності відрегулювати гальма на максимальну силу гальмування і мінімальну нерівномірність спрацьовування. Регулювання проводити черв'яком регулювального важеля. Зазори між колодками і гальмівними барабанами – 0,4 мм у розтискного кулака і 0,2 мм в осей колодок.

12. Перевірити працездатність стоянкового гальма і сумарну гальмівну силу на колесах заднього моста. При плавному відведенні важеля приводу ручного гальма сумарна гальмівна сила на колесах повинна бути не менше 8160 Н.

13. Заповнити діагностичну карту (у процесі діагностики).

## 7 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічний ефект запропонованої конструкції удосконаленої гальмівної камери з пружинним енергоакумулятором досягається за рахунок:

- зниження потужності двигуна, що витрачається на привод компресора;
- збільшення ресурсу компресора.

У результаті зменшується час простою автомобіля в несправному стані.

### 7.1 Розрахунок статті витрат на впровадження конструкції

Для визначення економічної ефективності впровадження у виробництво конструктивної розробки необхідно розрахувати витрати на її виготовлення.

Розрахунок витрат на виготовлення:

$$C_{\text{ц}}^u = C_{\text{к.д.}} + C_{\text{о.д.}} + C_{\text{н.д.}} + C_{\text{сб.н.}} + C_{\text{оп.}}, \quad (7.1)$$

де  $C_{\text{к.д.}}$  – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{\text{о.д.}}$  – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{\text{н.д.}}$  – ціна купувальних деталей, грн.;

$C_{\text{сб.н.}}$  – повна заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{\text{оп.}}$  – загальновиробничі витрати, грн.

Вартість виготовлення корпусних деталей:

$$C_{\text{к.д.}} = Q_{\text{к}} \cdot C_{\text{з.д.}}, \quad (7.2)$$

де  $Q_{\text{к}}$  – маса матеріалу на виготовлення корпусних деталей, кг;

$C_{\text{з.д.}}$  – середня вартість одного кілограма готових деталей, грн./кг.

Звідси вартість виготовлення корпусу електромагніту і його кришки:

$$C_{к.д.} = 0,53 \cdot 6,5 + 0,47 \cdot 7,5 = 9,97 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення оригінальних деталей:

$$C_{о.д.} = C_{np.n} + C_m, \quad (7.3)$$

де  $C_{np.n}$  – повна заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн.;

$C_m$  – вартість матеріалу заготовок, грн..

Повна заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей:

$$C_{np.n} = C_{np.} + C_{\delta} + C_{соц.}, \quad (7.4)$$

де  $C_{np.}$  – заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн.;

$C_{\delta}$  – додаткова заробітна плата, грн.;

$C_{соц.}$  – нарахування по соціальному страхуванню, грн..

$$C_{np.} = t \cdot C_2 \cdot k_t, \quad (7.5)$$

де  $t$  – трудомісткість виготовлення оригінальних деталей, чол.-год. ( $t_1 = 1,3$  чол.-год.,  $t_2 = 0,8$  чол.-год.);

$C_2$  – годинна ставка робітників по середньому розряду, грн. ( $C_2 = 18,2$  грн.);

$k_t$  – коефіцієнт, який враховує додаткову оплату до основної заробітної плати ( $k_t = 1,03$ ).

$$C_{np.} = (1,3 + 0,8) \cdot 18,2 \cdot 1,03 = 39,4 \text{ грн.}$$

$$C_{\delta} = \frac{(5 - 12) \cdot C_{np.}}{100}, \quad (7.6)$$

$$C_{\delta} = \frac{7 \cdot 39,4}{100} = 2,7 \text{ грн..}$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (C_{np} + C_{\delta})}{100}, \quad (7.7)$$

$$C_{соц} = \frac{1,26 \cdot (39,4 + 2,7)}{100} = 0,53 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей:

$$C_{np.n} = 39,4 + 2,7 + 0,53 = 42,6 \text{ грн..}$$

Вартість матеріалу заготовок для оригінальних деталей:

$$C_m = C_l \cdot Q_3, \quad (7.8)$$

де  $C_l$  – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн.;

$Q_3$  – маса заготовок, кг.

$$C_m = 0,74 \cdot 7,5 + 0,25 \cdot 6,5 = 7,2 \text{ грн..}$$

$$C_{o.d.} = 42,6 + 7,2 = 49,8 \text{ грн..}$$

Ціна купувальних виробів береться за прейскурантом. До купувальних відносимо: електромагніт – 150 грн., блок управління – 250 грн., болт – 6 грн., заклепка – 0,8 грн., пружина велика – 16 грн., пружина мала – 3 грн., вимикач – 10 грн.

$$C_{n.д.} = 120 \cdot 4 + 190 + 6 \cdot 16 + 0,8 \cdot 9 + 16 + 3 + 10 \cdot 5 = 842,2 \text{ грн.}$$

Заробітна плата робітників, зайнятих на складанні:

$$C_{ск.н.} = C_{ск} + C_{д.ск.} + C_{соц. ск.}, \quad (7.9)$$

$$C_{скк} = T_{ск} \cdot C_{ч} \cdot k_t, \quad (7.10)$$

де  $T_{ск}$  – нормативна трудомісткість на складальних роботах, чол.-год.

$$T_{ск} = k_c \cdot t_{ск}, \quad (7.11)$$

де  $k_c$  – коефіцієнт, який враховує співвідношення між повною працею і оперативним часом складання ( $k_c = 1,08$ );

$t_{ск}$  – трудомісткість складових частин конструкції, чол.-год. ( $t_{ск} = 0,8$  чол.-год.).

$$T_{ск} = 1,08 \cdot 0,5 = 0,84 \text{ чол.-год.}$$

$$C_{ск} = 0,84 \cdot 18,2 \cdot 1,03 = 16,2 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата:

$$C_{д.ск.} = \frac{(5-12) \cdot C_{ск}}{100}, \quad (7.12)$$

$$C_{д.ск.} = \frac{10 \cdot 16,2}{100} = 1,62 \text{ грн.}$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (C_{сб} + C_{д.сб})}{100}, \quad (7.13)$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (16,2 + 1,62)}{100} = 0,25 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата:

$$C_{сб.п.} = 16,2 + 1,62 + 0,25 = 18,07 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі накладні витрати на виготовлення:

$$C_{он} = \frac{C'_{np} \cdot k_{зв}}{100}, \quad (7.14)$$

де  $C'_{np}$  – основна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$k_{зв}$  – коефіцієнт загальновиробничих витрат ( $k_{зв} = 15-18\%$ ).

$$C'_{np} = C_{np} + C_{сб.п.}, \quad (7.15)$$

$$C'_{np} = 39,4 + 16,2 = 55,6 \text{ грн.}$$

Звідси:

$$C_{зв} = \frac{55,6 \cdot 18}{100} = 10 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення:

$$C''_y = 9,97 \cdot 4 + 49,8 \cdot 4 + 842,2 + 18,07 \cdot 4 + 10 = 1164 \text{ грн.}$$

## 7.2 Розрахунок статей доходів від упровадження проекту

Згідно [5], на автомобілях сімейства КамАЗ під час роботи відбуваються витoki повітря в атмосферу. При цьому, для поповнення стоянкового і запасного контуру стислим повітрям через кожні 20 хв. роботи автомобіля компресором, відбувається нагнітання повітря в балони пневмоприводу. Час роботи компресора на компенсацію втрат у стоянковому і запасному контурах складає  $t_p = 0,5$  хв.. При середній споживаній потужності компресора в режимі навантаження 1 кВт і питомій витраті палива дизельного двигуна КамАЗ–740  $g_e = 225$  г/(кВт\*год.) економія палива одним автомобілем за 1 рік складе:

$$Q = \frac{t_p}{20} \cdot g_e \cdot T_{зм} \cdot c \cdot D_{pp}, \quad (7.16)$$

де  $T_{зм}$  – час зміни, год.;

