

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

**«МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ОСНОВИ СЕРТИФІКАЦІЇ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних і практичних робіт**

для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Харків  
НТУ «ХПІ»

2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

**«МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ОСНОВИ СЕРТИФІКАЦІЇ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних і практичних робіт**

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

Затверджено

редакційно-видавничою радою

університету,

протокол № 346 від 10.10.2018 р.

Харків

НТУ «ХПІ»

2018

«Методи випробувань та основи сертифікації». Методичні вказівки до лабораторних і практичних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / уклад. В.Р. Мандрика, М.О. Мітцель, А.П. Кожушко, О.О. Островерх – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – 60 с.

Укладачі: В.Р. Мандрика  
М.О. Мітцель  
А.П. Кожушко  
О.О. Островерх

Рецензент *В.М. Краснокутський*

Кафедра автомобіле- і тракторобудування

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1 Датчики.....	5
Лабораторна робота №2 Безконтактні датчики кутової швидкості.....	15
Лабораторна робота №3 Оцінка токсичності відпрацьованих газів, рівня шуму і вібрації.....	21
Лабораторна робота №4 Методи тензометричних вимірювань.....	27
Лабораторна робота №5 Вивчення контрольно-вимірювального комплексу лабораторного стенду гідрооб'ємно-механічної трансмісії.....	35
Лабораторна робота №6 Обробка результатів вимірювань і оцінка похибок.....	41
Лабораторна робота №7 Тарування акселерометра.....	45
Лабораторна робота №8 Реєстрація параметрів траєкторії руху самохідних машин.....	49
Лабораторна робота №9 Випробування агрегатів трансмісії.....	54
Рекомендовані джерела.....	60

## ВСТУП

При створенні нових і вдосконаленні старих конструкцій автомобілів велике значення мають випробування автомобілів, за результатами яких знаходять техніко-економічні показники роботи, відповідність вимогам стандартів, технічних умов і нормалям. При випробуваннях визначають тягово-швидкісні властивості, паливну економічність, керованість і стійкість, показники коливань, вібрацій і шумності, гальмівні характеристики, параметри прохідності, довговічності, надійності автомобілів і їх вузлів.

Розвиток методів випробувань пов'язано з удосконаленням вимірювальної і реєструючої апаратури, пристроїв, призначених для обробки дослідних даних, і створенням необхідних режимів досліджень. Сучасні випробувальні комплекси дозволяють ефективно проводити дослідження робочих процесів автомобілів і тракторів в польових і лабораторних умовах.

Необхідність проведення експериментальних робіт в процесі створення нових автомобілів та тракторів, або при модернізації вже існуючих моделей визначається, з одного боку, ускладненням конструкцій, а з іншого – неосяжним розмаїттям зовнішніх і внутрішніх впливів, які неможливо в даний час комплексно змоделювати і точно врахувати.

Прискорення розробки та виробництва нових зразків автомобілів та тракторів в значній мірі забезпечується підвищенням науково-технічного рівня випробувань, які характеризуються розвитком методології і техніки експерименту, впровадженням сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання, оснащенням випробувальних центрів сучасними приладами та обладнанням. Широке застосування знаходять раціональна організація випробувань, сучасні випробувальні стенди, різні автоматичні керуючі системи, нове вимірювальне обладнання, яке зменшує витрату часу, праці і коштів на проведення випробувань.

Дані методичні вказівки призначені для виконання лабораторних та практичних робіт студентів з дисципліни «Методи випробувань та сертифікації» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

## Лабораторна робота №1

### ДАТЧИКИ

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією основних типів датчиків, що застосовуються при випробуванні самохідних машин.

Завдання:

1. Вивчити будову та принцип роботи розглянутих датчиків.
2. Вивчити методику складання мостових і напівмостових схем з'єднання тензорезисторів в залежності від виду навантаження.
3. Відповідно до індивідуального завдання скласти схему з'єднання тензодатчиків.
4. Вивчити методику наклеювання і сушки тензодатчиків.
5. Скласти звіт відповідно до пунктів 1 – 4.

### Інформаційний матеріал

*Датчиком* або *первинним вимірювальним перетворювачем* називають конструктивно закінчений прилад для перетворення впливу вимірюваної величини в електричний сигнал. Часто датчик виконують окремо від первинного чутливого елемента. Такий датчик включає в себе електричний перетворювач впливу чутливого елемента в електричний сигнал (зміну струму, напруги, частоти, фази). Наприклад, тензометричний індуктивний датчик являє собою прилад, що складається з корпусу і електромагнітної системи. Його встановлюють на пружну тягову ланку (первинний чутливий елемент) для вимірювання тягового зусилля.

В інших випадках датчик включає в себе і первинний чутливий елемент. Наприклад, в корпусі індуктивного датчика для вимірювання тиску масла в гідросистемі встановлена мембрана (первинний чутливий елемент), яка впливає на електромагнітну систему індуктивного перетворення вимірюваної величини в електричний сигнал.

За функціональними ознаками датчики поділяють на параметричні, або пасивні, і генераторні, або активні.

У *параметричних датчиках* під впливом вимірюваної величини змінюється їх електричний параметр: омичний опір, ємність, індуктивність. До параметричних датчиків належать:

- комутуючі датчики, які при вимірювальному впливі включають електричний ланцюг і цим подають до вимірювальної системи імпульсні

сигнали (переривачі рахункових імпульсів, кодуєчі датчики, комутатори дискретних вимірювальних сигналів);

- потенціометричні і реостатні (електромеханічні) датчики, в яких під дією вимірюваної величини переміщується реостатний повзунок (головним чином датчики лінійних і кутових переміщень);

- тензорезистори (тензометричні датчики опору), що змінюють омичний опір при деформації під вимірювальним впливом;

- ємнісні датчики, які змінюють свою електричну ємність під впливом вимірюваної величини;

- індуктивні датчики, в яких при вимірювальному впливі змінюється їх індуктивність (індуктивний опір);

- датчики термоопору, фотоопору і інші, що змінюють свій електричний опір при зміні температури, сили світла і т.д.;

- трансформаторні датчики, феромагнітні датчики кута повороту, сельсини. У цих датчиках обмотка збудження живиться змінною напругою від блоку живлення, і на виході отримують напругу, пропорційно переміщенню якоря.

**Генераторні датчики** генерують Е.Р.С. при обертанні ротора або під впливом температури, тиску і т.д. До генераторних датчиків належать: тахогенератори і індуктори (індукційні датчики) для вимірювання кутової швидкості; термоелектричні датчики, термомпари.

Вибір датчика визначається завданнями дослідження, конструкцією досліджуваного вузла, умовами роботи вимірювального пристрою, характером вимірюваної величини, а також методикою і технікою пов'язаних досліджень. Номенклатура і області застосування датчиків промислового і лабораторного виготовлення постійно розширюються. У практиці випробувань найбільш часто використовують датчики тензорезисторні, індуктивні, реостатні, термомпари, тахогенератори. Тензометричними датчиками опору називають первинні перетворювачі вимірювальної деформації пружного елемента в електричний сигнал. Останній утворюється в результаті зміни наклеєного на пружний елемент чутливого до деформації активного електричного опору, яке називають тензорезистором (тензоопором).

Часто тензодатчиком називають безпосередньо тензорезистор, як первинний перетворювач тензометра – приладу для вимірювання деформацій.

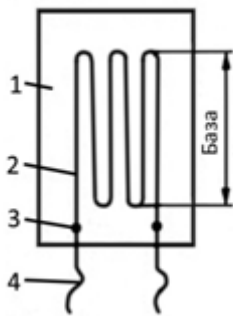


Рисунок 1 – Дротовий резистор: 1 – основа; 2 – решітка; 3 – спай; 4 – провідник (0,8 мм)

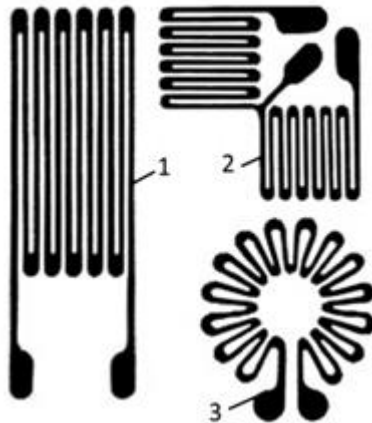


Рисунок 2 – Фольгові тензорезистори: 1 – прямокутні; 2 – розеточні; 3 – мембранні

Існують три типи тензорезисторів: дротові, фольгові і напівпровідникові. На практиці випробувань застосовують дротові (рис. 1) і фольгові (рис. 2) тензорезистори в зв'язку з їх незаперечними перевагами: їх можна наклеювати, безпосередньо на деталь; вони мають малу вагу і тому їх можна наклею-

вати на деталі, що швидко обертаються; вони електрично-безінерційні, завдяки чому їх можна використовувати як первинні перетворювачі в вібрографах і акселерографах з частотами в декілька кілогерц; малий розмір тензорезисторів дозволяє наклеювати їх у важкодоступних місцях і на деталях малих розмірів; дешевизна тензорезисторів допускає їх разове використання.

**Дротовий тензорезистор** (рис. 1) являє решітку з тонкого дроту з великим омичним опором наліпленим на основу (підкладку) з тонкого паперу або лакової плівки.

**Фольговий тензорезистор** (рис. 2) має решітку, виготовлену травленням з металевої фольги (або напиленням), яка наліплена на основу. Перевагою таких тензорезисторів є більш високий, ніж у дротових, коефіцієнт тепловіддачі, що дозволяє пропускати через датчик струм, в кілька разів більший, ніж через дротові датчики, і тим самим підвищувати їх тензочутливість.

Основними технічними характеристиками тензорезистора є його активний опір, база (довжина решітки) і коефіцієнт тензочутливості. Важливим в роботі тензорезистора є його повзучість.

