

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства


ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт
Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

на тему: «Розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування автомобіля з підсилювачем»

Шифр: ДРАТТАМ 23.20111.000. ПЗ

Виконав студент 3 курсу, група АТс -20-2  Дмитро ОНІЩУК

Керівник роботи к.т.н., доц.  Олег БАБАК

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ  Олександр ДИХА
9 06 2023 р.

Хмельницький, 2023 р.

РЕФЕРАТ

У рамках випускної кваліфікаційної роботи бакалавра запропонована розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем.

Грунтуючись на великому переліку літературних джерел, а також на проведеному аналізі вітчизняного та закордонного ринків, що існують патентів і корисних моделей, автором роботи була спроектована конструкція стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем.

У графічному середовищі Solidworks була змодельовано 3D модель стенда. Складальні креслення конструкції виконані в графічному редакторі Компас-3D.

Випускна робота бакалавра (ВРБ) складається із чотирьох розділів.

У першому розділі розглянуті конструкції підсилювачів рульового керування.

У другому розділі запропоноване технічне завдання, технічна пропозиція на розроблювальну конструкцію.

У третьому розділі розглянуті конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування, визначені параметри для оцінки експлуатаційних характеристик гідро підсилювача керма (ГПК) і розроблені методичні вказівки по виконанню робіт на стенді.

У четвертому розділі наведений розрахунок економічної ефективності проєктованої конструкції.

Випускна кваліфікаційна робота складається з 52 сторінок, і містить у собі 24 ілюстрації, 3 таблиці, 20 джерел, 1 додаток.

Ключеві слова: РУЛЬКЕ КЕРУВАННЯ, ПІДСИЛЮВАЧ КЕРМА,
ДОСЛІДНА УСТАНОВКА, ЕКСПЛУАТА

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 Автомобільний транспорт

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Світньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф. д.т.н. Духа О.В.

7 червня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Онцанку Дмитру Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по-батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

«Розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування автомобіля з підсилювачем»

керівник проекту (роботи) Бабах Олег Петрович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом університету від 01 червня 2023р. № 26(5)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніка – економічні показники роботи підприємства.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз стану питання; 2 Розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем; 3 Технологічний процес; 4 Розрахунок ефективності спроектованої конструкції

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

ту повноти щодо роботи, генерованого
кості:

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

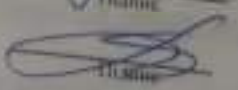
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Прим. |
|-------|---|---|-------|
| 1 | <i>Літературний огляд</i> | <i>15.05.2023</i> | |
| 2 | <i>Технологічний розділ</i> | <i>25.05.2023</i> | |
| 3 | <i>Конструкторський розділ</i> | <i>30.05.2023</i> | |
| 4 | <i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i> | <i>2.06.2023</i> | |
| 5 | <i>Оформлення презентації бакалаврської роботи</i> | <i>5.06.2023</i> | |
| 6 | <i>Нормоконтроль магістерської роботи</i> | <i>9.06.2023</i> | |
| 7 | <i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i> | <i>10.06.2023</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Дмитру ОНІЩУК
Ініціал, прізвище

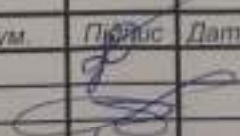
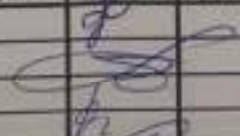
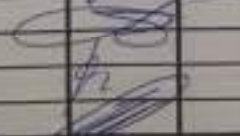
Олег БАБАК
Ініціал, прізвище

З
Р
Л
Р
Н
З

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ..... | 7 |
| 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ З ПІДСИЛЮВАЧЕМ..... | 13 |
| 2.1 Технічне завдання на проектування стенда..... | 13 |
| 2.2 Технічна пропозиція..... | 15 |
| 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС..... | 30 |
| 3.1 Конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування..... | 30 |
| 3.2 Оцінка експлуатаційних характеристик ГПК..... | 36 |
| 3.3 Методичні вказівки по виконанню робіт на стенді..... | 39 |
| 4 РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ СПРОЕКТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ..... | 42 |
| 4.1 Визначення собівартості виготовлення..... | 42 |
| 4.2 Визначення витрат на заробітну плату..... | 44 |
| 4.3 Визначення витрат на утримання й експлуатацію устаткування..... | 45 |
| 4.4 Визначення загальних витрат на виготовлення конструкції..... | 48 |
| ВИСНОВОК..... | 49 |
| СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 50 |
| ДОДАТКИ..... | 52 |

ДРАТТАМ 23.20111.000 ПЗ

| Змн | Арк | № докум. | Підпис | Дат | | | | |
|-----------|-----|----------|---|-----|--|---------------------------|-----|---------|
| Розроб | | Оніщук |  | | <i>Розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування автомобіля з підсилювачем</i> | Літ | Арк | Аркушів |
| Перевір | | Бабак |  | | | | 4 | 52 |
| Реценз. | | | | | | ХНУ група АТс 20-2 | | |
| Н. Контр. | | Рудик |  | | | | | |
| Затверд. | | Діха | | | | | | |

умови, що ускладнюють поворот коліс. Сучасні ГПК забезпечують зниження коефіцієнта підсилення моменту в міру підвищення швидкості руху автомобіля, при цьому в міру підвищення швидкості кермо стає «важче», що позитивно позначається на безпеці автомобіля.

Конструкції ГПК досить різноманітні і, насамперед, відрізняються компонуванням його елементів:

–роздільне розміщення кермового механізму (КМ), розподільника (Р) і силового циліндра (СЦ);

–розміщення в одному блоці КМ, Р и СЦ;

–розміщення в одному блоці КМ, Р и окремо виконаний СЦ;

–окремо виконаний КМ і в єдиному блоці Р и СЦ.

Електрогідравлічні підсилювачі керма (ЕГПК) мають привод насоса від електромотора. У цьому випадку виключається пасова передача не дуже надійна і потребує контролю та регулювань. Автоматичне включення електромотора тільки при виникненні необхідності посилення моменту на кермовому колесі дозволяє заощаджувати затрачувану на привод насоса енергію і підвищує паливну економічність автомобіля.

В електричних підсилювачах керма (ЕПК) силовим елементом є електродвигун, керований мікропроцесорною схемою на основі сигналів від датчиків кута повороту керма і моменту опору його повороту, а також частоти обертання колінвала двигуна і швидкості руху автомобіля.

Електропідсилювач керма має ряд переваг у порівнянні з ГПК: зручність регулювання характеристик рульового керування; інформативність рульового керування; висока надійність конструкції через відсутність гідравлічної системи; економія палива (зниження витрати палива до 0,5 л. на 100 км).

Виділяють дві основні схеми компонування електропідсилювача рульового керування:

- зусилля електричного двигуна передається на вал кермового колеса;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | | | | |

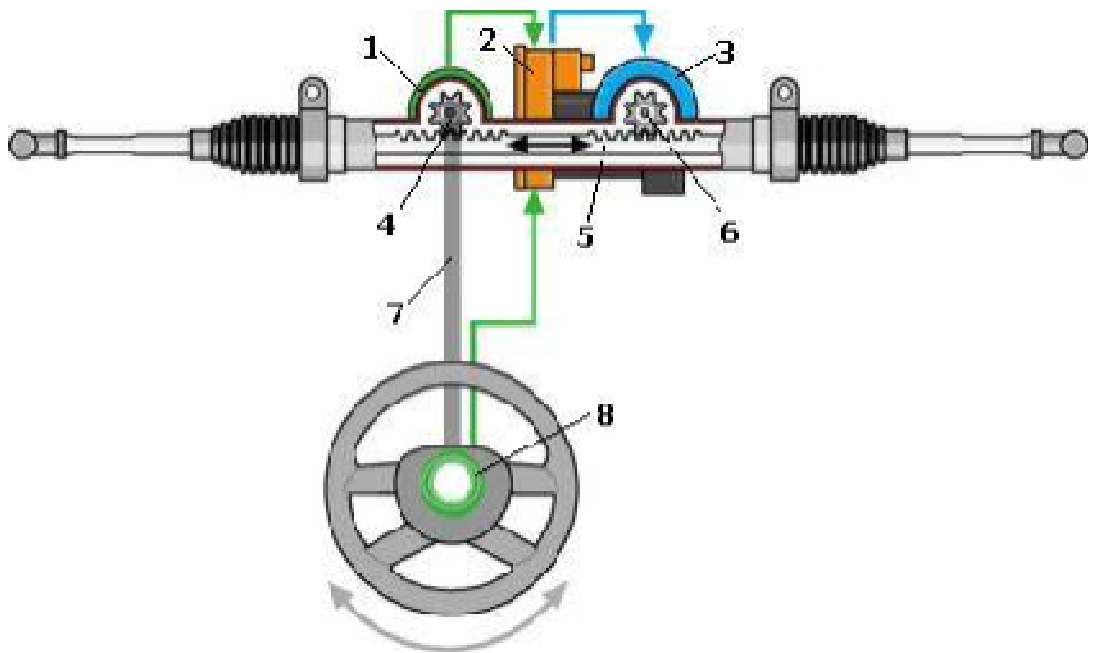
- зусилля електричного двигуна передається на рейку кермового механізму.