$c$  – число змін;

$D_{pp}$  – число робочих днів у році.

$$Q = \frac{0,5}{20} \cdot 225 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 255 = 22950 \text{ г} \approx 23 \text{ кг}$$

Сума коштів, заощаджених від зниження витрати палива за рік по парку автомобілів:

$$C_T = Q \cdot \rho \cdot C_0 \cdot Au, \quad (7.17)$$

де  $\rho$  – густина палива, кг/м<sup>3</sup>, для дизельного палива  $\rho = 0,85$  кг/м<sup>3</sup>;

$C_0$  – вартість одного літра дизельного палива, при роздрібній торгівлі  $C_0 = 12,8$  грн.;

$Au$  – прийнята середньостатистична облікова кількість автомобілів [1, 3, 6],

тоді

$$C_T = 23 \cdot 0,85 \cdot 12,8 \cdot 68 = 23500,8 \text{ грн.}$$

Середньорічний час роботи компресора складає 1122 год. [1, 3, 6]. Після впровадження запропонованої конструкції зниження часу роботи компресора складе:

$$T = 3 \cdot t_p \cdot T_{cm} \cdot c \cdot D_{pz} = 3 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 255 = 1020 \text{ год.};$$

А середньорічний час роботи компресора складатиме 1020 год.. У процентному співвідношенні середній час роботи компресора знизиться на:

$$\Delta = 1 - \frac{1122 - 1020}{1122} = 0,09$$

Отже річна потреба в компресорах складе:

$$N = \Delta \cdot N_0 = 0,09 \cdot 36 = 3,24$$

Річна економія від зниження кількості заміन компресорів, що відмовили, складе:

$$C_k = C_0 \cdot (N_0 - N), \quad (7.18)$$

де  $C_0$  – витрати пов'язані з ремонтом одного компресора, грн.;

$$C_R = 620 \cdot 3 = 1860 \text{ грн.}$$

Середньодобовий пробіг КамАЗ–740 складає  $l_{cc} = 120$  км при середній вантажопідйомності автомобіля  $q = 8$  т і тарифній ставці  $C_{ткм} = 7,5$  грн., збиток від простою одного автомобіля за годину складе:

$$P = \frac{l_{cc} \cdot q \cdot C_{ткм}}{T_{cm} \cdot c} = \frac{120 \cdot 8 \cdot 7,5}{8 \cdot 2} = 450 \text{ грн.}$$

Простій автомобіля, пов'язаний із заміною компресора, рівний  $T_{np} = 3,2$  год. Отже, річна економія від скорочення простоїв автомобілів:

$$C_{np} = T_{np} \cdot P \cdot (N_0 - N) = 450 \cdot 3,2 \cdot (36 - 33) = 4320 \text{ грн.}$$

### 7.3 Розрахунок показників економічної ефективності

Розрахунок капітальних вкладень:

$$K = C_u^u \cdot A_u = 1164 \cdot 68 = 79152 \text{ грн.}$$

Розрахунок зведених витрат:

$$П_з = C_u^u + 0,15 \cdot K, \quad (7.19)$$

де 0,15 – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$$П_з = 1164 \cdot 68 + 0,15 \cdot 79152 = 91024,8 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{\Sigma C_i}, \quad (7.20)$$

де  $\Sigma C_i$  – сума економії від впровадження вдосконаленої конструкції;

$$T = \frac{79152}{23500,8 + 1860 + 4320} = 2,6 \text{ років.}$$

В результаті проведених розрахунків були обчислені основні статті витрат і доходів, пов'язані з упровадженням вдосконаленої конструкції пружинного енергоакумулятора. Термін окупності проекту складає 2,6 років. Як джерело капітальних вкладень середньостатистичне підприємство може використовувати позикові та власні грошові кошти (див. додаток Б7).

## Висновки

Розглянуті гальмівні системи вантажних автомобілів МАЗ, ЛАЗ, КамАЗ, ЗИЛ-130 та автобусів ЛіАЗ-677, ЛАЗ-695Н. Проведено огляд та аналіз конструкцій гальмівних камер з пружинним енергоакумулятором автомобілів ЗІЛ, КамАЗ та автобуса ЛіАЗ-5256.

Спроектована удосконалена гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором пневмоприводу автомобілів сімейства КамАЗ: розроблена фіксація поршня, що дозволяє понизити втрати стислого повітря, розвантажити компресор і збільшити його ресурс, понизити витрату палива та підвищити безпеку руху транспортного засобу. Відносна простота конструкції дозволяє виготовити удосконалений енергоакумулятор в умовах ремонтних майстерень автотранспортних підприємств.

Наведений розрахунок деталей удосконаленої гальмівної камери та за допомогою SolidWorks Simulation проведене комп'ютерне моделювання їх напружено-деформованого стану з відображенням контурних графіків сумарних напружень von Mises, переміщень URES, деформацій ESTRN і запасу міцності FOS.

Запропонована технологія проведення технічного обслуговування гальмівного пневмоприводу згідно розробленої конструкції.

Розрахунки економічної ефективності показують, що термін окупності проекту складає 2,6 років.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. КАМАЗ 6х4 / 6х6 дизель. Руководство по ремонту, электросхемы - инструкция по эксплуатации, руководство по техническому обслуживанию. – М.: Третий Рим, 2013. – 268 с.
2. КАМАЗ – руководство по ремонту и техническому обслуживанию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kamazkamaz.kz/media/book/Kamaz-rukovodstvo-2>
3. Автомобили КАМАЗ. Модели с колесной формулой 6х4 и 6х6. Руководство по эксплуатации, ремонту и техобслуживанию. – М.: РусьАвтокнига, 2004. – 314 с.
4. Руководство по ремонту КамАЗ 5320-54115 с двигателем 10852 см<sup>3</sup> [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krutilvertel.com/catalogue/kamaz/ebook-kamaz-740>
5. Руководство по ремонту и эксплуатации автомобилей КАМАЗ 4350, 43501, 5350, 53501, 53504, 6350, 63501 и 6450 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://avtoalfa.com/netcat\\_files/3387/7498/tehlichesкое\\_rukovodstvo\\_kamaz\\_4350\\_43501\\_5350\\_53501\\_53504\\_6350\\_63501\\_6450.pdf](https://avtoalfa.com/netcat_files/3387/7498/tehlichesкое_rukovodstvo_kamaz_4350_43501_5350_53501_53504_6350_63501_6450.pdf)
6. Карагодин В. И. Автомобили КамАЗ: устройство, техническое обслуживание и ремонт / В. И. Карагодин, Д. В. Карагодин. – М.: Транспорт, 2001. – 342 с.
7. Гальмівні системи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.npi-tu.ru/sveden/files/230301-OBД\\_MO-7.pdf](https://www.npi-tu.ru/sveden/files/230301-OBД_MO-7.pdf)
8. Гальмівна система автомобілів КамАЗ – частина 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://zinref.ru/avtomobili/Kamaz/002\\_00\\_avtomobili\\_Kamaz\\_rukovodstvo/088.htm](https://zinref.ru/avtomobili/Kamaz/002_00_avtomobili_Kamaz_rukovodstvo/088.htm)
9. Устройства привода тормозов прицепного состава [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.npi-tu.ru/sveden/files/230301-OBД\\_MO-7.pdf](https://www.npi-tu.ru/sveden/files/230301-OBД_MO-7.pdf)
10. Енергоакумулятори: призначення, принцип роботи та установка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pragmatec.com.ua/ru/blog/jenergoakkumuljatory-naznachenie-princip-raboty-i-ustanovka.html>
11. Будова енергоакумулятора КамАЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gruzovik.biz/articles/ustroystvo-energoakkumulyatora-kamaz>
12. Керівництво з ремонту й експлуатації автомобілів КамАЗ 4350, 43501, 5350, 53501, 53504, 6350, 63501 и 6450 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://avtoalfa.com/netcat\\_files/3387/7498/tehlichesкое\\_rukovodstvo\\_kamaz\\_4350\\_43501\\_5350\\_53501\\_53504\\_6350\\_63501\\_6450.pdf](https://avtoalfa.com/netcat_files/3387/7498/tehlichesкое_rukovodstvo_kamaz_4350_43501_5350_53501_53504_6350_63501_6450.pdf)
13. Демкин В. В. Автобус ЛиАЗ-5256 и его модификации. Руководство по эксплуатации / В. В. Демкин, А. П. Дремкин, К. И. Зацепилов. – М.: Атласы автомобилей, 2001. – 512 с.
14. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Підручник. – К.: Знання, 2004. – 478 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://drive.google.com/file/d/0B0fidxPaDfCPZjFtME04WlY1N2s/view?resourcekey=0-QhubH90e3ID-pM-PdAWyQw>

15. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Технологія. Підручник / О. А. Лудченко. – К.: Вища шк., 2007. – 527с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uareferats.com/index.php/book/download/322>
16. Строков А. П. Технічне обслуговування і ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник. 2 кн. / А. П. Строков. – К.: Грамота, 2005. Кн. 1. Основи будови та експлуатації автопоїздів. – 352 с.
17. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник / В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик. — К.: Либідь, 2006. – 400 с.
18. Коваленко В. М. Діагностика технологія ремонту автомобілів : підруч. / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. — Київ: Літера ЛТД, 2017. — 224 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[https://drive.google.com/file/d/1qnMUtfwezPAuFDAGwXQjIGNz7\\_wP0e40/view](https://drive.google.com/file/d/1qnMUtfwezPAuFDAGwXQjIGNz7_wP0e40/view)
19. Формальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мاستикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник / За загальною ред. Є. Ю. Формальчик. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.
20. Сідашенко О. І. Ремонт машин та обладнання / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло, З. В. Ружилю – Харків: Міськдрок. 2010. – 332 с.
21. Хітров І. О. Ремонт машин і обладнання: Навч. посібник / І. О. Хітров, В. С. Гавриш. – Рівне: НУВГП, 2012. – 184 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://ep3.nuwm.edu.ua/2214/1/721022%20zah.pdf>
22. Федотов А. В. Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств. Учеб. пособие / А. В. Федотов. – М.: Высш. шк., 1990. – 185 с.
23. Ремонт энергоаккумулятора автомобиля КамАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://star-avto.com/2016/03/09/remont\\_yenergoakkumulyatorov\\_avtomobileiy\\_kamaz.html](http://star-avto.com/2016/03/09/remont_yenergoakkumulyatorov_avtomobileiy_kamaz.html)
24. Метод скінченних елементів [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\\_скінченних\\_елементів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_елементів)
25. Потеря устойчивости элементов конструкций [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mash-xxl.info/info/339747/>
26. Сталь електротехнічна нелегована 10864 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=959](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=959)
27. Будова гальмівної системи з пневматичним приводом [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
[https://studwood.ru/2169715/tehnika/budova\\_galmivnoyi\\_sistemi\\_pnevmatichnim\\_privodom](https://studwood.ru/2169715/tehnika/budova_galmivnoyi_sistemi_pnevmatichnim_privodom)

28. Гальмівні системи автобусів ЛиАЗ-677, ЛАЗ-695Н [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://transportvl.ru/avtotransport/tormoznaya-sistema-liaz-5256.html>

## **Додатки**

**Наукові праці**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Державний заклад  
«ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені К. Д. Ушинського»  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені І. І. Мечникова

СІМНАДЦЯТА ВСЕУКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ  
СТУДЕНТІВ І МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

**ІНФОРМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНІ  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ 100-РІЧЧЮ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО  
ФАКУЛЬТЕТУ УНІВЕРСИТЕТУ УШИНСЬКОГО

**ПРОГРАМА**

24 квітня 2020 р.

Одеса – 2020

**СЕКЦІЯ 2 – Сучасні інформаційні технології**

Головуючі:	д. т. н., професор	Малахов Євгеній Валерійович
	д. т. н., професор	Гунченко Юрій Олександрович
	к. ф. - м. н., доцент	Петрушина Тетяна Іванівна
	к. т. н., доцент	Волошук Людмила Арнольдівна
Секретар:	ст. викладач	Розновець Ольга Ігорівна
Місце проведення:	ОНУ імені І. І. Мечникова	

17.	ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЯГИ ЗНІМАЧА ПІДШИПНИКІВ Рудик О. Ю., Каплун П. В., Жарюк О. Я.
-----	---

Державний заклад  
«ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені К. Д. УШІНСЬКОГО»



ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА

СІМНАДЦЯТА ВСЕУКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ  
СТУДЕНТІВ І МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

**ІНФОРМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНІ  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ 100-РІЧЧЮ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО  
ФАКУЛЬТЕТУ УНІВЕРСИТЕТУ УШІНСЬКОГО

24 квітня 2020 р.

Одеса – 2020

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЯГИ ЗНІМАЧА ПІДШИПНИКІВ

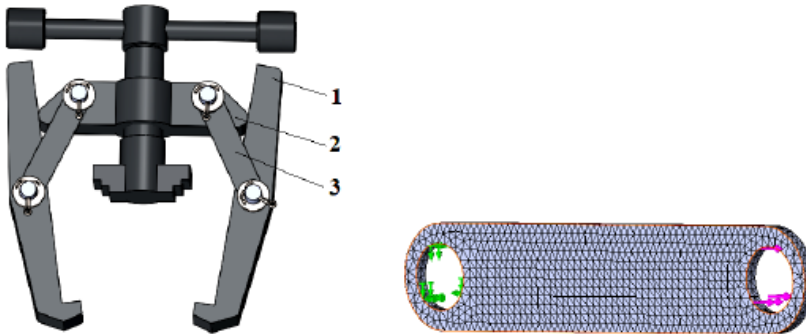
Рудик О. Ю., Каплун П. В., Жарюк О. Я.

Хмельницький національний університет

Інформатизація освіти, обумовлена глобальними змінами й, у першу чергу, зародженням і розвитком інформаційного суспільства, дозволяє розв'язати головне завдання – підвищення якості освіти на основі використання сучасних інформаційних технологій.

У наш час чітко позначилася тенденція групування інструментів геометричного моделювання й розрахункових програм в інтегровані системи. Процес інтеграції настільки стрімкий, що на ринку залишилися лічені одиниці розрахункових програм, які не мали б у більшому або меншому ступені адаптованого варіанта, який функціонує як додаток SolidWorks або інша CAD-система [1].

Прикладом застосування SolidWorks для розрахунків може бути дослідження працездатності найбільш навантажених деталей знімача підшипників – скоби (поз. 1 на рис. 1, а – [2]) і гайки (поз. 2 на рис. 1, а – [3]). Встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності скоби  $n_{min} = 9.84$ , а гайки –  $n_{min} = 4.44$  що більше допустимого  $[n_{min}] = 3$ , тобто розрахунки гарантують статичну міцність цих деталей.