Повзучість тензорезистора характеризує жорсткість його основи і клею. Повзучість при температурі  $20 \pm 5$  °C не повинна перевищувати 0,5% для тензорезисторів на плівковій основі та 1% – на паперовій основі.

Матеріалом для тензорезисторів служать константан, ніхром, манганін, ізоеластік та ін. Найбільше застосування отримав константан. Діаметр дроту 0,02 – 0,05 мм, товщина фольги – 0,004 – 0,012 мм. Коефіцієнт

тензочутливості для константана 1,9 – 2,1. У розрахунках приймаємо  $K = 2$ .

Номінальний робочий струм для дротових тензорезисторів, що наклеюються на металеві деталі, становить 30 мА, для фольгових – до 0,2 А. Тензорезистори можуть працювати під напругою до 12 В. Тензорезистори випускаються: дротові (П), константанові (К), на паперовій (Б) або на плівковій (П) основі.

Приклад маркування тензодатчиків: 2ПКБ-5-50Х(Г); 2ПКП-5-50Х(Г); 2ПКБ-30-200Х(Г); 2ПКП-30-200Х(Г).

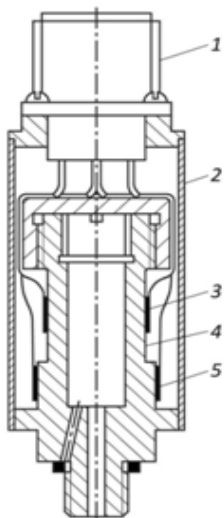


Рисунок 3 –  
Тензометричний  
датчик тиску

Цифри 5, 30 означають базу тензорезистора; 50, 200 – номінальний опір в Омах; літери Х (Г) – холодну чи гарячу наклею. Тензорезистори фольгові (Ф), константанові (К), прямокутні (П) і розеткові (Р), підтипи за формою розетки А, В, Г і Д випускаються з базою 5, 10, 20мм, мембранні (М) діаметром 10, 20, 30 мм, опором 50, 100, 200 Ом. Позначають їх аналогічно: 2ФКПА-20-200Х (Г), 2ФКМГ-30-200Х (Г). Напівпровідникові тензорезистори виготовляють переважно з кремнію і германію. Вони мають тензочутливість в 50-60 разів більшу, ніж дротові тензорезистори. Недолік – низька механічна міцність, нелінійність характеристик і великий розкид електричних параметрів.

Як приклад застосування тензодатчиків, розглянемо датчик тиску ТДТ, призначений для вимірювання тиску від 5 до 40 МПа, що наведено на рис. 3.

Чутливим елементом є пружинний циліндр 4, на який наклеєні два робочих 3 і два компенсаційних 5 тензорезистори. Провідники виходять до штекеру 1. Корпусом датчика служить стакан 2.

**Індуктивні датчики.** Застосовуються для вимірювання тиску при випробуваннях гідросистем, вимірювання частоти обертання валів, а іноді для вимірювання тягових зусиль і крутних моментів. Ці датчики мають ряд переваг: вони дозволяють пропускати великий струм, мають високу чутливість і в ряді випадків дають можливість обходитися без підсилювача; не бояться зовнішніх збурень, тому дроти до них можуть бути неекранованими; датчики допускають багаторазове використання; датчики для вимірювання переміщень і частоти обертання безконтактного типу, що підвищує їх надійність; мають високу механічну міцність і надійністю в тривалій експлуатації. Недоліком індуктивних датчиків є залежність їх чутливості від частоти напруги живлення. Датчики для вимірювання зусиль і

крутних моментів, мають велику масу і не можуть використовуватися на великих швидкостях і прискореннях.

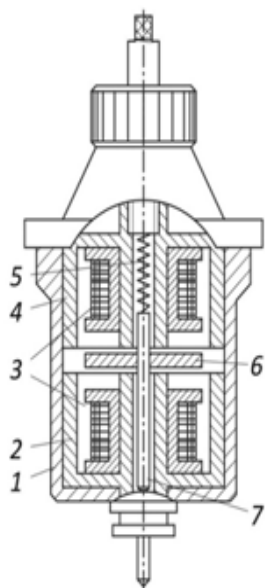


Рисунок 4 –  
Індуктивний датчик

На рис. 4 наведено диференційний індуктивний тензометричний датчик. Корпус 1 датчика виготовлено з неметалевого матеріалу. У ньому розміщено дві котушки 3, які насаджено на стрижні 2 і 4 з армкозаліза. Якір 6 закріплено на вісі 7, один кінець якої утворює вимірювальну ніжку, а інший спирається на пружину 5, що створює невеликий вимірювальний тиск. Висота датчика 90 мм, діаметр 46 мм, допустиме переміщення вимірювальної ніжки 100 – 150 мкм.

На рис. 5 представлено індуктивний датчик переміщення, який конструктивно виконано у вигляді циліндра. Кріплення корпусу 3 датчика на об'єкті здійснюється за допомогою клемових затисків або цангового пристрою.

В отвір, розташований по осі циліндра, входить рухливий феромагнітний сердечник 1, пов'язаний за допомогою стрижня 2 з рухомою деталлю. У середині корпусу знаходяться дві котушки 4. При переміщенні рухомого сердечника відбувається зміна індуктивності котушок. Обидві котушки включені в вимірювальний ланцюг за диференціальною схемою. Котушка 5 і сердечник 6 служать для регулювання чутливості датчика. Межі вимірювань –  $\pm 2 - 200$  мм; похибка вимірювань – менше 1%.

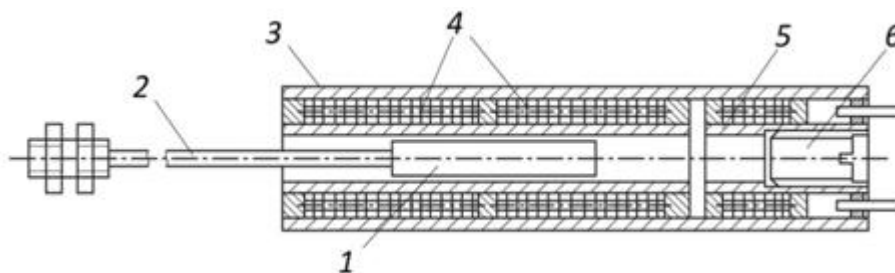


Рисунок 5 – Індуктивний датчик переміщення

**Реостатні перетворювачі.** Являють собою реостат, движок якого переміщається відповідно до зміни вимірюваної неелектричної величини. Переміщення движка може бути лінійним або кутовим. Вихідною величиною є активний опір, що змінюється в залежності від переміщення движка за лінійним або за деяким законом.

Недолік реостатних перетворювачів полягає в тому, що вони дискретні (за винятком перетворювачів реоходного типу). Це викликає певну похибку вимірювання, що зменшується зі збільшенням числа витків перетворювача.

Загальна кількість витків повинна бути не менше 100 – 200.

Найбільш поширені

схеми включення реостатних перетворювачів показані на рис. 6 (а – д). Недоліками перших трьох схем є нелінійна залежність струму від переміщення движка. Нелінійність мостових схем, рис.6 (г, д) зазвичай невелика. Поряд з більшою чутливістю це також є причиною їх більшого поширення.

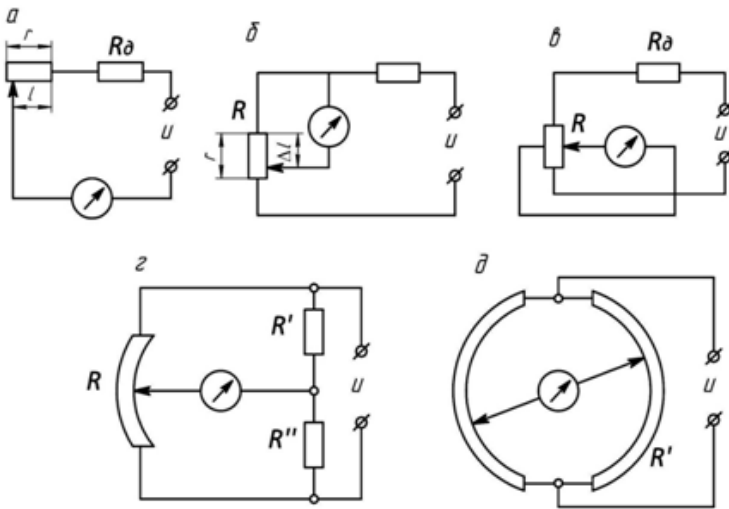


Рисунок 6 – Схема включення реостатних перетворювачів

**Термоелектричний пірометр (термопара).** Складається з трьох частин (рис. 7): датчика генераторного типу – термопари; сполучних (компенсаційних) дротів і вимірювального пристрою. Термопара представляє собою два провідники з різних металів, ізольованих один від іншого. Одні кінці провідників спаяні (гарячий спай 1), а інші приєднані до мілівольтметра 6. При нагріванні спаю виникає Е.Р.С., яка є функцією різниці температур гарячого спаю і холодних кінців термопари (холодний спай 2 і 3), приєднаних компенсаційними дротами 4 і 5 до мілівольтметра. Оскільки матеріали можуть використовуватися як благородні метали з товщиною дроту 0,5 мм, так і інші.