Найбільш затребуваний електропідсилювач із приводом на кермову рейку електромеханічний підсилювач рульового керування.

Відомими конструкціями такого підсилювача є:

електромеханічний підсилювач керма із двома шестірнями (рис.1.1);

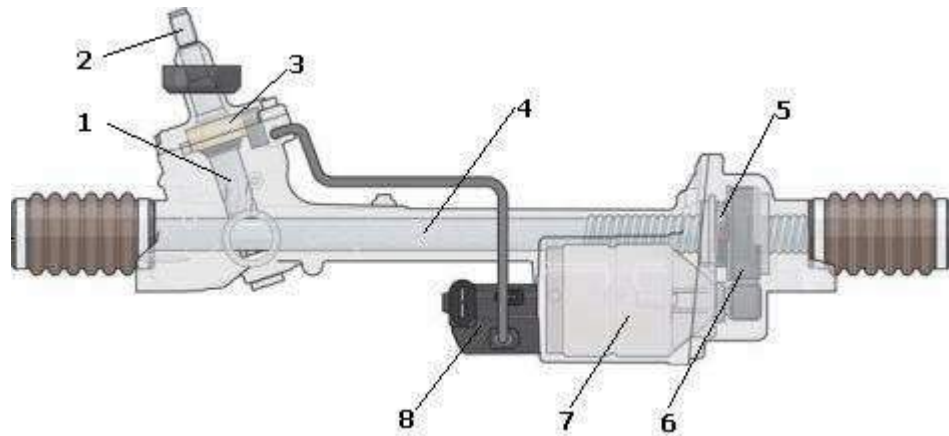
електромеханічний підсилювач керма з паралельним приводом (рис. 1.2).



1 – корпус рейкового КМ; 2 – електронний блок; 3 – електродвигун; 4 – шестірня підсилювача; 5 – рейка; 6 – шестірня кермового механізму; 7 – вал керма; 8 – датчики моменту і кута повороту керма

Рисунок 1.1 – Схема ЕПК із двома шестірнями

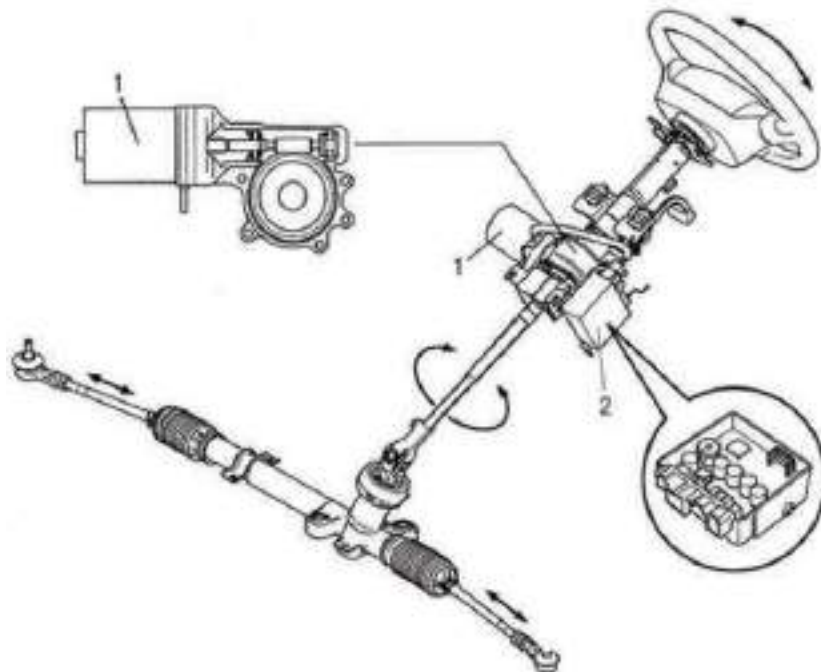
| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |



1 – вал із шестірнею КМ; 2 – вал керма; 3 – датчики моменту і кута повороту; 4 – рейка КМ; 5 – гайка на циркулюючих кульках; 6 – передача ремінна; 7 – електричний двигун; 8 – електронний блок керування

Рисунок 1.2 – Схема ЕПК з паралельним приводом

Електропідсилювач часто розташовують на валу керма (рис. 1.3, 1.4), що дозволяє використовувати звичайний кермовий механізм.



1 – електродвигун із черв'ячним механізмом; 2 – електронний блок

Рисунок 1.3 – Варіант компонування ЕПК на валу керма

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

створюється крутний момент, необхідний для повернення коліс у середнє положення після здійснення повороту;

– забезпечення середнього положення коліс автомобіля - у цьому режимі роботи електронним блоком керування подаються відповідні сигнали, що перешкоджають відхиленню коліс від прямолінійного положення при впливі на автомобіль таких факторів, як бічний вітер, різниця тиску в шинах і т.д. Тобто система робить коректування положення коліс, і як наслідок, траєкторії руху автомобіля.

Відмінність режимів роботи ЕПК обумовлене різною комбінацією сигналів датчиків. Наприклад, при повороті автомобіля на електронний блок надходять сигнали з датчиків крутного моменту і кута повороту керма, а в режимі забезпечення середнього положення коліс – тільки з датчика моменту, оскільки кермо при прямолінійному русі автомобіля не повертається.

Рульове керування відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки автомобіля, тому необхідно мати чітку уяву про вплив експлуатаційних характеристик рульового керування на експлуатаційні властивості автомобіля і розуміти залежності цих характеристик від конструктивних особливостей рульового керування. При наявності в конструкції рульового керування підсилювача потрібно володіти методами контролю його технічного стану, що забезпечує своєчасне попередження і усунення відмов, і безаварійну роботу автомобіля.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 12 |

На першому етапі конструювання стенда необхідно виконати вибір гідравлічного підсилювача по наступних основних критеріях: низька ціна і прийнятна якість.

При проведенні аналізу вітчизняного і закордонного ринків було знайдено два гідравлічні підсилювачі різних марок:

гідропідсилювач рульового керування фірми ZTF (країна виробництва Німеччина) (рис.2.2);

гідропідсилювач рульового керування фірми ABRO (країна виробництва США) (рис.2.3).