а

б

Рис. 1. 3D-модель знімача підшипників (а) і відображення сітки на твердому тілі тяги (б)

Але знімач підшипників може вийти з ладу через недостатню міцність інших його деталей, наприклад, тяги (поз. 3 на рис. 1, а), виготовленої зі сталі 45. Тому за допомогою додатка SolidWorks – SolidWorks Simulation проведени відповідні [1] розрахунки (рис. 1, б), згідно яким встановлений мінімальний коефіцієнт запасу міцності тяги  $n_{min} = 2.78$ , що менше допустимого. Тобто техніка безпеки при розбиральних роботах за допомогою сконструйованого знімача підшипників не забезпечується. Тому потрібно вибрати оптимальний варіант з наступних: 1 – замінити матеріал тяги на міцніший (леговану сталь); 2 – застосувати для даного матеріалу термічну (хіміко-термічну) обробку; 3 – змінити розміри деталі. Так як збільшення товщини тяги з 2 до 3 мм не призводить до суттєвої зміни розмірів інших деталей знімача, то проводились повторні розрахунки тяги. Їх результати наведено на рис. 2.

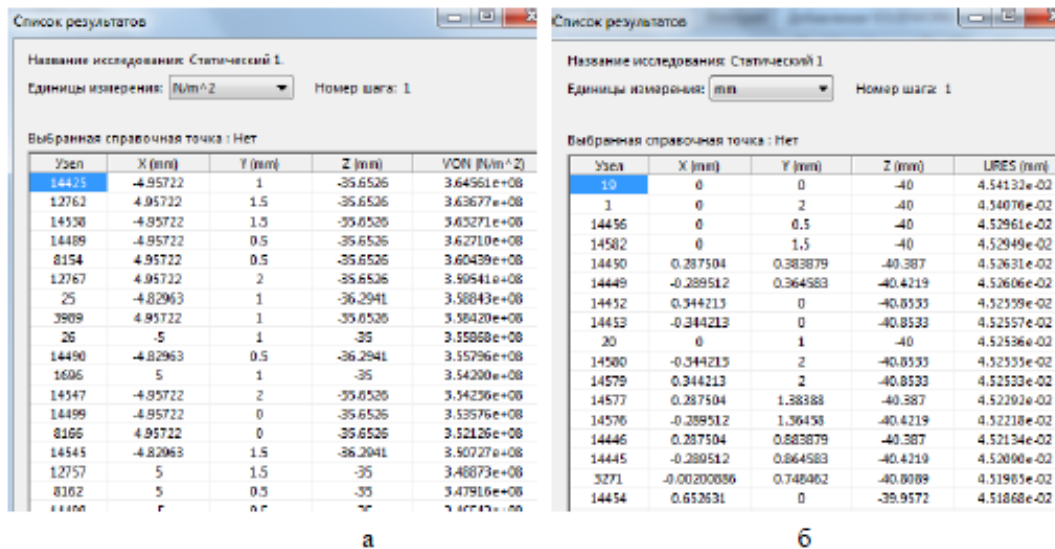


Рис. 2. Список напружень (а) і переміщень (б) при повторному статичному розрахунку тяги

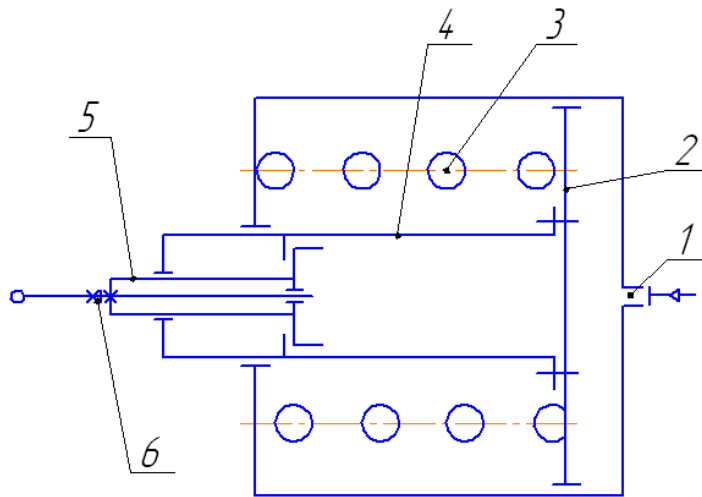
Отриманий мінімальний коефіцієнт запасу міцності тяги  $n_{min} = 3.32$ , що гарантує працездатність знімача підшипників і виправдує застосування інформаційних технологій у дослідженнях працездатності пристосувань для ремонту автомобільної техніки.

**Література**

1. Рудик О. Ю. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, П. В. Каплун. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>
2. Колісник В. В. Дослідження працездатності знімача підшипників / В. В. Колісник, Р. В. Рачок, О. Ю. Рудик. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8401>
3. Рудик О. Ю. Дослідження працездатності гайки знімача підшипників / О. Ю. Рудик, Р. А. Пугач // «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку»: Всеукраїнська науково-практична Internet-конференція, 16-22 березня 2020 р. – Черкаси: ЧНУ. – Режим доступу: <https://conference.ikto.net/private/thesis.cgi?id=41>

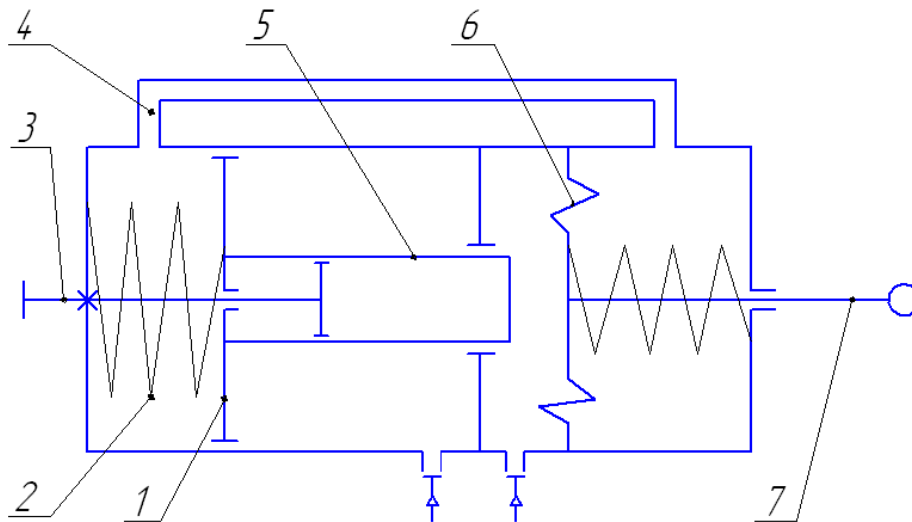
**Графічне забезпечення дипломної роботи**

*Пневматичний енергоакумулятор пружинно-поршневого типу, запропонований А.І.Реполовським, І.Х.Пахтером (Авторське свідоцтво №807882/27)*