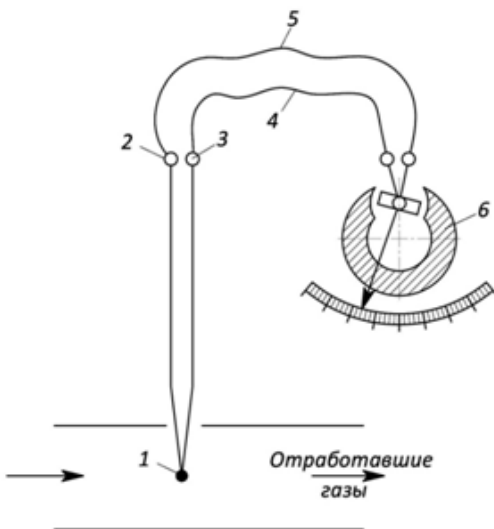


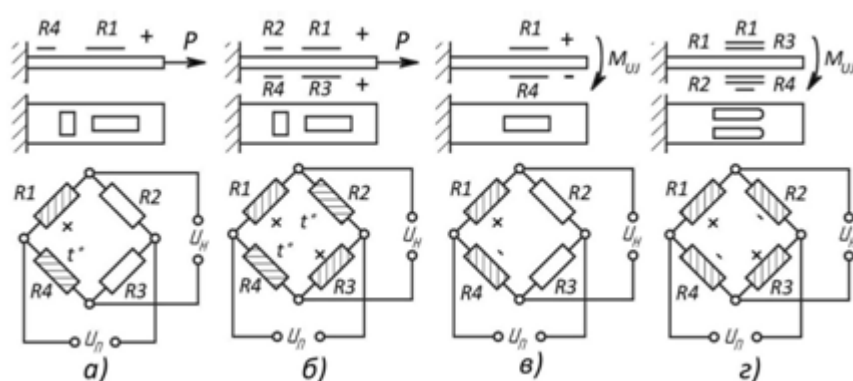
Рисунок 7 – Схема термоелектричного пірометра (термопари)

Так для матеріалу «хромель-копель» товщина дроту знаходиться в діапазоні 1,5 – 3 мм. При вимірюванні температури швидкозмінних процесів застосовують незахищені термопари для зменшення теплової інерції. Крім того, діаметр дроту зменшують до декількох сотих міліметра. Верхня межа вимірювання температури за допомогою термопари знаходиться в діапазоні 600 – 800 °С.

При користуванні термопарою слід уважно аналізувати джерела похибок і усувати або враховувати їх. Точність термопар промислового виготовлення – до 1%.

**Тахогенератори.** Електричний тахометр складається з датчика – тахометричного генератора, сполучних дротів і вимірювача – тахометричного показчика. Зазвичай застосовують тахогенератори: магнітоелектричні постійного струму і синхронні магнітоелектричні змінного струму з подальшим випрямленням напруги. Тахопоказчики електричних тахометрів є синхронно-реактивними електродвигунами з магнітоелектричним зв'язком з показуючим механізмом.

На рис. 8 показана схема електричного тахометра трифазного змінного струму моделей ТЕ-45, ТЕ-204, ПЕ-205, ПЕ-206 і ПЕ-207. Для роботи в різному діапазоні частот обертання в корпус тахогенератора вбудований редуктор, що знижує частоту обертання ротора генератора. Тахометр ТЕ-204 призначений для роботи в діапазоні 600-3000 об/хв ( $i = 1/2,9$ ). ТЕ-206 – в діапазоні 1800 – 3000 об/хв ( $i = 1/6$ ), ТЕ-207 – в діапазоні 3000 – 14000 об/хв ( $i = 1/9$ ). Швидкісний діапазон визначається передавальним числом редуктора, вбудованого в корпус тахогенератора. Тахогенератор тахометра типу ТЕ-204 (рис. 8) являє собою трьох-фазний синхронний генератор з



ротором 1 у вигляді колоколоподібного постійного магніту, який приводиться в рух від випробовуваного вала.

Рисунок 8 – Схема електричного тахометра

Трифазна обмотка 2 статора поміщена всередині ротора. Тахопоказчиком виступає трифазний синхронно-реактивний електродвигун. Трифазний струм від тахогенератора створює в обмотках 3 статора двигуна обертове магнітне поле, яке приводить в обертання ротор 4. Ротор складається з двох частин: основного ротора з явно вираженими полюсами і допоміжного короткозамкнутого з неявно вираженими полюсами.

На одному валу з ротором двигуна насаджений другий ротор постійний магніт-зірочка 5. Обертаючись, він захоплює за собою чутливий елемент 6, який закручує пружину (волосок) 7 і переміщує по циферблату стрілки показчика 9. Вузол 8 виконує роль демпфера, завдяки чому на стрілку не

передається вібрація.

### Практична частина

При складанні вимірювальних мостових і напівмостових схем слід забезпечити компенсацію силових і теплових деформацій, для чого необхідно керуватися такими принципами:

1. Тензоефекти в протилежних плечах моста складаються, а в суміжних плечах – віднімаються;

2. З метою забезпечення найбільшої чутливості датчика в одне плече вимірювального мосту слід включати тензорезистори, що мають однаковий знак деформації, а в суміжні плечі моста включати тензорезистори, що мають протилежний знак вимірюваної деформації. Приймаємо знак деформації (+) при розтягуванні і (-) при стисненні;

3. Для забезпечення компенсації деформацій, які не вимірюються, в одне плече вимірювального мосту слід включати тензорезистори, що мають однакові за величиною, але протилежні за знаком деформації, а в суміжні плечі моста – тензорезистори, що мають однакові за величиною і знаком деформації;

4. Для вимірювання суми або різниці декількох сил або моментів тензоелементи повинні бути виконані так, щоб однакові сили, прикладені до різних тензоелементів, викликали б однакові деформації тензорезисторів. Потім для отримання на виході з датчика сигналу, пропорційного сумі сил, з'єднати в одне загальне плече тензорезистори, наклеєні на різні тензоелементи, які відчувають однакові по знаку деформації. Для отримання сигналу, пропорційного різниці сил, в одне плече з'єднують тензорезистори, які сприймають різнойменні деформації.

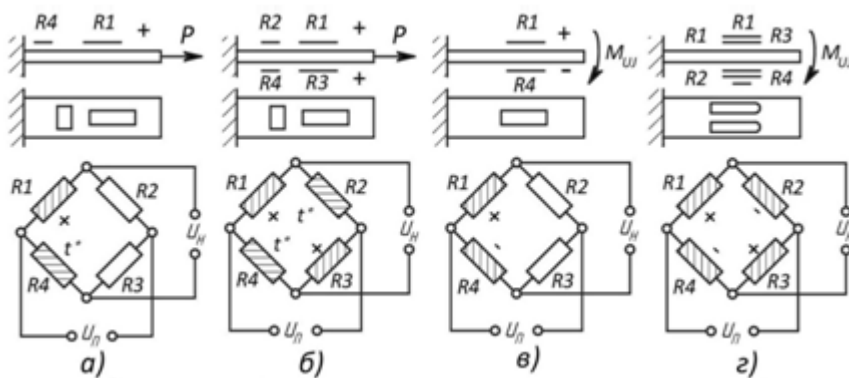


Рисунок 9 – Схема наклейки тензорезисторів при вимірюванні розтягуючого зусилля і вигибаючого моменту: а – одне робоче плече і термокомпенсація; б, в – два робочих плеча і термокомпенсація; г – чотири робочих плеча і термокомпенсація

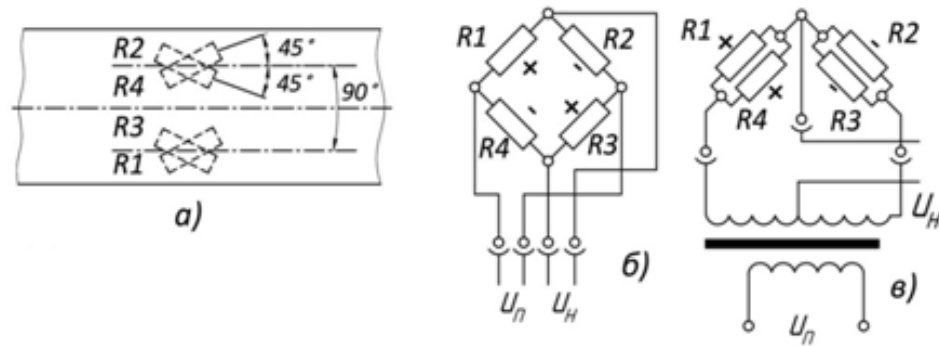


Рисунок 10 – Схема розміщення тензорезисторів на валу при вимірюванні крутного моменту: а – на валу; б, в – в повному мості; г – в напівмості

На рис. 9 і 10 наведені способи розташування тензорезисторів при розтягуванні і вигині, а також вимірі крутного моменту.

**Методика наклеювання** тензодатчика на сталеву поверхню полягає в наступному:

- Провести розмітку поверхні для розміщення датчиків. У разі складної поверхні, наприклад, вал, скористатися розміткою за шаблоном;
- Підготувати поверхню досліджуваної деталі до наклеювання, для чого очистити її від іржі, бруду, жирових плям і висушити. Використовувати наждачну шкурку, бензин і ацетон. Для шліфованих поверхонь нанести подряпини скляною шкуркою з розміром зерна не більше №1. Напрямок руху шкурки має бути перпендикулярно поздовжній вісі робочого тензорезистора;
- Нанести перший тонкий шар клею, наприклад, БФ-2 на тензоелемент і тензорезистори і просушити на відкритому повітрі;
- Нанести другий шар клею і притиснути тензорезистор до місць розмітки на деталі. Видалити можливі бульбашки повітря. Перевірити за допомогою тестера відсутність пошкодження тензорезистора: номінальний опір і відсутність пробою на масу;
- Притиснути струбциною тензорезистори до тензоелементу через еластичну прокладку;
- Провести термообробку клейового шару, для чого повільно нагрівати тензоелемент до  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  з витримкою протягом години при температурі  $60$  і  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , після чого повільно охолодити до номінальної температури;
- Зняти струбцину, перевірити якість приклеювання, тестером перевірити провідність тензорезистора, мегомметром перевірити опір між висновками тензорезистора і масою тензоелемента (опір має бути в межах  $5 - 8\text{ МОм}$ ).
- Пов'язати ниткою з'єднувальні дроти і спаяти з'єднання датчиків в

мостову або напівмостову схема;

- Покрити тензодатчики і з'єднувальні дроти шаром епоксидної смоли;
- Обмотати датчик ізоляційною стрічкою для захисту від механічних пошкоджень і вологи.