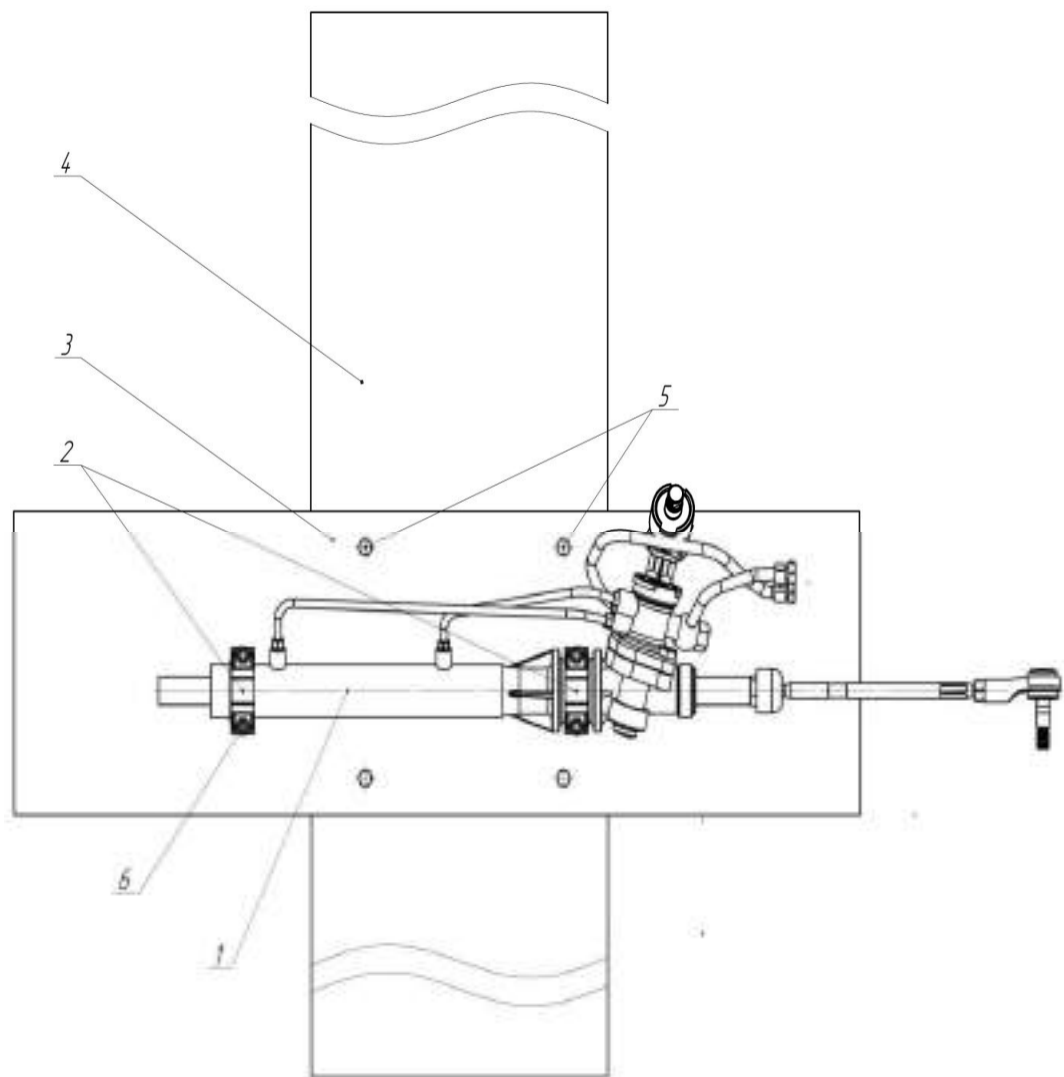
Рисунок 2.2 – Гідропідсилювач виробництва ZTF

Рисунок 2.3– Гідропідсилювач виробництва ABRO

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 18 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Вибираємо гідропідсилювач рульового керування виробництва ZTF за оптимальну ціну, високу якість складання і гарні відкликання серед покупців.

На наступному етапі необхідно визначитися з місцем і способом кріплення гідропідсилювача. Гідропідсилювач буде кріпитися на металевий лист із розмірами 910x250x5 за допомогою скоб, що входять у комплект поставки з гідропідсилювачем (рис. 2.4). Металевий лист кріпиться на дюбель-цвяхи до колони.



1 – ГПК; 2 – скоба; 3 – лист металевий; 4 – колона; 5 – дюбель-цвях; 6 – гайка кріплення

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

ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ

Арк.

19

Рисунок 2.4 – Кріплення гідروпідсилювача на колоні

На наступному етапі проектування стенда необхідно виконати підбір передньої стійки легкового автомобіля в зборі.

Провівши аналіз вітчизняного і закордонного ринків було знайдено дві телескопічні стійки різних марок з різною якістю і вартістю:

стійка телескопічна передньої підвіски в зборі АСОМИ (рис.2.5);

стійка телескопічна передньої підвіски в зборі SS20 (рис.2.6).

Рисунок 2.5 – Вузол передньої підвіски в зборі АСОМИ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Перевагами є:

- простота конструкції;
- більші крутні моменти;
- малі габарити.

Недоліками є:

- = малі частоти обертання;
- = невисокі величини тиску до 21 МПа.

Відповідно до вимог технічного завдання, вибираємо насос шестеренний НШ-32 (рис.2.11).



Рисунок 2.11 – Насос шестеренний НШ-32

Насос шестеренний НШ-32 призначений для нагнітання робочої гідравлічної рідини в гідравлічних системах тракторів, навантажувачів, автомобілів, сільськогосподарських, комунальних, будівельно-дорожніх і агрегатуємих із двигунами тракторів, машин і ін.

На наступному етапі конструкторської роботи необхідно визначитися з типом передачі. Передачі розрізняють ланцюгові і пасові.

Пасова передача – механізм, що здійснює передачу обертового руху за допомогою ременя, що охоплює закріплені на валах шківи. Приводний пас, будучи проміжним гнучким зв'язком, передає крутний момент із провідного

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 24 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Привод у складі електричного двигуна і гідромотора конструктивно будуть установлені на двотавр №18 довжиною 1000 мм (рис. 2.12).