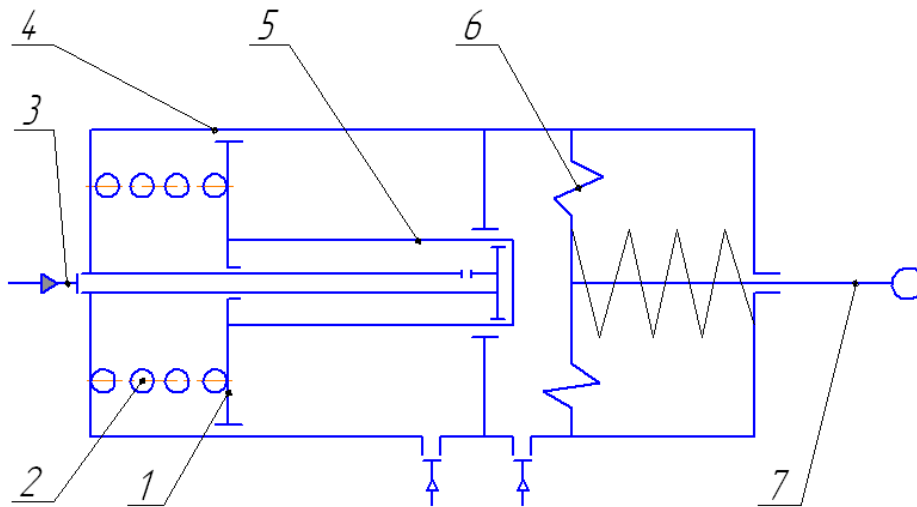
*1 - вхід для підведення стиснутого повітря;  
2 - поршень; 3 - пружина; 4 - шток;  
5 - штовхач; 6 - гайка для розгальмування*

*Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором автомобіля КамАЗ*



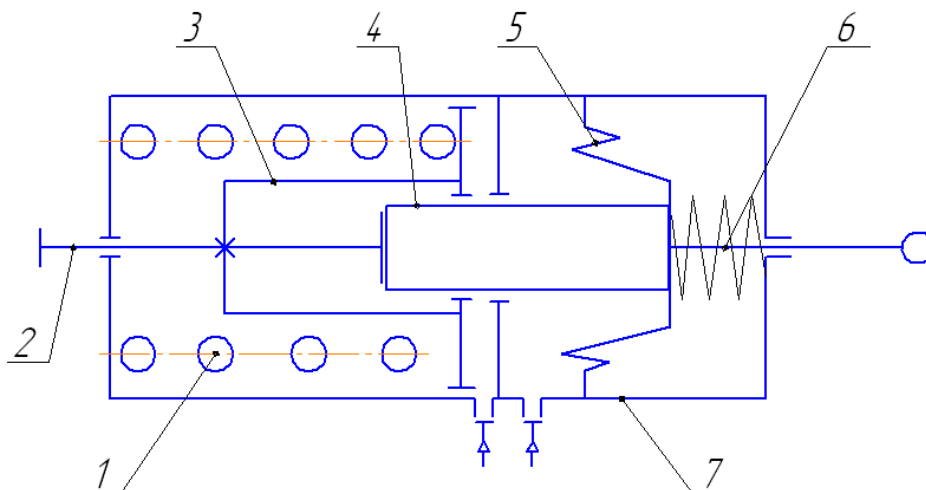
*1 - поршень; 2 - силова пружина; 3 - гвинт механічного розгальмування; 4 - патрубок циліндра; 5 - штовхач; 6 - мембрана; 7 - шток*

Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором і пристроєм гідравлічного розгальмування, запропонована для автобусів та вантажних автомобілів Н.Н.Алекса (Авторське свідоцтво №(21) 3626605/27)



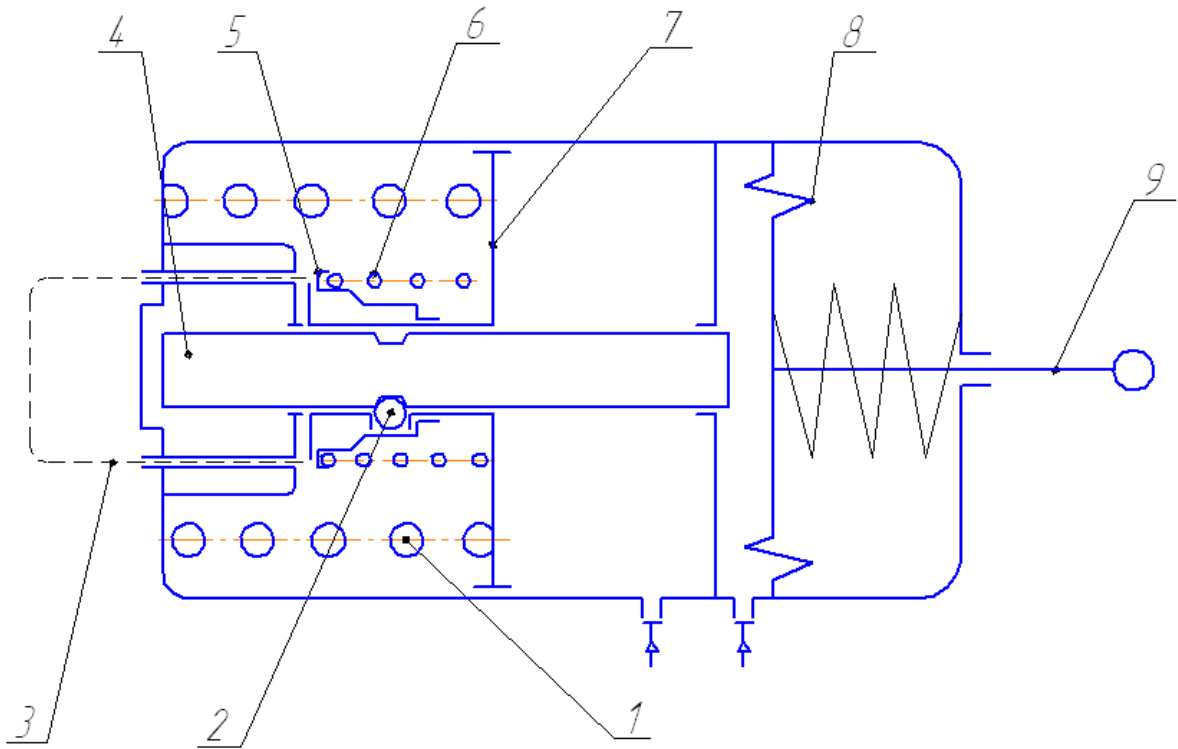
1 - поршень; 2 - силова пружина; 3 - потік з гідропривода; 4 - корпус енергоакумулятора; 5 - штовхач; 6 - мембрана; 7 - шток

Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором з пристроєм механічного розгальмування без деформації пружини, запропонована Антоном Лехнером (Авторське свідоцтво №1599539)



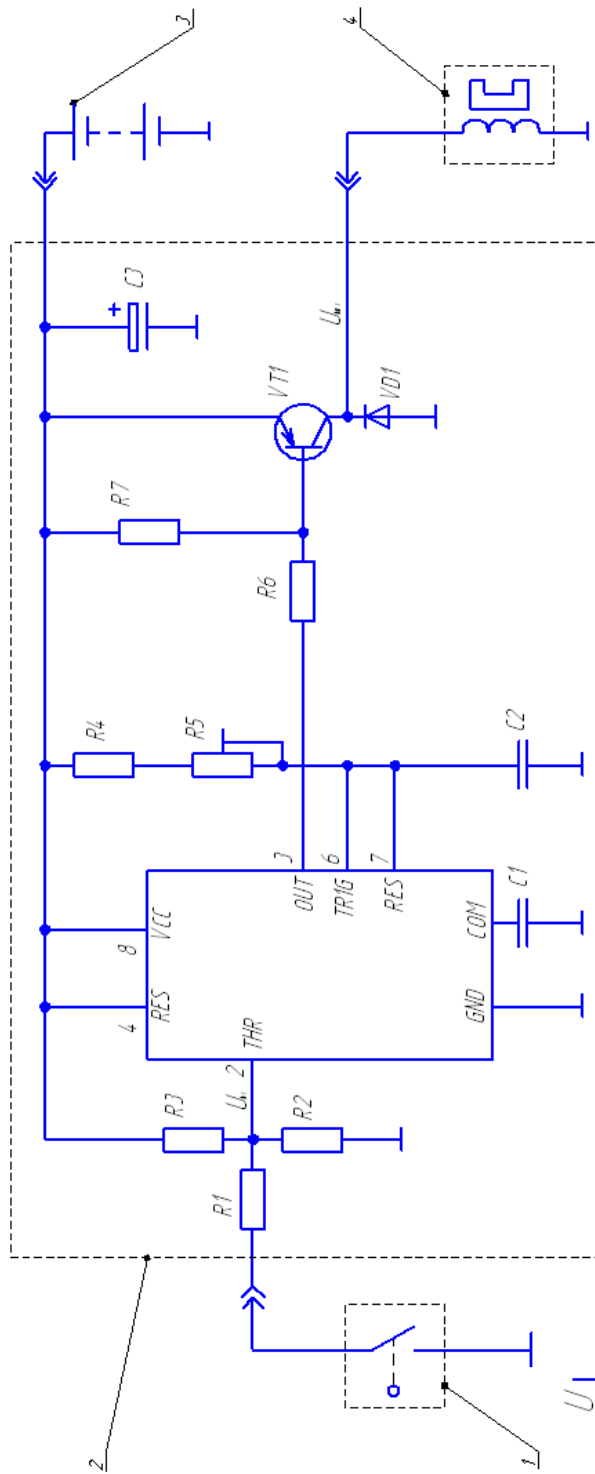
1 - силова пружина; 2 - гвинт механічного розгальмування; 3 - корпус поршня; 4 - штанга поршня; 5 - мембрана; 6 - шток; 7 - корпус