### **Контрольні питання**

1. Будова і принцип роботи датчиків для вимірювання тиску, переміщення, температури, швидкості обертання.

2. Лінійність і чутливість датчиків.

3. Тензодатчики і їх основні характеристики.

4. Як виконується маркування тензодатчиків.

5. Скласти мостову чи (або) напівмостову схема для вимірювання одного або декількох вимірюваних зусиль, крутних чи вигинальних моментів.

6. У чому полягає поняття «температурна компенсація».

7. Методика виключення з процесу вимірювання паразитних деформацій за допомогою мостових і напівмостових схем.

8. Скласти схему наклейки і з'єднання тензодатчиків для вимірювання сил зі змінною точкою докладання.

## Лабораторна робота №2

### БЕЗКОНТАКТНІ ДАТЧИКИ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

Мета роботи – вивчити конструкцію основних типів датчиків кутової швидкості, що застосовуються на автотранспортних засобах. Набути практичних навичок обробки сигналів датчиків.

Завдання:

1. Вивчити будову та принцип роботи розглянутих датчиків;
2. Скласти алгоритм обробки сигналів в програмі MathCad, Python, Delphi для графічного представлення кутової швидкості валів.

#### Інформаційний матеріал

Застосування тахогенераторів або стробоскопів для визначення кутової швидкості колеса (вала, шківів) не завжди прийнятно в силу ряду факторів і конструкційних особливостей (відсутній необхідний простір для розміщення тахогенератора; спостерігач не може перебувати поблизу досліджуваного об'єкта та ін.) Тому широкого поширення набули безконтактні датчики кутової швидкості (ДКШ). Наприклад, для забезпечення високої якості регулювання в АБС (антиблокувальній системі) автомобіля потрібно вимірювати кутову швидкість обертання коліс з високою частотою і мінімальною кількістю помилок для чого використовуються ДКШ. На сучасних тракторах за допомогою ДКШ визначають частоту обертання двигуна і безпосередньо швидкість трактора. Крім того, ДКШ використовуються для проведення науково-дослідних робіт в складі лабораторних стендів.

Колісні датчики схильні до вібрацій, ударів, впливу агресивних середовищ, низьких ( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і високих ( $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температур. Отже, ці датчики повинні бути стійкими до впливу перерахованих факторів, крім того, бути дешевими, простими в експлуатації, а в разі виходу з ладу – легко монтуватися і демонтуватися.

Огляд існуючих конструкцій датчиків швидкості був проведений на основі їх принципів роботи. Для порівняльного аналізу датчики були згруповані за такими типами (рис. 1).

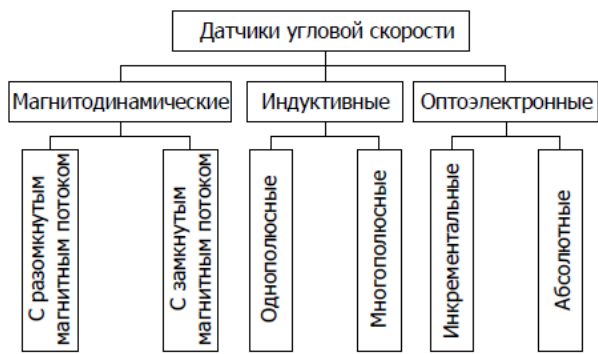


Рисунок 1 – Види датчиків швидкості

**Індуктивний датчик швидкості (ІДШ).** ІДШ являють собою LC генератор (рис. 2). Котушка генератора містить 30 – 70 витків. Частота генератора залежить від індуктивності котушки, сердечник якої використовується в якості чутливого елемента.

При проходженні зуба імпульсного колеса поблизу чутливого елемента, різко зростає індуктивність котушки і відбувається зрив генерації, що викликає збільшення струму, який споживається схемою генератора, і є вихідним сигналом датчика. Вихідний сигнал (рис. 2, а) являє собою прямокутні імпульси з амплітудою приблизно рівною напрузі живлення схеми. Низький рівень відповідає наявності зуба, високий рівень – відсутності зуба. На рис. 2 (б, в) представлені зовнішній вигляд ІДШ і реальний сигнал

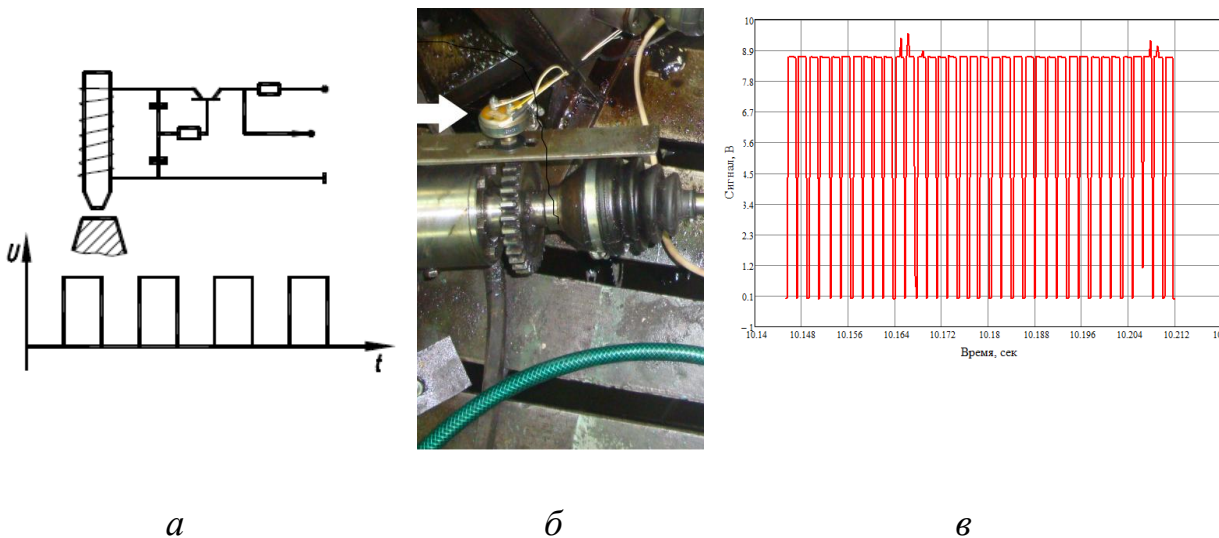


Рисунок 2 – Схема, загальний вигляд і вихідний сигнал ІДШ

**Переваги ІДШ:** 1) амплітуда сигналу відповідає напрузі живлення схеми (8 – 30 В); 2) схема посилення сигналу вбудована прямо в датчик; 3) висока стійкість (рівень сигналу значно вище рівня перешкоди); 4) малі габарити і вага датчика; простота обробки вихідного сигналу.

**Недоліки ІДШ:** 1) точність вимірювання періоду одного сигналу визначається частотою генератора датчика (при частоті 500 кГц похибка становить  $2 \times 10^{-6}$  с); 2) датчик містить напівпровідникові елементи, чутливі до високих температур.

При об'єднанні в одному корпусі двох датчиків з'являється можливість

визначення напрямку обертання, але зростають габарити датчика.

### **Магнітодинамічні датчики**

На сьогоднішній день існують магнітодинамічні датчики двох типів з розімкненим і замкнутим магнітними потоками. **Датчик з розімкненим магнітним потоком** (рис. 3, а – в) являє собою котушку з магнітним сердечником. При проході зубів індуктора поблизу сердечника датчика змінюється магнітний потік через котушку. При цьому в ній створюється змінна напруга, період якого дорівнює періоду проходження зубів. Для отримання сигналу прийнятної рівня котушка містить від 10 до 15 тис. витків.

Переваги: Датчик містить тільки котушку і магніт, тому може витримувати великі прискорення, вібрацію і нагрів.

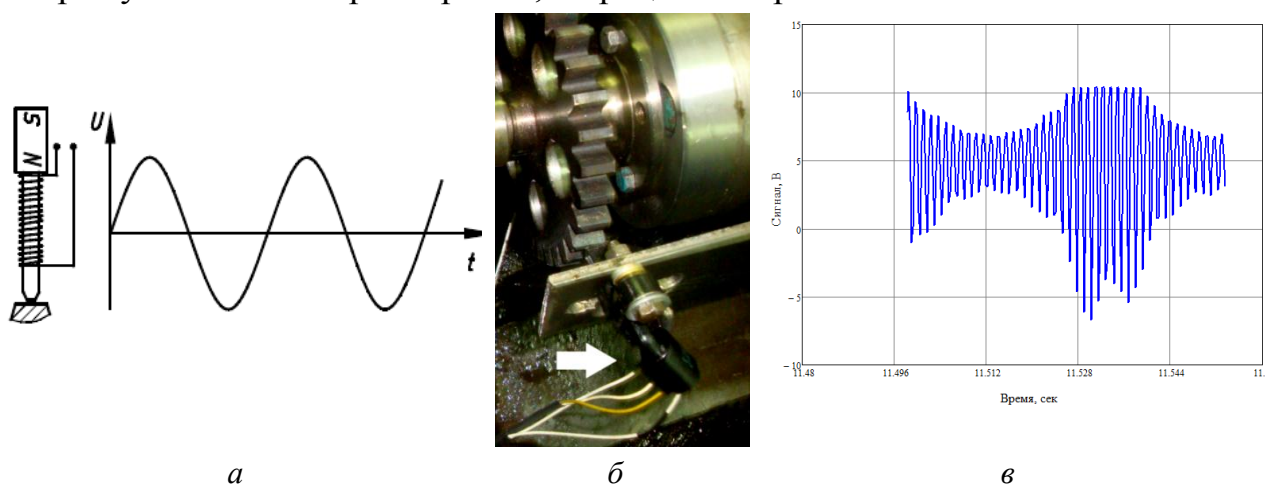


Рисунок 3 – Схема, загальний вигляд і вихідний сигнал магнітодинамічного датчика з розімкненим магнітним потоком

Недоліки: 1) низький рівень сигналу (близько 0,1 В), який залежить від зазору між датчиком і імпульсним колесом і частоти сигналу (частоти проходження зубів). Вихідний рівень при частоті, нижче деякої граничної, недостатній для спрацювання вхідної схеми; 2) низька завадостійкість (рівень завад можна порівняти з рівнем корисного сигналу); 3) чутливість до зовнішніх магнітних полів; 4) точна установка датчика щодо імпульсного колеса і точна установка імпульсного колеса.