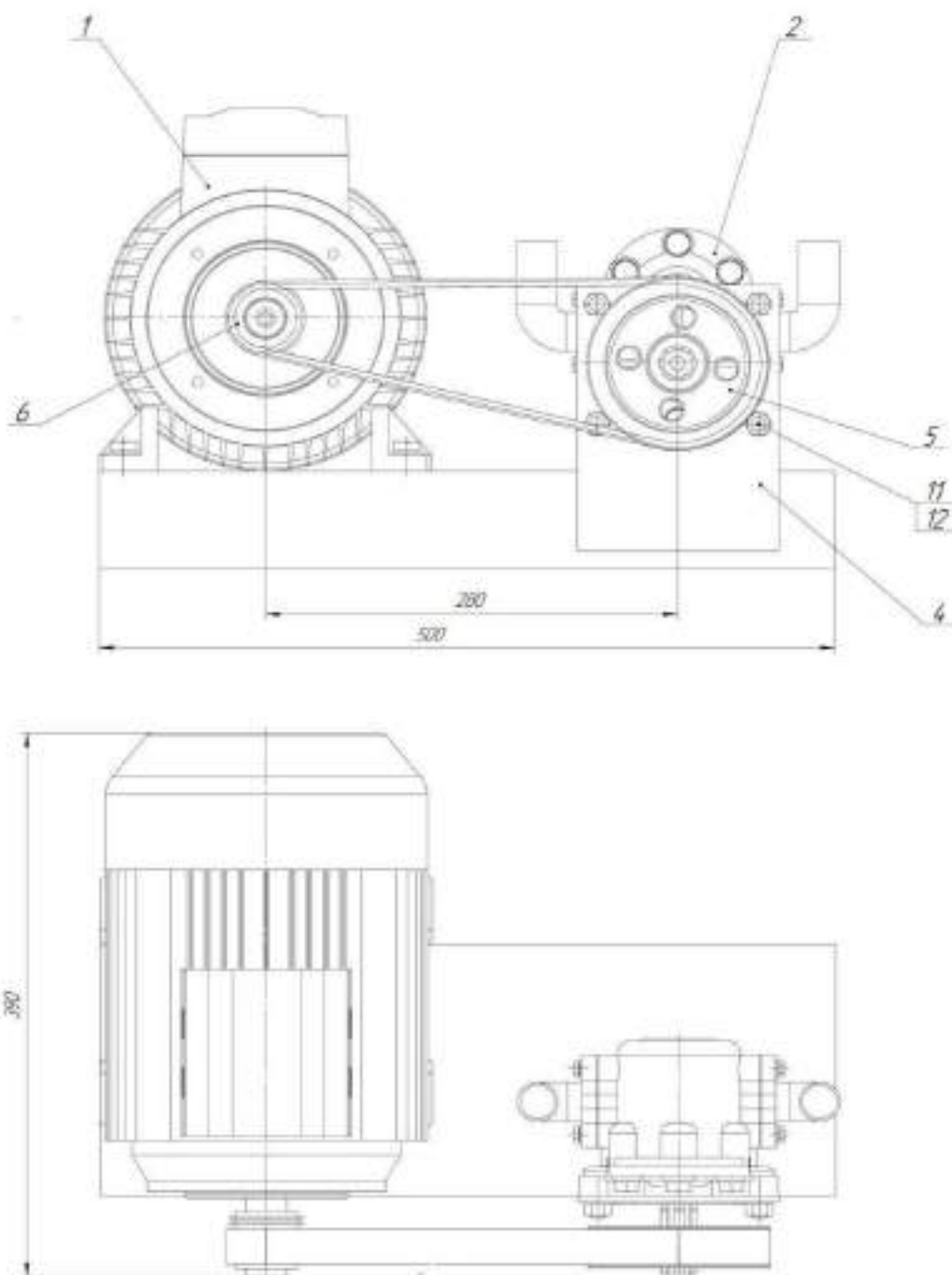


Рисунок 2.12 – Привід у зборі

Наступним етапом буде підбір частотного регулятора.

Частотний перетворювач служить для перетворення мережевого трифазного або однофазного змінного струму частотою 50 (60) Гц у трифазний струм частотою до 400 Гц. Частотні перетворювачі застосовують

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

ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ

Арк.

26

Рисунок 2.14 – Стенд в зборі

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

3.1 Конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування

У роботі пропонується досліджувати гідравлічний підсилювач керма типу «рейка – шестірня» з тангенціальним золотниковим пристроєм. Ця конструкція на даний момент найбільше широко використовується в передньоприводних легкових автомобілях, схематичний пристрій кермового механізму показано на рис. 3.1. Слід мати на увазі, що конструктивне виконання ГПК може бути досить різноманітним, зберігаючи загальні принципи їх роботи. Вид ГПК у розрізі автомобіля Honda показано на рис. 3.2, там же показана шестірня кермового механізму із зовнішньою обоймою золотника і торсіоном, і окремо – тангенціальний золотник.

1 – корпус; 2 – шток-рейка; 3 – шестірня; 4 – кермова тяга; 5 – шліцевий хвостовик тангенціального золотника; 6 – поршень силового циліндра; 7 – ущільнення поршня; 8 – корпус ущільнення штока; 9 – ущільнювальні

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 29 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

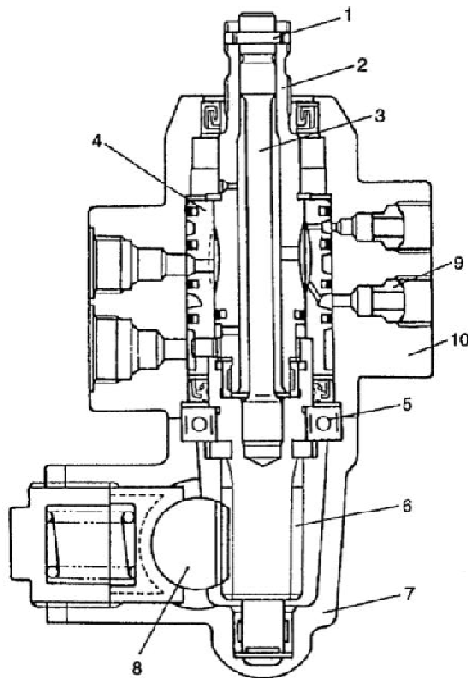
кільця; 10 – стопорне кільце; 11 – втулка; 12 – штуцери сталевих трубок; 13–
ущільнення штока; 14 – гофрований чохол

Рисунок 3.1 – Рейковий кермовий механізм із гідропідсилувачем



Рисунок 3.2 – Гідропідсилувач автомобіля Honda

Взаємодія елементів ГПК можна зрозуміти з рис.3.3.



1 – штифт; 2 – золотник; 3 – торсіон; 4 – обойма золотника; 5 –
підшипник; 6 – шестірня; 7 – корпус кермового механізму; 8 – зубчаста рейка

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

ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ

Арк.

30

і шток гідроциліндра; 9. – конусні вставки кріплення трубок; 10 – корпус розподільника

Рисунок 3.3 – Пристрій ГПК

Штифт 1 замикає золотник 2 з торсіоном 3, пов'язаним із шестірнею кермового механізму 6, що обертається в кульковому підшипнику 5 і роликовому підшипнику, установленому в корпусі кермового механізму 7. Обойма золотника 4 перебуває в циліндричній проточці корпусу 10. На зовнішній поверхні обойми 4 виконано чотири канавки для пропуску масла і чотири канавки під ущільнювальні кільця, що виключають перетікання масла уздовж осі обойми. Канавки для перетікання масла повідомляються з радіальними отворами в корпусі 10, забезпечуючи підведення масла від насоса і злив масла в бачок (на рис.3.3 ліворуч) і подачу масла в порожнині силового циліндра (на рис.3.3 праворуч).

Шестірня 6 перебуває в зачепленні із зубами рейки 8, що є штоком гідроциліндра, яка притискається до шестірні пружиною через опорний черевик. Золотник може провертатися щодо обойми тільки на кут передбаченої максимальної деформації торсіона, після чого за рахунок механічного контакту деталей золотник і обойма починають обертатися як одне ціле (на схемі елементи сполучення не показані). Це необхідно для забезпечення можливості керування автомобілем при непрацюючому ГПК.

На зовнішній поверхні золотника і внутрішньої поверхні обойми виконані поздовжні канавки для перетікання масла. У ситуації, коли водій не повертає кермо і не прикладає зусилля обертання до кермового колеса, торсіон перебуває в ненавантаженому стані і канавки золотника та обойми розташовуються відносно один одного, як це показане на лівій частині рис.3.4.

Масло від насоса через радіальне свердління в корпусі ГПК надходить у канавку на зовнішній поверхні обойми, а з неї через чотири отвори

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | | | | |

необхідність стабілізації продуктивності насоса, точніше - подачі масла до силового циліндра. Це дозволяє стабілізувати роботу ГПК, що підвищує зручність рульового керування і безпека автомобіля.

Принцип регулювання потоків рідини в ГПК пояснюється на рис.3.5. Масло від насоса надходить у порожнину В і через отвір у перегородці перетікає в порожнину А і далі в розподільник, який може перебувати в режимі постійного положення керма та у режимі повороту керма. У режимі постійного положення керма тиск у порожнині А мало, оскільки в розподільнику рідина перетікає через канавки в обоймі та золотнику в бачок. Якщо двигун працює на високих обертах і насос подає багато рідини, тиск у порожнині В перед дроселюючим отвором зростає і пропускний клапан відходить убік деформуємої пружини, відкриваючи щілину для перетікання рідини в бачок.