Гальмівна камера з пружинним енергоакумулятором  
типу 12/20 автобуса ЛіАЗ - 5256

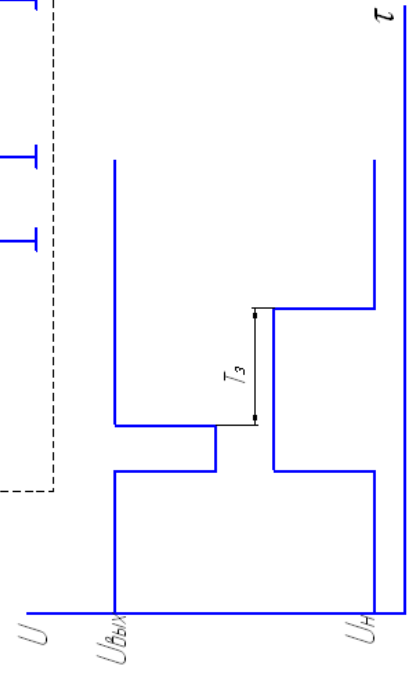


1 - силова пружина; 2 - кулька; 3 - вилка механічного  
розгальмування; 4 - штабхач; 5 - втулка фіксатора;  
6 - пружина фіксатора; 7 - поршень; 8 - діафрагма;  
9 - шток

**Рисунок Б1 –Огляд конструкцій виконавчих гальмівних механізмів (Compas-3D)**

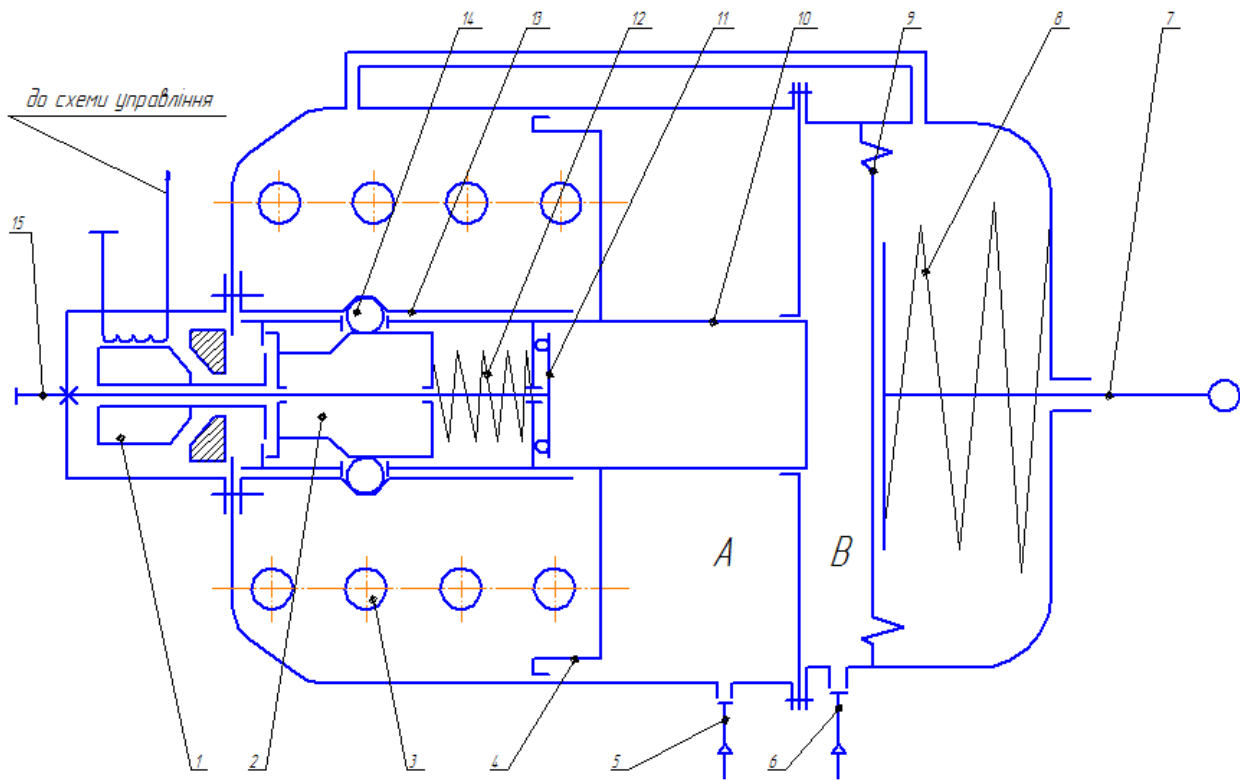


- 1 - датчик управління;
- 2 - схема блоку управління;
- 3 - джерело живлення;
- 4 - електромагніт