Оскільки від величини магнітного зазору залежить рівень вихідного сигналу, датчик використовується для контролю установки імпульсного колеса: міряється амплітуда сигналу за повний оборот колеса і визначається мінімальний і максимальний рівень сигналу. Якщо вони значно відрізняються, то індуктор встановлений з биттям.

**Датчики з замкнутим магнітним потоком** мають схожу конструкцію, але до імпульсного колеса виведені обидва полюси магніту (рис. 4). При такій конструкції зуби індуктора періодично замикають магнітне поле датчика. Магнітне поле, що проходить через котушку, змінюється сильніше, ніж в датчику з розімкненим магнітним потоком, тому можна застосовувати котушки з меншою кількістю витків, або отримати сигнал більшої амплітуди.

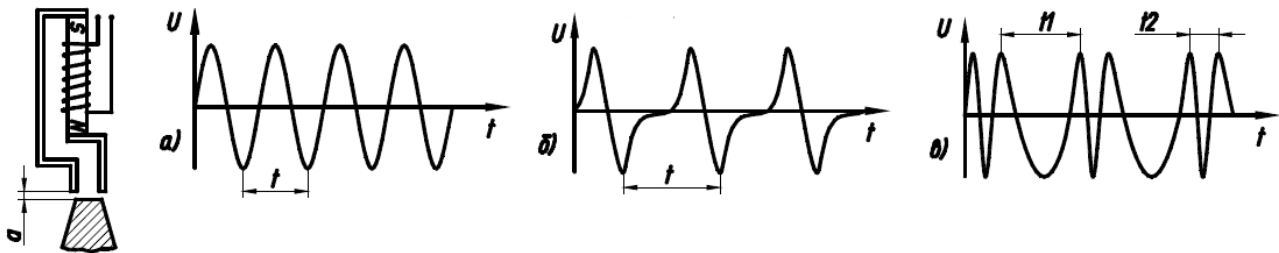


Рисунок 4 – Магнітодинамічний датчик із замкнутим магнітним потоком

**Недолік** – форма і амплітуда імпульсів значно залежать від зазору між датчиком і індуктором і геометрії зубів індуктора. В останньому випадку датчик видає спотворений сигнал, який може бути зрозумілий ЕБУ як сигнал з двома періодами. При першому і другому способі вимірювання це не суттєво, але при вимірюванні періоду імпульсів (третій спосіб) будуть отримані невірні значення. Позбутися від цього недоліку можна розділивши частоту сигналу датчика на два, але для отримання тих же часових характеристик потрібний індуктор з удвічі більшим числом зубів. На рис. 4 показані схема датчика і форми його сигналів: а) сигнал в ідеальних умовах; б) збільшений або зменшений зазор; в) геометрія зуба не відповідає відстані між полюсами.

Ще одним простим і надійним способом визначення кутової швидкості об'єкту є використання **датчиків Холла**. Вони являють собою магнітний датчик, як чутливий елемент якого використовується напівпровідник чутливий до магнітного поля. Чутливий елемент зазвичай об'єднаний в один корпус зі схемою попереднього посилення, від якого залежать параметри вихідного сигналу. Такий датчик має малі габаритні розміри і низьку вартість. На рис 5. представлений датчик Холла встановлений на шківі колінчастого вала ДВЗ трактора.

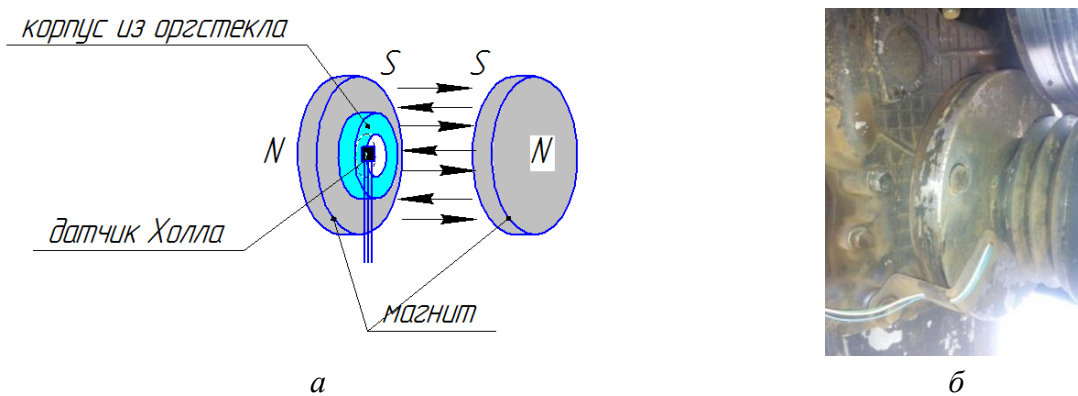


Рисунок 5 – Датчик Холла

Основний недолік магнітних датчиків полягає в тому, що на них накопичуються металеві частинки (продукти зносу), що впливають на їх роботу.

**Оптоелектронний датчик імпульсів.** На сьогоднішній день існують оптоелектронні датчики двох видів: інкрементальні і абсолютні.

Інкрементальні датчики. При обертанні осі датчика, за допомогою градуйованого диска (рис. 6, а), який розташований перед джерелом світла і фотоприймачем, генеруються імпульси. Ширина градуювань на диску становить приблизно 0,1 мм. Розширення, тобто кількість імпульсів на оберт відповідає числу градуювань на диску. Частота імпульсів відповідає швидкості обертання датчика.

Абсолютні датчики. В даному типі датчика градуювальний диск (рис. 6, б) зроблений з концентричною мережею трас. Якщо розглядати від центру, то кожна траса містить вдвічі більшу кількість градуювань на відміну від попередньої. Кожна траса відповідає цифровій бітової комбінації, яка може бути закодована в код Грея, бінарний код або BCD.



Рисунок 6 – Градуювальний диск інкрементального і абсолютного оптоелектронного датчика

При застосуванні абсолютного датчика з десятима трасами видається двоїчний код значення кута повороту в діапазоні 0 – 1023. Цифрова обробка цього сигналу може дати +1024 імпульсів за 1 оберт датчика. При цьому можна вимірювати швидкість обертання по куту повороту і часу повороту.

Датчики мають діапазон робочих температур –40...+105 і клас захисту IP65. Переваги оптоелектронних датчиків полягають в наступному: 1) рівень сигналу 5В; 2) градуювання на диску може бути дуже дрібним, внаслідок чого можна зменшити габарити датчика і / або збільшити кількість імпульсів за оберт. До недоліків можна віднести: 1) чутливість датчика до забруднення (конструкція датчика повинна бути герметична); 2) при застосуванні датчиків розглянутої конструкції вхідний вал датчика повинен мати окремий привід.

Аналіз способів вимірювання кутової швидкості показує, що найбільш прийнятним в автомобільних системах АБС є спосіб вимірювання періоду проходження зуба кодового колеса повз датчика. На сьогоднішній день магнітодинамічні датчики набули найбільшого поширення через свою простоту і надійності. ІДШ рідше застосовуються, хоча мають ряд переваг, таких як велика чутливість і стійкість. Вони менш вимогливі до точності установки і не мають постійного магнітного поля. Кількість зубів імпульсного колеса (індуктора) визначає кількість замірів швидкості колеса за один оберт. Оскільки магнітодинамічні датчики і ІДШ здатні сприймати зуби певного розміру, їх кількість обмежена допустимими габаритами імпульсного колеса. Для поліпшення якості регулювання інколи виникає потреба в застосуванні імпульсних коліс з великим числом зубів. Одне з можливих рішень – застосування оптичних датчиків.

### **Практична частина**

1. Отримати від викладача 3 експериментальних файли-звіту (індуктивного, магнітодинамічного з розімкненим контуром і датчика Холла) формату \* .txt;
2. Скласти алгоритм обробки сигналів трьох датчиків.
3. Вклеїти отримані графіки в звіт до лабораторної роботи.

### **Контрольні питання**

1. Будова і принцип роботи безконтактних датчиків кутової швидкості.
2. Переваги та недоліки ІДШ і магнітодинамічних датчиків.
3. Сфера застосування оптоелектронних датчиків швидкості.
4. Визначення мінімальної частоти опитування датчиків швидкості.

## ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ, РІВНЯ ШУМУ І ВІБРАЦІЇ

Мета роботи – ознайомлення з методиками оцінки токсичності відпрацьованих газів двигунів автомобілів, рівня шуму і вібрації.

Завдання:

1. Вивчити методику оцінки токсичності відпрацьованих газів;
2. Вивчити методику оцінки рівня шуму і вібрації;
3. Ознайомитися з обладнанням для оцінки токсичності відпрацьованих газів, рівня шуму, вібрацій.
4. Скласти звіт відповідно до пунктів 1 – 3.

### Інформаційний матеріал

**Устаткування для оцінки токсичності відпрацьованих газів.** Для визначення концентрації  $CO$  і  $C_nH_m$  повинен застосовуватися недісперсний інфрачервоний газоаналізатор (рис. 1), для  $NO_x$  – хемілюмінесцентний газоаналізатор.