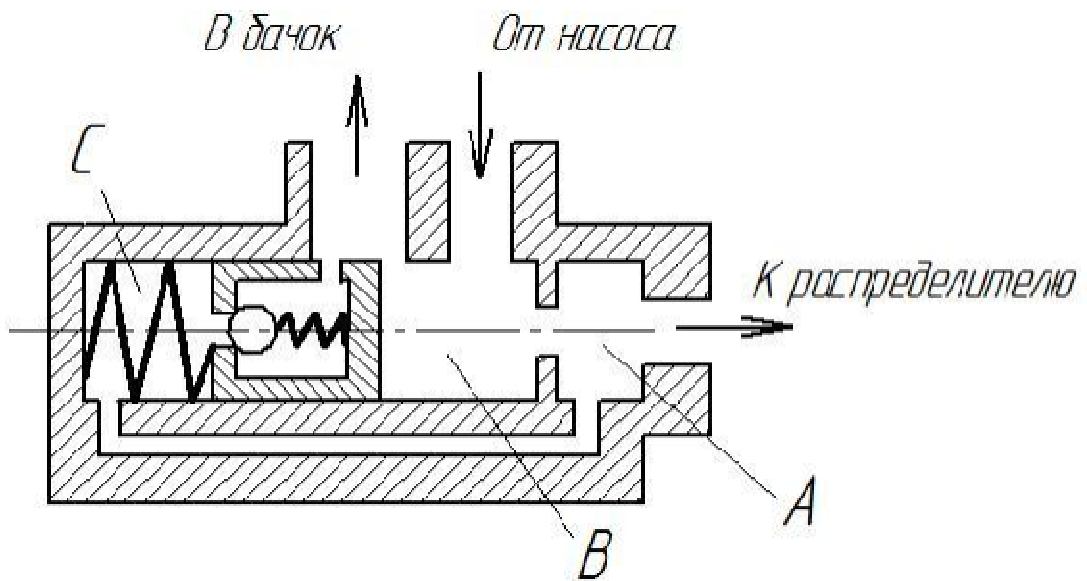


Рисунок 3.5 – Схема регулювання потоку рідини в ГПК

У режимі повороту керма і керованих коліс рідина подається в силовий циліндр, тиск у порожнині А зростає і по каналу передається в порожнину С, пропускний клапан пересувається, утрудняючи перепуск масла в бачок і в такий спосіб забезпечуючи необхідний тиск. При повороті керма на малих обертах двигуна клапан може бути закритий повністю.

порожнину А і до розподільника, зменшується, а це зменшує ефект посилення ГПК, тобто кермо автомобіля на великій швидкості стає «важчим».

Є більш складні конструкції регулюючих пристроїв, що містять плунжери, що автоматично повертають торсіон у протилежному напрямку повороту керма (рис. 3.7). Робота плунжерів управляється електромагнітним клапаном, пов'язаним з електричним спідометром автомобіля.

Рисунок 3.7 – Золотник із плунжерами та електромагнітний клапан ГПК

Насоси з електричним приводом мають незалежну від частоти обертання колінчатого вала двигуна продуктивність і не вимагають регулювання потоку рідини, що подається в ГПК, що забезпечує сталість швидкості виконання повороту керма. Ефект «важкого» керма при високій швидкості автомобіля може досягатися зменшенням частоти обертання вала електродвигуна.

3.2 Оцінка експлуатаційних характеристик ГПК

Ефективність дії ГПК проявляється в його здатності зменшувати прикладене до кермового колеса зусилля $P_{рк}$, що характеризує опір повороту

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | | | | | 35 |

Графік зміни $\rho=f(P_{pk})$ може залежати і від кута повороту кермового колеса, якщо кермовий механізм має змінне передаточне число. У цьому випадку слід проводити випробування ГПК не тільки при положенні керма, відповідному до прямолінійного руху автомобіля, але й інших положеннях.

Чутливість дії підсилювача характеризується кутом повороту кермового колеса, при якому підсилювач включається в роботу. Випробування чутливості можуть бути сполучені з визначенням тиску початку спрацьовування запобіжного клапана в гідравлічній системі ГПК. Результати випробувань представляють графіком наростання тиску до свого граничного значення в порожнинах силового циліндра в міру збільшення кута повороту кермового колеса вправо та уліво при застопореній рейці кермового механізму.

Зусилля прямого і зворотного включення ГПК є експлуатаційною характеристикою, що відбиває зручність і безпека керування автомобілем. Зусилля прямого включення відповідає стану, коли скручування торсіона кермом приводить до підвищення тиску в порожнині силового циліндра. У якості зусилля зворотного включення можна прийняти поздовжню силу T , що діє з боку дороги на кероване колесо, при якому у порожнині силового циліндра почне підвищуватися тиск масла, що нагнітається насосом при нерухливому кермі. При проведенні стендових випробувань ГПК для визначення сили T необхідно знати плече обкатування – відстань від середини плями контакту колеса з дорогою до крапки перетинання осі повороту колеса із площиною дороги.

Величина сили T відбиває здатність ГПК протистояти поштовхам при наїзді колеса на одиничні перешкоди і стійкість автомобіля при аварійному руйнуванні шини.

Маневреність, забезпечувана ГПК, відбиває можливість здійснення швидких поворотів автомобіля, яка прямо залежить від передаточного числа кермового механізму і ефективності підсилювача. Зрозуміло, що для важких

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--------------------------|------|
| | | | | | | ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

використовуючи результати випробування ГПК при відключеному силовому циліндрі розрахувати показник ефективності ГПК і побудувати графік $E_{ГПК} = f(P_{рк})$;

= на цьому ж графіку побудувати залежність зусилля на кермі $P = f(P_{рк})$ і тиску в гідросистемі $p = f(P_{рк})$.

5 Оцінити реактивність дії ГПК як властивість силового зв'язку:

розбити залежність $P = P_{рк} - P_{у} = f(P_{рк})$ на 5 рівних інтервалів $\Delta P_{рк}$ і знайти відповідні до цих інтервалів значення $\Delta(P_{рк} - P_{у})$;

розрахувати значення показника реактивності і побудувати криву $\rho = f(P_{рк})$ по крапках, відповідних до середин інтервалів.

6 Визначити зусилля зворотнього включення ГПК:

– включити насос, встановити кермо в середньому положенні і зафіксувати його від мимовільного повороту, записати показання манометра;

– з'єднати кермову тягу з навантажувальним майданчиком так, щоб вона виявилася навісу;

= плавно навантажувати майданчик гирями до моменту початку збільшення тиску по манометру;

- розрахувати зусилля зворотнього включення T , прийнявши довжину важеля кермової трапеції 165 мм, плече обкатування керованого колеса 12 мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4 РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ СПРОЕКТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Визначення собівартості виготовлення

Для того щоб визначити витрати на покупку сировини й матеріалів, необхідних для виготовлення конструкції скористаємося формулою (4.1) [18]

$$M = C_M \cdot Q_M \cdot \left(1 + \frac{K_{ГЗ}}{100}\right). \quad (4.1)$$

З метою впорядкування витрат на покупку сировини й матеріалів зводимо дані в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на покупку сировини й матеріалів

| Матеріал (сировина) | Одиниці виміру | Необхідна кількість матеріалів | Ціна, грн. | Сума, грн. |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------|------------|
| Кругляк | м | 0,5 | 121 | |
| Трубний прокат | м | 4,5 | 86 | |
| Кругляк, бронза | м | 0,15 | 336 | |
| Листовий метал | м | 1,2 | 847 | |
| Пруток | м | 0,7 | 53 | |
| Грунтовка | Кг | 1,5 | 82 | |
| Фарба | Кг | 1,2 | 170 | |
| Літол | Кг | 0,35 | 62 | |
| Швелер | м | 2,5 | 103 | |
| Різне | | | | 1400 |
| Всього + —) . | | | | 3557,6 |
| Розходи на транспортування | | | | 249,03 |
| Всього | | | | 3806,63 |

Для того щоб визначити витрати на покупні вироби й напівфабрикати скористаємося формулою (4.2)

$$P_{\text{И}} = C_i \cdot \eta_i \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{ГЗ}}}{100}\right) . \quad (4.2)$$

З метою впорядкування витрат на покупні вироби зводимо дані в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Витрати на покупні вироби

| Найменування покупного виробу | Кількість, шт. | Ціна за одиницю, в грн. | Сума, грн. |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Насосна станція | 1 | 5250,0 | 5250 |
| Кільце стопорне | 4 | 1,6 | 6,4 |
| Підшипник № 205 | 4 | 182,0 | 728 |
| Електрокабель, м | 5,5 | 79,0 | 434,5 |
| Електроустаткування | 1 | 281,0 | 281 |
| Болти М8х18 | 16 | 9,3 | 148,8 |
| Гайки М8 | 10 | 6,4 | 64 |
| Шайба | 40 | 0,5 | 20 |
| Шайби пружинні | 10 | 0,4 | 4 |
| Шпонка призматична | 4 | 1,0 | 4 |
| Болт фундаментний | 4 | 230,0 | 920 |
| Різне | - | - | 800 |
| Всього | | | 8660,7 |

$$C_{\text{Ц}} = 3806,63 + 8660,7 + 3782,4 + 378,24 + 1081,76 + 3933,69 + 5673,6 + 27317,03 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на загальногосподарських видатки виконаємо по формулі (4.9)

$$P_{\text{охр}} = Z_0 \cdot K_{\text{охр}} \quad (4.9)$$

де— $K_{\text{охр}}$ коефіцієнт, що враховує загальногосподарські видатки, ухвалюємо. $K_{\text{охр}} = 1,6$

Виконуємо підстановку раніше обчислених значень у формулу (4.9)

$$P_{\text{охр}} = 3806,63 \cdot 1,6 = 6051,84 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальних витрат виконаємо по формулі (4.10)

$$C_{\text{ПР}} = C_{\text{Ц}} + P_{\text{охр}} \cdot \quad (4.10)$$

Виконуємо підстановку раніше обчислених значень у формулу (4.10)

$$C_{\text{ПР}} = 27317,03 + 6051,84 = 33368,74 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на не виробничі потреби виконаємо по формулі (4.11)

$$P_{\text{ВН}} = C_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{внпр}} \quad (4.11)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де $K_{енер}$ – коефіцієнт, що враховує не виробничі видатки, ухвалюємо $K_{енер} = 0,05$.