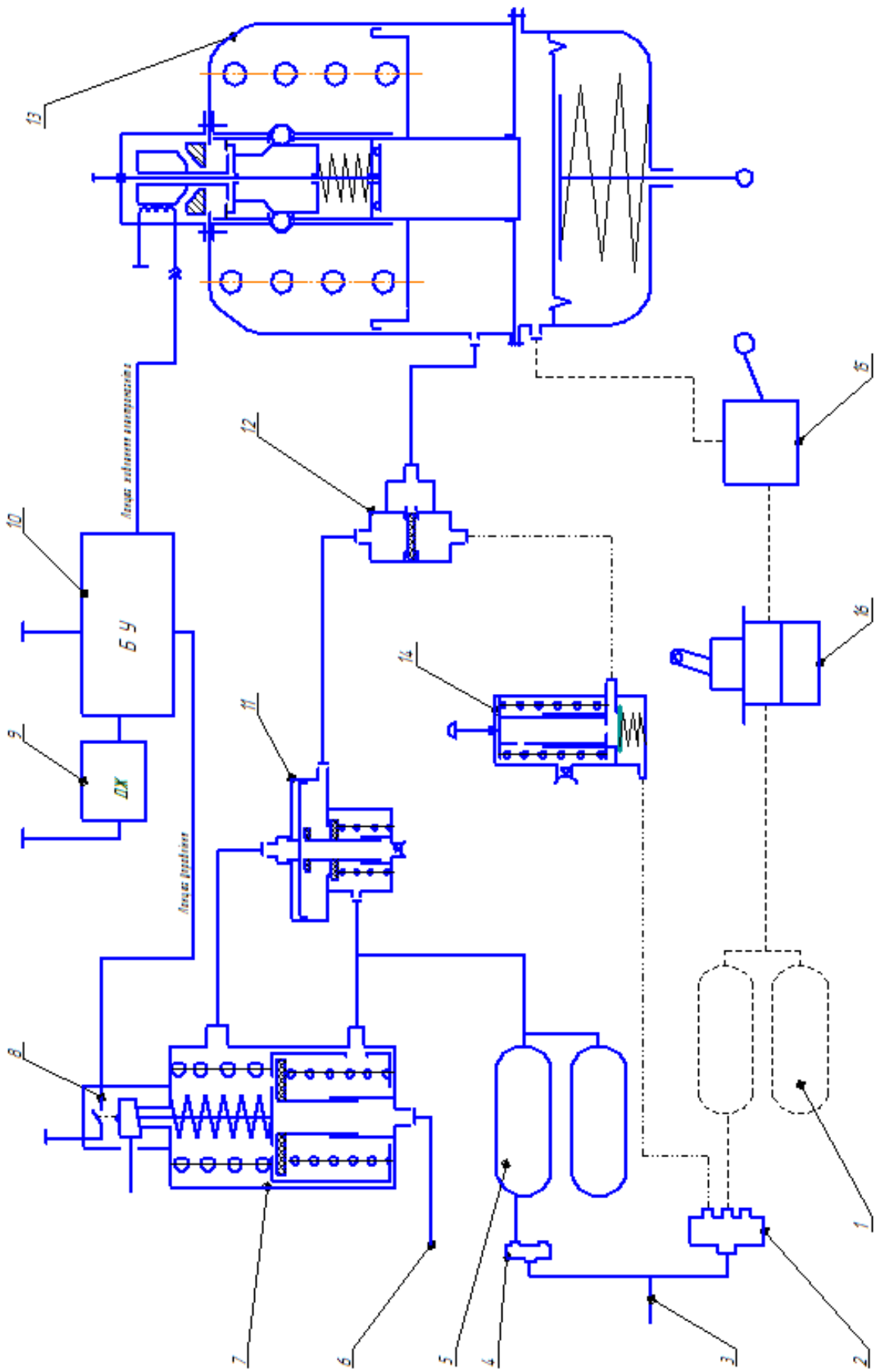
Осцилограми напружень на вході та виході

Рисунок Б2 – Електрична схема управління енергоакумулятором (Compas-3D)



- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1 – електромагніт;                         | 10 – штовхач;                         |
| 2 – золотник фіксатора;                    | 11 – підшипник упорний;               |
| 3 – пружина – енергоаккумулятор;           | 12 – пружина механізму фіксатора;     |
| 4 – поршень енергоаккумулятора;            | 13 – обойма фіксатора;                |
| 5 – потік зі стоянкового контура;          | 14 – кулька фіксатора;                |
| 6 – потік з робочої гальмівної системи; Ч; | 15 – гвинт механічного розгальмування |
| 7 – шток;                                  |                                       |
| 8 – пружина повернення;                    |                                       |
| 9 – діафрагма;                             |                                       |

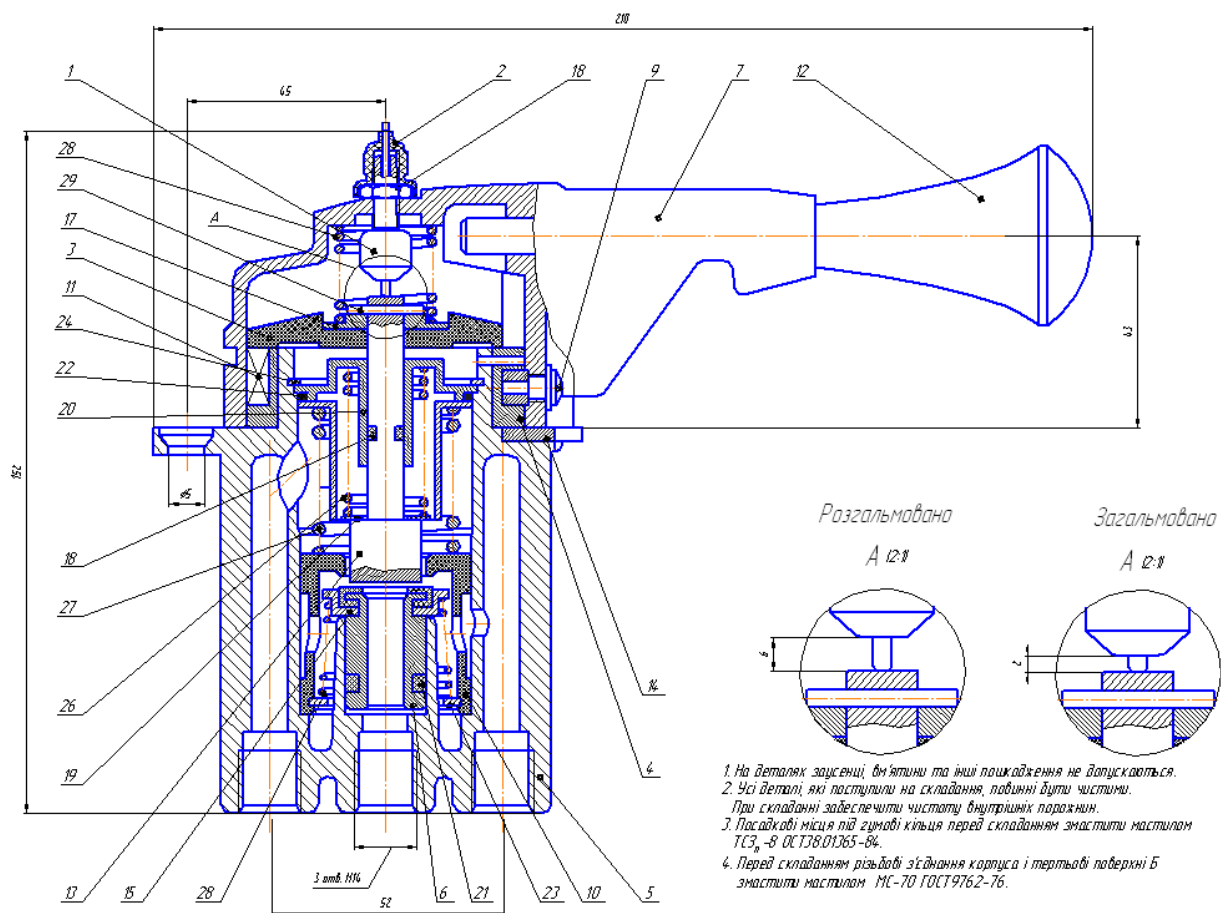
**Рисунок Б3 – Схема розробленого пристрою (Compas-3D)**



- 1 – балони робочого гальмівного контура;
- 2 – потрійний захисний клапан;
- 3 – потік від компресора;
- 4 – подвійний захисний клапан;
- 5 – балони стоянкового та запасного гальмівного контура;
- 6 – атмосферне виведення;
- 7 – ручний кран управління запасним і стоянковим гальмом;
- 8 – датчик управління;

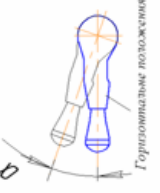
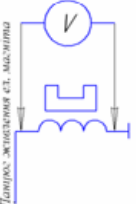