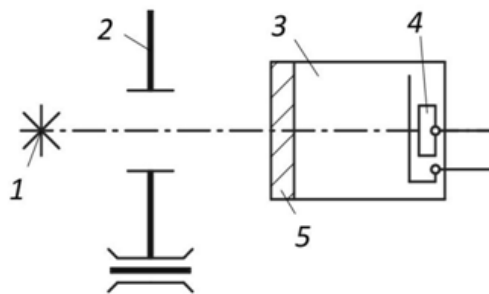


Рисунок 1 – Принципова схема інфрачервоного газоаналізатора

Газ, що досліджується, надходить в посудину променеприймача 3, який має вікно з синтетичного корунду або іншого матеріалу, що пропускає інфрачервоні промені. Джерелом 1 інфрачервоного випромінювання служать хромонікелеєві нитки розжарювання. За допомогою об'єктиватора 2 інфрачервоні промені від джерела 1 періодично, через вікно 5 опромінюють газ. Молекули  $CO$  і  $C_nH_m$  поглинають інфрачервоне випромінювання, тому температура і тиск газу в посудині змінюються. Зміна тиску сприймається мікрофоном 4, електричні сигнали якого служать мірою концентрації досліджуваного компонента газу. Сигнали проходять через підсилювач і

фіксуються шкальним цифровим приладом-показчиком.

**Устаткування для оцінки димності відпрацьованих газів дизелів.**

Визначення оптичної щільності відпрацьованих газів за ГОСТ 19025-73 передбачає застосування димомірів, що працюють за принципом просвічування газу (базова довжина мірної труби 0,5м). При випробуванні дизелів застосовують димоміри К-408 і СІДА-107; РДМ-4; ДМ-2.

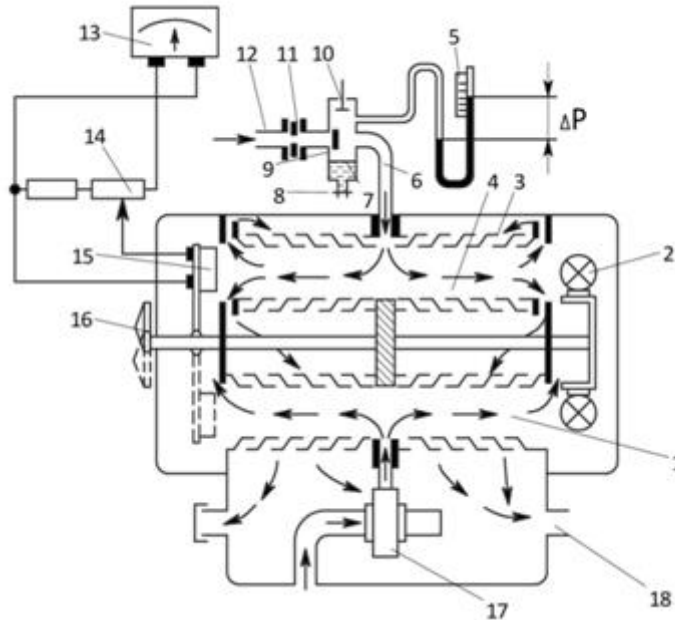


Рисунок 2 – Схема димоміра

Схема димоміра показана на рис. 2. Чисте повітря вентилятором 17 подається в канал 1. Світловий потік лампи 2 проходить через повітряне середовище каналу 1 і потрапляє на фотоелемент 15 (він в цьому випадку повертається вниз перекладним важелем 16). Фотострум фіксується показчиком 13, шкала якого розділена на 100 одиниць оптичної щільності. За допомогою регулювального опору 14 стрілка приладу 13 встановлюється під час градування на нульову поділку. Потім з газопроводу відпрацьовані гази через патрубок введення 12, регулюючий вентиль 11, золотий водовіддільник 7 з відбивачем 9, перепускним клапаном 10 і краном зливу конденсату 8 по патрубку 6 надходять в робочий канал 4 кільцевої камери 3. У ньому також відбувається просвічування газу, але через його велику димність сила струму в фотоелементі буде менше і прилад 13 вкаже відповідну оптичну щільність (димність) відпрацьованих газів. Тиск відпрацьованих газів на виході вимірюється пьезометром 5. Відводяться гази через патрубок 18. Димомір підключається до газозабірному пристрою (ГОСТ 19025-73).

При визначенні токсичності компонентів відпрацьованих газів випробування проводяться на стенді з біговими барабанами і змінними маховиками. Стенд повинен бути обладнаний пристроями для закріплення автомобіля, відведення відпрацьованих газів в еластичні камери за межі приміщення, відкачування газів з еластичних камер, програмним пристроєм, що задає їздовий цикл, а також приладом, що копіюють правильність виконання заданої програми руху автомобіля, розходоміром обсягу газу, приладами для виміру його температури і тиску, швидкодіючими газоаналізаторами безперервної дії. Стенд може бути обладнаний вентилятором для обдування радіатора системи охолодження автомобіля.



Рисунок 3 – Шумомір

На стенді програмний пристрій розташований зліва від водія і задає їздовий цикл з візуальним зображенням його графіка на екрані. Рух автомобіля також зазначено на екрані світлою плямою («зайчиком»), що переміщаються щодо ліній їздового циклу. Таким чином, водій може контролювати виконання режиму руху і коригувати швидкість автомобіля, впливаючи на педалі акселератора або гальма.

**Обладнання для визначення рівня шуму і вібрації.** Для визначення характеристик шуму застосовують шумоміри – портативні електронні прилади, що складаються з електроакустичного перетворювача-мікрофона (або акселерометра), підсилювача, коригуючого фільтра і стрілочного приладу або самописця (магнітофона, магнітографа).

У практиці випробування автомобілів знаходять застосування шумоміри з п'єзоелектричними перетворювачами прискорення типу Д-10, Д-13, з підсилювачами У-26 і У4-12, з фільтрами ФЕ-1 і самописами рівня шуму Н-110, СМ 211, РФТ. На рис. 3 показаний напівпровідниковий шумомір, який має високу чутливість і точність вимірювань.

Випробування автомобілів на рівень шуму проводять на спеціально підібраних ділянках доріг або в спеціальних безлунних камерах. Камера побудована за принципом «будинок в домі». Коробка камери встановлена на фундаменті в приміщенні на пакетах потужних циліндричних пружин. Двері і ворота виконані з звукоізолюючого матеріалу. У камері встановлений стенд

з біговими барабанами. Деталі стенда ретельно збалансовані, пофарбовані і облицьовані звукопоглинальними матеріалами. При випробуванні двигунів і автомобілів на вібрацію в якості основних показників використовуються середні квадратичні рівні віброшвидкості частин досліджуваного об'єкта в вертикальному, поздовжньому і поперечному напрямках.

Для визначення показників вібрації автомобілів використовується та ж апаратура, що і для вимірювання рівня шуму, але замість мікрофона до вимірювального тракту підключають віброперетворювач. Закріплюють віброперетворювач на поверхні досліджуваного об'єкта зазвичай за допомогою магнітного прихвата.

**Методика проведення випробувань на токсичність.** При випробуванні автомобілів на токсичність відпрацьованих газів вони повинні мати пробіг не менше 3000 км. Махові маси стенда повинні бути підібрані еквівалентно інерційним навантаженням на колеса автомобіля при розгоні його по дорозі, а гальмо стенду відрегульоване на забезпечення режиму роботи ДВЗ і трансмісії на третій передачі (відповідно швидкість автомобіля 50 км/год).

При випробуваннях автомобілів капот піднятий, при необхідності включають вентилятор для обдування радіатора. До початку випробувань температура масла і охолоджуючої рідини повинна бути 20–30 °С (в деяких випадках двигун прогрівають до температури охолоджуючої рідини 80–90 °С). Температура в приміщенні становить 20–30 °С. Випробування складаються з чотирьох однакових їздових циклів, які безперервно повторюються один за іншим. Цикл представляє режим руху автомобіля, що характеризується послідовними розгонами, рухом з постійною швидкістю і уповільненням до нульової швидкості на першій передачі, потім першій і другій і далі на першій, другій, третій передачах. На виконання кожного елемента режиму (розгін, гальмування, перемикання передач і т.д.) відводиться строго певний час. Загальна тривалість виконання чотирьох циклів 13 хв.

Після пуску двигуна і роботи його в режимі холостого ходу протягом 40 с проводять відбір газів в еластичну камеру збору газів шляхом перемикання спеціальної заслінки газовідборного пристрою. Після закінчення випробувань камера збору газів закривається, а заслінка відкривається, гази відводяться за межі приміщення. Після заповнення камери гази відкачуються, за допомогою лічильника витрати газів визначаються їх обсяг, температура і тиск. Після відповідних розрахунків

визначають масу токсичних речовин. Для автомобілів масою понад 2150 кг наступні гранично допустимі норми токсичних речовин:  $CO$  – 110 г;  $NO_x$  – 4,5 г;  $C_nH_m$  – 6,4 м.

Для визначення викиду шкідливих речовин дизелями встановлено 13 контрольних 10-хвилинних режимів роботи з різними частотами і навантаженнями на кожному них. Питомі норми викиду [г/(кВт·год)] складають  $g_{CO} = 9,5$ ;  $g_{C_nH_m} = 3,4$ ;  $g_{NO_x} = 18,53$ . Димність дизелів (ГОСТ 19025-73) визначається на гальмівному стенді на режимах роботи по зовнішній швидкісній характеристиці. Заміри проводять, починаючи від номінальної частоти обертання і до 1000 об/хв, не менше ніж у шести точках. За остаточний результат приймають середнє арифметичне значення трьох вимірів для кожного режиму. Вимірювання димності здійснюють також при розгоні дизеля від номінальної до максимальної частоти обертання. Виконують вісім вимірів протягом 2–2,5 хв. Норми димності становлять для режиму швидкісної характеристики не більше 45%, для режиму розгону 40%, а для дизелів з наддувом 50%.