Виконуємо підстановку раніше обчислених значень у формулу (4.11)

$$P_{ВН} = 33368,74 \cdot 0,05 = 1668,44 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення загальних витрат на виготовлення конструкції

Розрахунок загальних витрат на виготовлення конструкції стенда, покупку матеріалів, виплату коштів виконаємо по формулі (35)

$$C_{Общ} = C_{ПР} + P_{ВН}. \quad (4.12)$$

Виконуємо підстановку раніше обчислених значень у формулу (4.12)

$$C_{ПР} = 33368,74 + 1668,44 = 35037,18 \text{ грн.}$$

Таким чином, орієнтовна вартість виготовлення спроектованого стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем становить 35037,18 грн.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ | | | | |

ВИСНОВОК

Відповідно до поставленої мети, у рамках виконання бакалаврської роботи був спроектований стенд для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем.

У процесі виконання роботи були вирішені наступні завдання:

По-перше, розглянуті конструкції підсилювачів рульового керування.

По-друге, розроблені технічне завдання, технічна пропозиція на розроблювальну конструкцію. У графічному середовищі Solidworks змодельовано 3D модель стенда.

По-третє, розглянуті конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування, визначені параметри для оцінки експлуатаційних характеристик ГПК, розроблені методичні вказівки по роботі на стенді.

По-четверте, проведений розрахунок економічної ефективності проекрованої конструкції.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 2011. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 48 |

8 Детали машин : учеб. для вузов / Л. А. Андриенко [и др.] ; под ред. О. А. Ряховского. - 2-е изд., перераб. ; Гриф МО. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. - 519 с.

9 Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. - 11-е изд., стер. ; Гриф МО. - Москва : Академия, 2008. - 496 с.

10 Кузнецов, А. С. Малое предприятие автосервиса : организация, оснащение, эксплуатация / А. С. Кузнецов, Н. В. Белов. - Москва : Машиностроение, 1995. - 303 с.

11 Крамаренко, Г.В. Техническое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания / Г.В. Крамаренко, И.В. Баринов. - М.: Транспорт, 1985. - 230 с.

12 Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания / Г.М. Напольский - М.: Транспорт, 1991. - 320 с.

13 Живоглазов, Н.И. Методические указания к расчету технологического оборудования - Тольятти, ТолПИ, 1994 - 67с.

14 Анурьев, В.И. Справочник конструктора - машиностроителя: В 3-х т. Т.3 - 5-е изд. - М.: Машиностроение, 1980.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| | | | | | | 50 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

ДОДАТКИ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | ДРАТТАМ 23 20111. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

«Розробка конструкції стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування автомобіля з підсилювачем»

Виконав студент 3 курсу,
група АТс -20-2
Дмитро ОНІЩУК

Хмельницький, 2023 р.

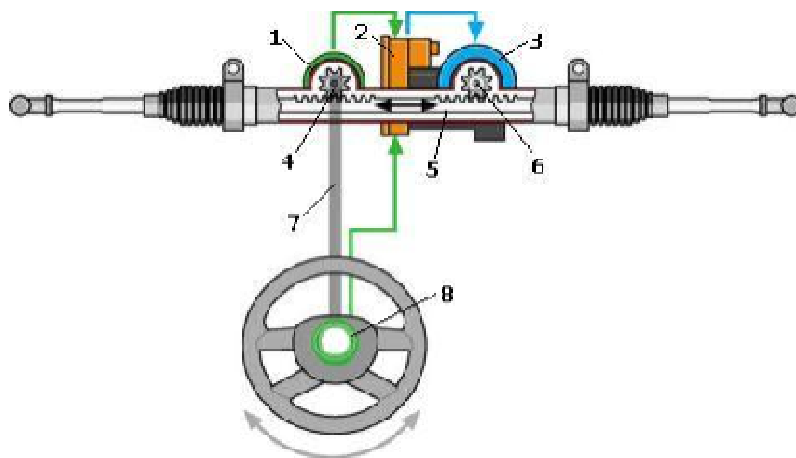
Мета та завдання бакалаврської роботи

Метою ВРБ є проектування стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- розглянути конструкції підсилювачів рульового керування;
- розробити технічне завдання, технічна пропозиція на розроблювальну конструкцію;
- розглянути конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування, визначити параметри для оцінки експлуатаційних характеристик ГПК, розробити методичні вказівки по роботі на стенді;
- провести розрахунок економічної ефективності проекрованої конструкції.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ



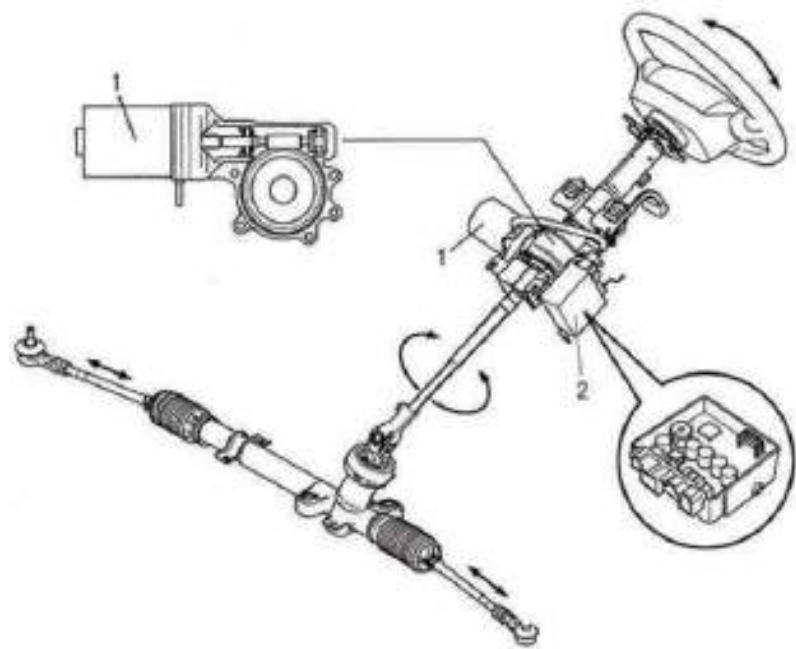
1 – корпус рейкового КМ; 2 – електронний блок;
3 – електродвигун; 4 – шестірня підсилувача; 5 – рейка;
6 – шестірня кермового механізму; 7 – вал керма; 8 – датчики моменту і кута повороту керма

Схема ЕПК із двома шестірнями

1 – вал із шестірнею КМ; 2 – вал керма; 3 – датчики моменту і кута повороту; 4 – рейка КМ; 5 – гайка на циркулюючих кульках; 6 – передача ремінна; 7 – електричний двигун; 8 – електронний блок керування

Схема ЕПК з паралельним приводом

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ



1 – електродвигун із черв'ячним механізмом; 2 –
електронний блок

**Варіант компонування ЕПК на валу
керма**

Варіант компонування безредукторного ЕПК на
кермовій колонці з регульованим положенням
керма по висоті

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ З ПІДСИЛЮВАЧЕМ

До стенда пред'являються наступні вимоги:

1. Стенд повинен бути універсальним, тобто забезпечувати можливість проведення випробувань на ньому кермових механізмів з усіма відомими типами гідروпідсилювачів рульових керувань (інтегральним, напівінтегральним і нейтральним типами).