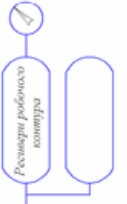
- 9 – джерело живлення;
- 10 – блок управління енергоаккумулятором;
- 11 – прискорювальний клапан;
- 12 – двомагістральний клапан;
- 13 – удосконалений енергоаккумулятор;
- 14 – кран аварійного розгальмування;
- 15 – регулятор гальмівних сил;
- 16 – двосекційний гальмівний кран

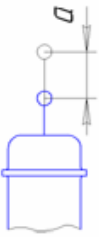
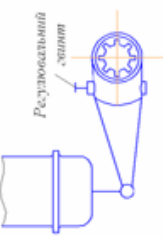
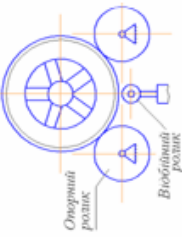
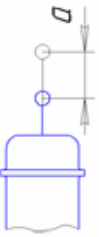
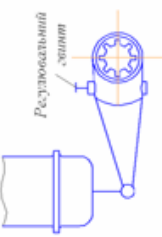
**Рисунок Б4 – Схема управління стоянковим, запасним і робочим гальмівним контуром автомобіля КамАЗ (Compas-3D)**



1 – штовхач; 2 – корпус штовхача; 3 – напрямний ковпачок; 4 – ролик; 5 – корпус; 6 – напрямна; 7 – кришка; 8, 16, 25 – ущільнюючі кільця; 9 – вісь ролика; 10 – слідкуючий поршень; 11 – фігурне кільце; 12 – рукоятка крана; 13 – випускне сидло клапана на штоці; 14 – стопор; 15 – клапан; 17 – опора пружини ковпачка; 18 – гайка штовхача; 19 – шайба пружини штока; 20 – напрямна штока; 21 – манжета напрямної; 22 – манжета напрямної штока; 23 – упорне кільце; 24 – напрямна штока; 26 – пружина штока; 27 – урівноважуюча пружина; 28 – пружина ковпачка; 29 – штифт

**Рисунок Б5 – Кран управління стоянковим гальмом (Comras-3D)**

Найменування операції	Виконувач, його робоче місце	Обладнання, пристосування, інструмент	Трудомісткість, кість, чол.-хв.	Технічні умови та вказівки	Схема проведення випробування
1. Установити автомобіль на піднімач, Заглушити двигун	1/П	Піднімач	1,5	Установити протидікатні утори	
2. Перевірити кут повороту рукоятки крана стоянкового гальма до спрацювання датчика повороту	1/К	Прилад вимірювальний DT-8300	10,5	Величина кута спрацювання датчика повинна бути у межах повороту рукоятки 10-12 ° від горизонтального положення, при необхідності датчик відрегулювати шляхом його повороту	 <p>Горизонтальне положення</p>
3. Перевірити час запізнення відключення напруги живлення енергоаккумулятора	1/К	Прилад вимірювальний DT-8300	8,5	Час запізнення відключення зняття повинен складати 4-5 с після переведення рукоятки крана у вертикальне положення. Регулювання проєкти новоротом резистора у блоці управління	 <p>Датчик живлення ст. машини</p>
4. Перевірити величину вільного ходу педалі гальма	1/П 2/К	Стенд КИ-8925 набір інструментів 2446	2,7	Заїдання педалі не допускється. Вільний хід педалі гальма повинен бути 23-30 мм. При необхідності вільний хід відрегулювати зміною довжини регулювальної тяги	
5. Перевірити тиск повітря у пневмосистемі і надіння тиску при одному натиску на педалі гальма	2/К	Штатний манометр	1,4	Тиск повітря у пневмосистемі гальмівного привода повинен бути у межах 0,5-0,75 МПа. Падіння тиску повітря при одному натиску на педалі гальма не повинно перевищувати 0,07 МПа	 <p>Резервуар робочого контуру</p>

6. Перевірити величину ходу штоків гальмівних камер	1/П 2/К	Лінійка	2,3	<p>Хід штоків гальмівних камер допускється 1,5-2,5 мм</p> 
7. За необхідністю відрегулювати гальма на максимальну одночасність спрацювання	1/П 2/0К	Стенд КИ-8925 набір інструментів 2446	17,5	<p>Зазори між колодками і гальмівними барабанами – 0,4 мм біля розтискного кулака, а біля осей колодок – 0,2 мм. За необхідністю провести регулювання поворотом черв'яка регулювального важеля</p> 
8. Запустити двигун. Установити автомобіль задніми колесами на барабани стенду. Заглушити двигун	1/П 2/К	Стенд КИ-8925	2,5	<p>Колеса не повинні торкатися відбійних роликів</p> 
9. Перевірити гальмівні якості коліс: – силу опору коченню; – гальмівну силу на колесах; – час спрацювання гальм; – деформацію гальмівних барабанів	1/П 2/К 1/А 2/К	Стенд КИ-8925	3,8 4,5 8,4 16,2	<p>Плавним натиском на педаль гальма при тиску повітря у гальмівній системі 0,7 МПа зафіксувати максимальну силу на кожному колесі (не менше 5380 Н). Різниця гальмівних сил коліс не повинна перевищувати 20% від максимального значення гальмівної сили, визначеної на стенді Без натиску на педаль гальма відхилення стрілки приладу від початкової відмітки не повинна перевищувати 5 поділок</p>
10. Перевірити величину ходу штоків гальмівних камер	1/0К 2/К	Лінійка	2,3	<p>Хід штоків гальмівних камер допускється 1,5-2,5 мм</p> 
11. Відрегулювати гальма на максимальну силу гальмування та мінімальну нерівномірність спрацювання	1/0К 2/К	Стенд КИ-8925 набір інструментів 2446	17,5	<p>Зазори між колодками і гальмівними барабанами – 0,4 мм біля розтискного кулака, а біля осей колодок – 0,2 мм. За необхідністю провести регулювання поворотом черв'яка регулювального важеля</p> 

Найменування операції	Виконує: свч, й.о.о робоче місце	Обладнання, приспосабування, інструменти	Трудо- міст- кість, чол.-хв.	Технічні умови та вказівки	Схеми проседення випробування
12. Переірити дію стоянкового гальма й сумарну гальмівну силу на колесах заднього моста	1/П 2/К	Стенд КУ-8925 набір інструментів 2446	10,2	При плавному відведенні вазжеля привода ручного гальма сумарна гальмівна сила на колесах повинна бути не менше 8160 Н	
13. Заповнити діагностичну карту	1/П			Заповнюється у процесі діагностування	

Примітки. \*Виконувачі: 1 – майстер-діагност, 2 – слюсар.

\*\*Робочі місця виконувачів: П – пульт управління стендом;

К – кабіна діагностованого автомобіля;

ОК – оглядова канава поста діагностування;

Д – двигун автомобіля;

А – біла автомобіля в робочій зоні поста

**Рисунок Б6 – Організація технічного обслуговування гальмівного пневмопривода автомобілів сімейства КамАЗ**

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

<i>Найменування показників</i>	<i>Значення</i>	
	<i>для одного автомобіля</i>	<i>для парку автомобілів</i>
<i>1. Затрати на удосконалення конструкції енергоаккумулятора, грн.</i>	<i>1164</i>	<i>79152</i>
<i>2. Зниження річної потреби палива, кг:</i>	<i>23</i>	<i>1564</i>
<i>3. Річна економія засобів за рахунок, грн.:</i> <i>- зниження витрати палива;</i> <i>- зменшення простоїв через відмову компресорів та енергоаккумуляторів</i>	<i>345,6</i>	<i>23500,8</i>
	<i>63,5</i>	<i>4320</i>
<i>4. Термін окупності капіталовкладень, роки</i>	<i>2,6</i>	

**Рисунок Б7 – Показники економічної ефективності проекту (Compas-3D)**