**Методика проведення випробувань на шум і вібрацію.** При визначенні рівня шуму і вібрації автомобілем знос шин повинен бути не більше 30% висоти малюнка протектора. Випробування проводяться без корисного навантаження автомобіля і без причепа. На відстані 50 м від осьової лінії випробувальної дороги в обидві сторони не повинно бути будівель і інших об'єктів, що відбивають звук, а також джерел сильних магнітних полів. Довжина вимірювальної ділянки 20 м. На лініях початку і кінця відліку вимірювань на відстані  $(7,5 \pm 0,2)$  м від осьової лінії дороги встановлюють мікрофон на висоті  $(1,2 \pm 0,1)$  м від покриття дороги. В автомобілі джерела шуму (вентилятори, кондиціонер, обігрівач і т.д.) включають на повну потужність, вікна кабіни закриті. Автомобіль звичайно рухається на другий або третій передачах зі швидкістю 50 км / год. У момент перетину лінії початку вимірювань крайньою передньою частиною автомобіля водій різко натискає на педаль подачі палива до упору, а потім також різко відпускає її в момент перетину лінії кінця вимірювань крайньою задньою частиною автомобіля. Вимірювання рівня шуму і вібрації виконують при заїздах в двох протилежних напрямках. Вимірювання виконують не менше 3 разів з кожного боку автомобіля і вважають дійсними, якщо різниця між трьома результатами вимірювань з однієї і тієї ж сторони не перевищує 2 дБ за шкалою А.

При вимірюванні внутрішнього шуму чотири мікрофони встановлюють

на першому і останньому рядах сидінь, а також між ними (якщо число рядів сидінь більше 6). Відстань від мікрофона до стінки кабіни не менше 0,2 м. Проводиться не менше трьох вимірів. За остаточний результат приймають середнє арифметичне значення. Допустимі рівні шуму (ГОСТ 19358-74) для легкових автомобілів за шкалою А становлять 82 (80) дБ; для вантажних – 84–89 (85) дБ; для автобусів – 85-92 (75–80) дБ.

### **Практична частина**

#### ***Порядок визначення вмісту СО в автомобілі з бензиновим двигуном:***

1. Перевірити зовнішнім оглядом справність випускної системи;
2. Пустити і прогріти двигун;
3. Повністю відкрити повітряну заслінку карбюратора;
4. Встановити пробовідбірні пристрої (зонд) в випускну трубу на глибину 300 мм від зрізу;
5. Підготувати газоаналізатор до роботи: перевірити включенням джерела живлення, встановити стрілку приладу на «нулі» вимірювальної шкали, під'єднати шланг пробовідбірні пристрої;
6. Пустити двигун, встановити мінімальну частоту обертання на холостому ході  $n_{\min x.x}$ , через 30 с виміряти вміст СО;  
Вміст СО відповідно до ГОСТ не повинний перевищувати 1,5% .
7. Встановити частоту обертання на холостому ході, рівну 0,6 номінальної частоти обертання і виміряти вміст СО. Зміст СО не повинен перевищувати 1%.

### **Контрольні питання**

1. Як проводиться оцінка токсичності відпрацьованих газів двигунів.
2. Методи оцінки рівня шуму і вібрації.
3. Одиниці виміру, що використовуються при оцінці токсичності відпрацьованих газів двигунів, а також рівня шуму і вібрацій автомобілів.
4. Рівень токсичності відпрацьованих газів, рівні шуму і вібрацій відповідно до ГОСТ України.
5. Екологічна безпека автомобілів і тракторів як одна з основних умов при їх сертифікації.
6. Причини виникнення підвищеної димності, вібрацій і шумів автомобілів і можливі способи їх усунення.
7. Прилади й устаткування, необхідні для проведення оцінки токсичності відпрацьованих газів двигунів автомобілів, рівня шуму і вібрації.

Лабораторна робота №4  
**МЕТОДИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією підсилювача сигналу розбалансування тензометричного моста на базі сучасного операційного підсилювача. Отримати практичні навички експериментального визначення фізичних величин.

Завдання:

1. Вивчити принципову схему електронного тензопідсилювача на базі операційного підсилювача AD623;
2. Вивчити конструкцію датчика крутного моменту з передачею сигналу по радіоканалу;
3. Вивчити конструкцію найпростішого датчика тиску;
4. Провести тарування валу з тензометричним мостом;
5. Провести тарування датчика тиску на вантажопоршневому манометрі МП-60;
6. Побудувати тарувальні характеристики датчика крутного моменту і датчика тиску;
7. Скласти звіт відповідно до пунктів 1–6.

**Інформаційний матеріал**

Операційний підсилювач (ОП) – це електронний підсилювач напруги з високим коефіцієнтом посилення, що має диференційний вхід і зазвичай один вихід. Напруга на виході може перевищувати різницю напруг на входах в сотні або навіть тисячі разів. ОП є найбільш затребуваними приладами серед сучасних електронних компонентів, вони знаходять своє застосування в споживчій електроніці, застосовуються в індустрії, наукових приладах та зазвичай випускаються як окремі компоненти, а так само можуть бути елементами більш складних електронних схем. Диференціальні входи ОП складаються з двох виводів –  $V_+$  та  $V_-$ , ідеальний операційний підсилювач підсилює тільки різницю напруг між двома цими входами, ця різниця називається диференціальним напругою на вході. На даний момент існує широка номенклатура ОП в різному ціновому діапазоні. Інструментальний операційний підсилювач AD623 з напругою зовнішнього живлення 3 ... 12 В налаштований на одиничне посилення ( $K_{yc} = 1$ ) і може бути запрограмований за допомогою зовнішнього резистора ( $K_{yc} = (10^5 / R_x) + 1$ ).

- $V_+$  - вхід, що неінвертується
- $V_-$  - вхід, що інвертується
- $V_{out}$  - вихід
- $V_{S+}$  - плюс напруги живлення
- $V_{S-}$  - мінус напруги живлення

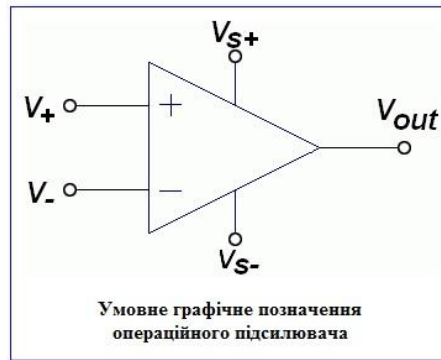


Рисунок 1 – Умовне позначення ОП

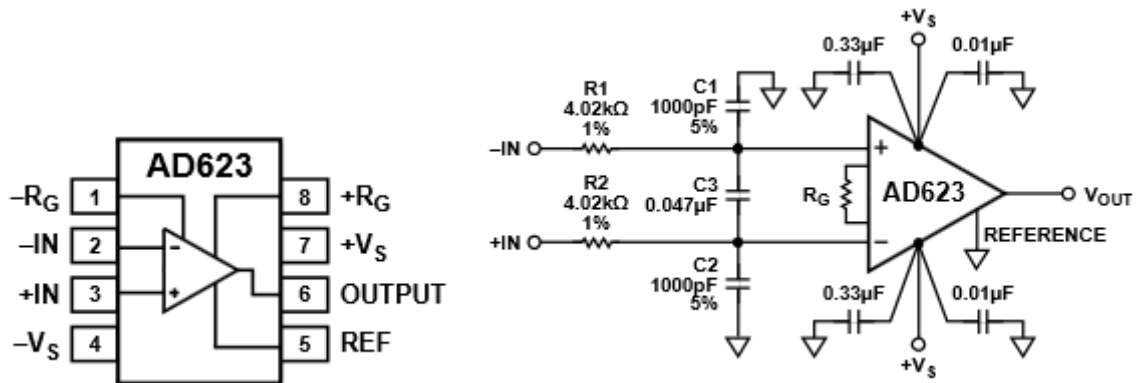


Рисунок 2 – Распиновка і рекомендований спосіб включення ОУ AD623 в ланцюг

На рис. 3 представлена схема підсилювача сигналу тензомоста з використанням ОУ AD623. Схема розрахована на зовнішнє харчування 4,8 ... 6 В. В якості зовнішнього джерела живлення може використовуватися імпульсний БП або набір акумуляторних батарей. Стабілізатор напруги LDK 120M33 забезпечує подачу опорного напруги + 3,3 на підсилювач по напруги AD623 і підсилювач по току AD8542. Останній дає можливість розміщення пристрою, що зчитує або індикатора на віддаленні до 10 м. Як індикатор може бути застосований модуль АЦП E14-140 або вольтметр.

Вимірювання крутного моменту на валах, що обертаються за допомогою тензорезисторів має ряд особливостей. Наявність осьового і радіального биття на валу не дозволяє застосовувати струмозійомники відомих конструкцій. Розроблений на кафедрі «АТ» пристрій для вимірювання крутного моменту на валах автомобілів і тракторів – ефективно працює при наявності биття, всі складові є загальнодоступними радіоелементами, а проведені експерименти підтвердили його надійність, точність і швидкодію. Комплект складається з двох блоків 1, 2 (рис. 4) розміщених в пластикових радіопрозорих корпусах. Перший встановлюється на валу біля тензомоста, другий – на відстані до 10 метрів від першого в зоні впевненого радіоприйому. Другий блок підключений до контактної колодки модуля АЦП L-Card E14-140MD кабелем довжиною до 20 метрів.