2. Забезпечити можливість визначення на стенді всіх параметрів і характеристик кермового механізму з гідропідсилювачем – регульовальних, навантажувальних, енергетичних, гідравлічних характеристик кермового механізму з гідропідсилювачем, гідравлічних характеристик пристроїв гідропідсилювача).

3. Максимальна споживана потужність електричного двигуна, не більша 4 кВт.

4. Габаритні розміри не більші, мм 1500x1000x2000.

5. Кріпильні вироби і металопрокат, що входять до складу стенда, повинні бути по можливості уніфікованими.

6. Зовнішній вигляд стенда повинен відповідати вимогам естетики (технічної), який також дозволяє ідентифікувати призначення пристрою.

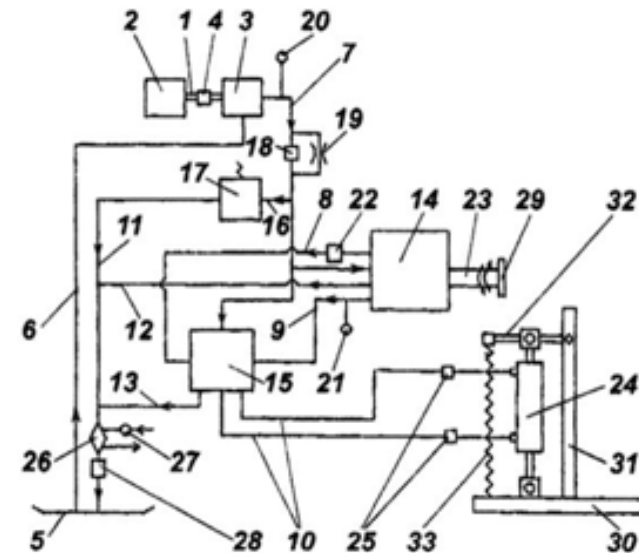
7. Конструкція повинна мати достатню твердість і міцність.

8. Конструкція стенда повинна виключати можливість викидання предметів, які становлять небезпеку для операторів, а також викиди змащувальних і інших робочих рідин.

9. При виконанні технічного обслуговування стенда використовувати експлуатаційні матеріали, які випускаються серійно і не вимагають використання спеціального інструмента.

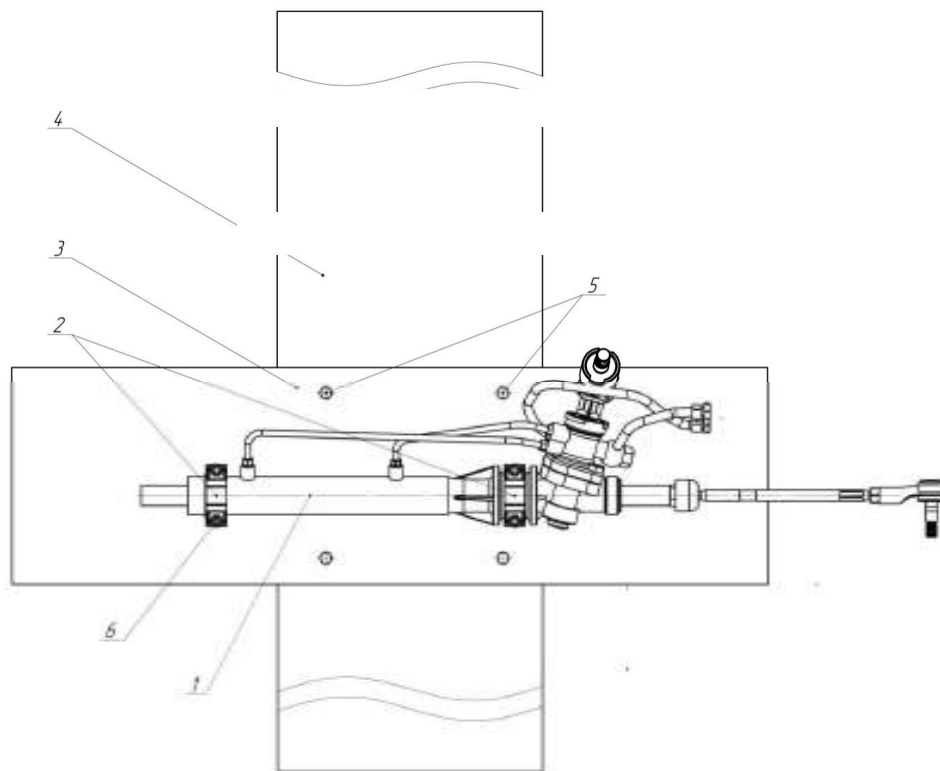
10. Конструкція стенда повинна бути по можливості дешева, міцна, безпечна, зручна, універсальна, технологічна і проста у виготовленню;

11. У розробленій конструкції стенда повинна бути передбачена можливість подальшого рестайлінга конструкції з метою модернізації технічних і естетичних якостей.



Гідравлічна схема стенда

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ З ПІДСИЛЮВАЧЕМ



- 1 – ГПК;
- 2 – скоба;
- 3 – лист металевий;
- 4 – колона;
- 5 – дюбель-цвях;
- 6 – гайка кріплення

Кріплення гідропідсилювача на колоні

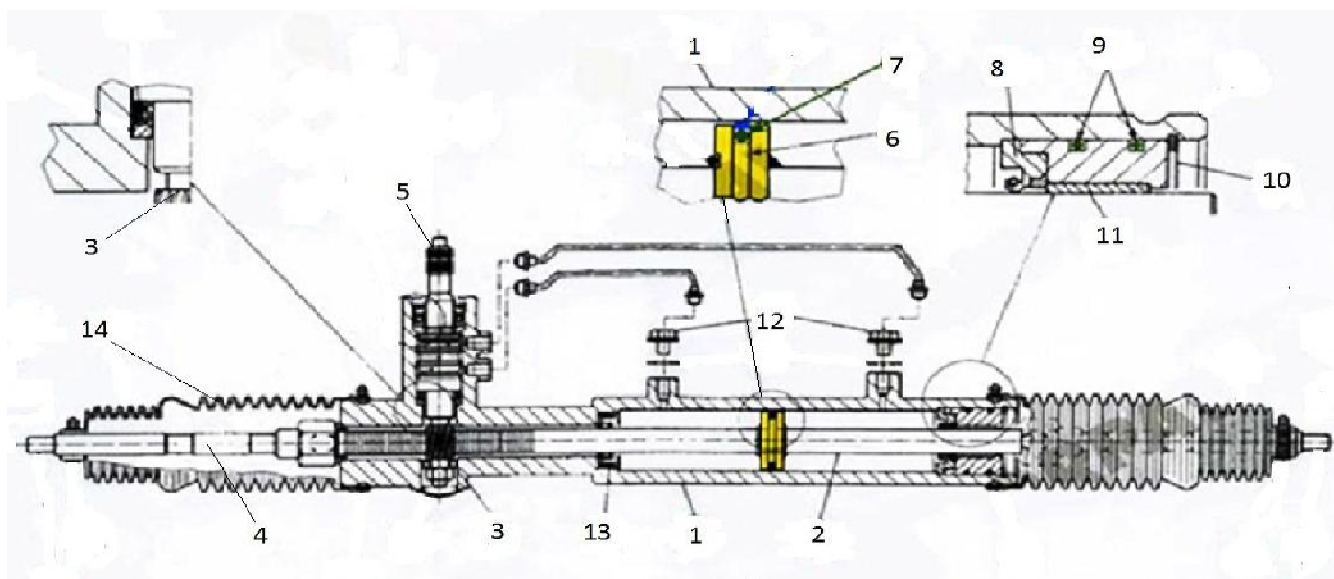
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ З ПІДСИЛЮВАЧЕМ



Стенд в зборі

Після підбору всіх елементів конструкції стенда, робимо моделювання конструкції в 3D у графічному середовищі Solidworks

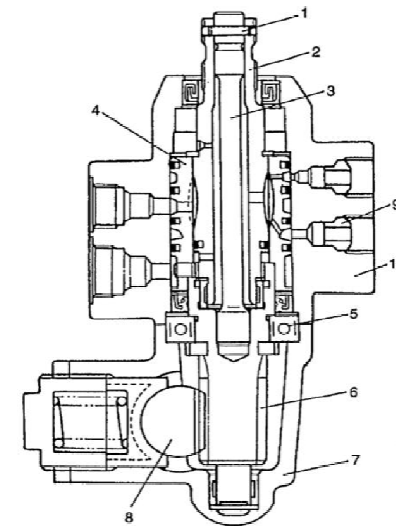
КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПІДСИЛЮВАЧА РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ



1 – корпус; 2 – шток-рейка; 3 – шестірня; 4 – кермова тяга; 5 – шліцевий хвостовик тангенціального золотника; 6 – поршень силового циліндра; 7 – ущільнення поршня; 8 – корпус ущільнення штока; 9 – ущільнювальні кільця; 10 – стопорне кільце; 11 – втулка; 12 – штуцери сталевих трубок; 13 – ущільнення штока; 14 – гофрований чохол

Рейковий кермовий механізм із гідропідсилювачем

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПІДСИЛЮВАЧА РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ



1 – штифт; 2 – золотник; 3 – торсіон; 4 – обойма золотника; 5 – підшипник; 6 – шестірня; 7 – корпус кермового механізму; 8 – зубчаста рейка і шток гідроциліндра; 9. – конусні вставки кріплення трубок; 10 – корпус розподільника

Пристрій ГПК

Гідропідсилювач автомобіля Honda

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПІДСИЛЮВАЧА РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ

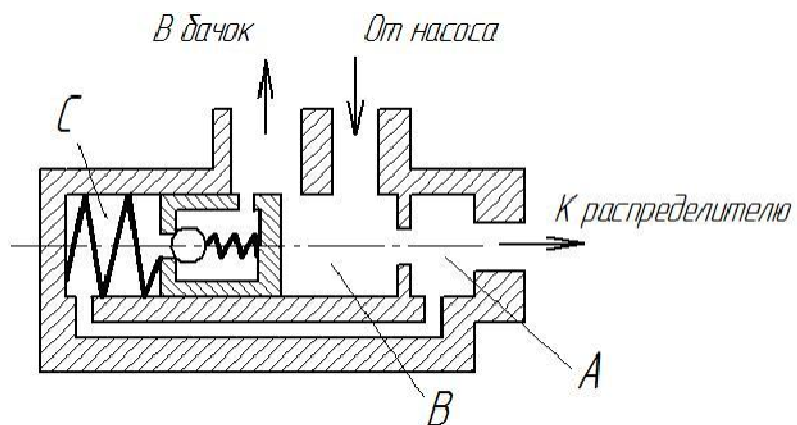


Схема регулювання потоку рідини в ГПК

Схема регулятора потоку рідини, що забезпечує зниження показника ефективності ГПК при високій швидкості руху автомобіля

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ РОБІТ НА СТЕНДІ

1 Прогріти робочу рідину в ГПК і перевірити на наявність повітря в гідросистемі:

- переконатися в тому, що кран на лінії подачі рідини від насоса до розподільника відкритий, а навантажувальний пристрій не приєднаний до кермової тяги;
- включити насос і після 2...3 хвилин роботи зробити поворот керма із середнього положення в крайнє праве потім у крайнє ліве і знову в середнє положення;
- виключити насос і заміряти рівень рідини в бачку;
- включити насос і заміряти рівень рідини в бачку (якщо рівень рідини не поменшав, то в гідросистемі немає повітря);

2 Перевірити тиск спрацьовування запобіжного клапана і оцінити виток у розподільнику та циліндрі:

- включити насос, закрити кран у лінії подачі масла до розподільника і по манометру заміряти тиск, після чого відкрити кран;
- повернути кермо вправо до упору і, утримуючи його під навантаженням, заміряти по манометру максимальний тиск рідини;
- повернути кермо до упору вліво і, утримуючи його під навантаженням, заміряти по манометру максимальний тиск рідини;
- повторити вимір тиску в середньому положенні керма, зафіксувавши положення рейки;
- виключити насос, зрівняти отримані значення тисків рідини з тиском при закритому крані і зробити висновок про виток рідини в розподільнику та циліндрі.

3 Випробувати ГПК на чутливість дії:

- установити кермо в середнє положення, зафіксувати рейку;
- включити насос, установити стрілку положення керма на нуль шкали; повернути кермо на 1° і заміряти тиск рідини по манометру;
- повернути кермо на 2° і заміряти тиск рідини по манометру;
- повторювати виміру до моменту повного закручування торсіона в межах, передбачених конструкцією ГПК, після чого виключити насос;
- побудувати графік зміни тиску від кута повороту керма.

4 Випробувати ГПК на ефективність посилення:

- установити на кермо динамометр, приєднати кермову тягу до навантажувального пристрою;
- включити насос, установити на майданчик навантажувального пристрою гирю масою ...кг;
- повільно повертати кермо до моменту початку спрацьовування ГПК (початку підйому навантажувального майданчика) і зафіксувати показання динамометра і тиску рідини по манометру;
- повторювати випробування, додаючи гирі і збільшуючи навантаження на кермі до 200 Н, виключити насос;
- використовуючи результати випробування ГПК при відключеному силовому циліндрі розрахувати показник ефективності ГПК і побудувати графік $E_{ГПК} = f(P_{рк})$;
- на цьому ж графіку побудувати залежність зусилля на кермі $P = f(P_{рк})$ і тиску в гідросистемі $p = f(P_{рк})$.

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ СПРОЕКТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Витрати на покупні вироби

Витрати на покупку сировини й матеріалів

| Найменування покупного виробу | Кількість, шт. | Ціна за одиницю, в грн. | Сума, грн. |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Насосна станція | 1 | 5250,0 | 5250 |
| Кільце стопорне | 4 | 1,6 | 6,4 |
| Підшипник № 205 | 4 | 182,0 | 728 |
| Електрокабель, м | 5,5 | 79,0 | 434,5 |
| Електроустаткування | 1 | 281,0 | 281 |
| Болти М8х18 | 16 | 9,3 | 148,8 |
| Гайки М8 | 10 | 6,4 | 64 |
| Шайба | 40 | 0,5 | 20 |
| Шайби пружинні | 10 | 0,4 | 4 |
| Шпонка призматична | 4 | 1,0 | 4 |
| Болт фундаментний | 4 | 230,0 | 920 |
| Різне | - | - | 800 |
| Всього | | | 8660,7 |

Визначення загальних витрат на виготовлення конструкції

Розрахунок загальних витрат на виготовлення конструкції стенда, покупку матеріалів, виплату коштів виконаємо по формулі

$$C_{\text{Общ}} = C_{\text{ПР}} + P_{\text{ВН}}.$$

Виконуємо підстановку раніше обчислених значень у формулу

$$C_{\text{ПР}} = 33368,74 + 1668,44 = 35037,18 \text{ грн.}$$

Таким чином, орієнтовна вартість виготовлення спроектованого стенда для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем становить 35037,18 грн.

ВИСНОВОК

Відповідно до поставленої мети, у рамках виконання бакалаврської роботи був спроектований стенд для дослідження експлуатаційних характеристик рульового керування з підсилювачем.

У процесі виконання роботи були вирішені наступні завдання:

По-перше, розглянуті конструкції підсилювачів рульового керування.

По-друге, розроблені технічне завдання, технічна пропозиція на розроблювальну конструкцію. У графічному середовищі Solidworks змодельовано 3D модель стенда.

По-третє, розглянуті конструктивні особливості досліджуваного підсилювача рульового керування, визначені параметри для оцінки експлуатаційних характеристик ГПК, розроблені методичні вказівки по роботі на стенді.

По-четверте, проведений розрахунок економічної ефективності спроектованої конструкції.

Дякую за увагу!