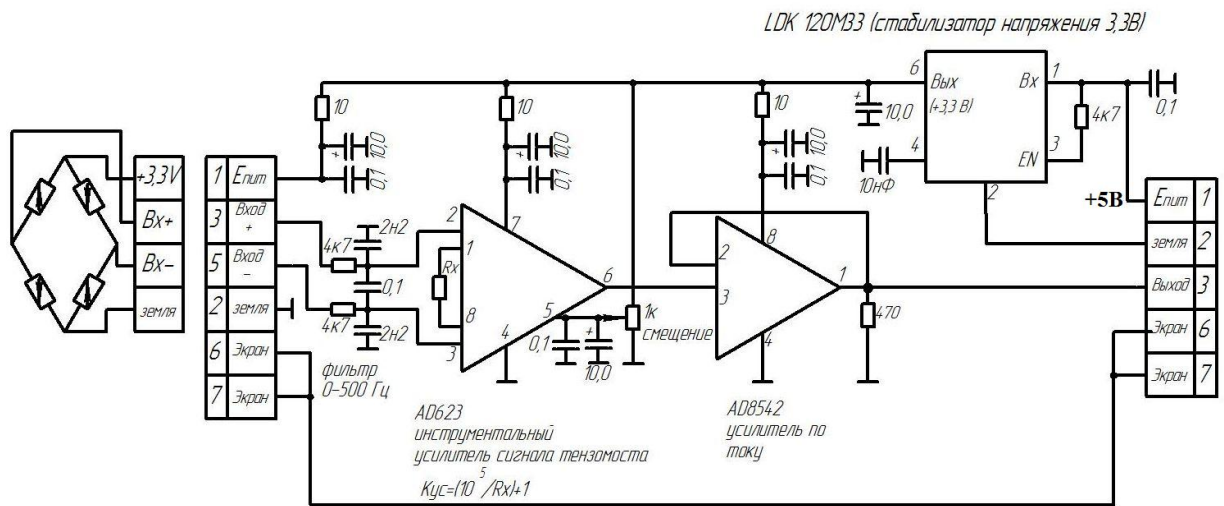


Рисунок 3 – Схема підсилювача сигналу тензомоста на базі ОП AD623

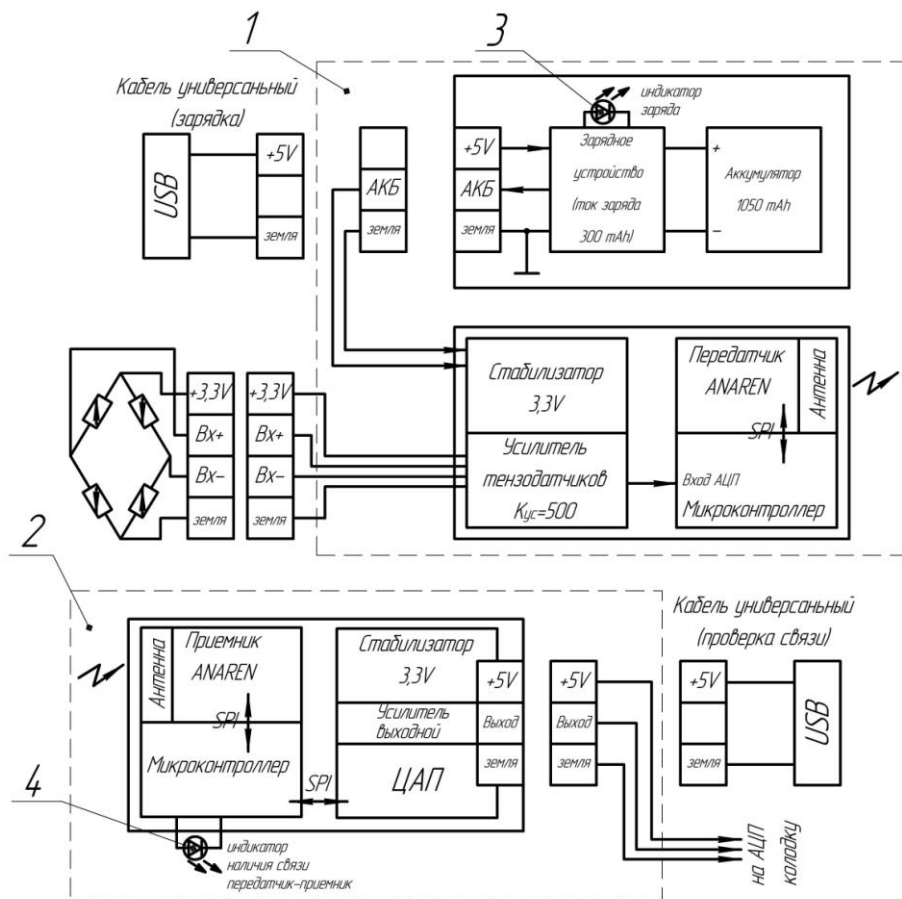


Рисунок 4 – Блок-схема комплекта датчика крутного момента

Перший блок призначений для:

- 1) посилення сигналу тензомоста (схема тензопідсилювача наведена на рис. 2);
- 2) посилення сигналу по струму для узгодження з входом АЦП мікроконтролера M430G25553 (плата підсилювача тензомоста, АЦП і

передавача представлена на рис. 5);

- 3) аналого-цифрового перетворення в мікроконтролері M430G25553;
- 4) формування мікро контролером M430G25553 посилок, що містять дані про мітки часу і відповідних їм довічних кодах з АЦП і видачі їх по інтерфейсу SPI на передавач ANAREN CC110L;
- 5) передачі посилок по радіоканалу передавачем ANAREN CC110L;
- 6) автономного живлення від акумулятора ємністю 1050 mAh.

Автономне зарядний пристрій дозволяє заряджати акумулятор від 5-тнівольтового джерела живлення, підключившись до роз'єму USB або з контактної колодці модуля АЦП.

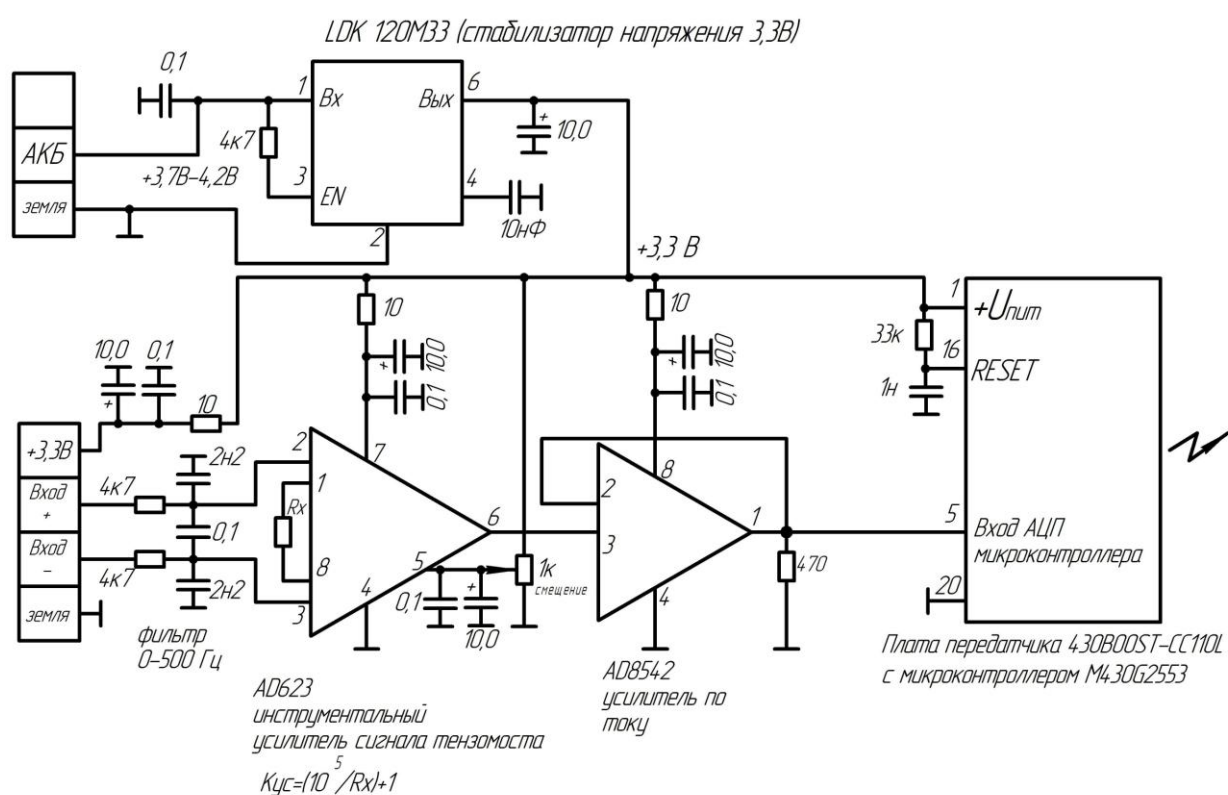


Рисунок 5 – Принципова схема блоку №1

Живлення блоку 1 автономне від літій-іонного акумулятора 3,7 вольт ємністю 1050 mAh. Споживаний блоком струм 40 міліампер при підключеному тензомості. Акумулятор і зарядний пристрій (мікросхема STC4054) знаходяться на окремій платі блоку, зарядка проводиться підключенням за допомогою універсального кабелю до порту USB, струм заряду 330 міліампер визначається резистором в схемі зарядного пристрою. У зарядженому стані акумулятор видає напругу + 4,2 вольт, в міру розряду напруга буде плавно зменшуватися до + 3,7 вольт – це мінімальна робоча напруга для стабілізатора + 3,3 вольт на мікросхемі LDK120M33. Напруга

живлення подається далі через RC-фільтри на тензомост, підсилювач сигналу тензомоста, підсилювач струму, мікроконтролер M430G25553 і передавач ANAREN CC110L. Сигнал з тензомоста надходить на два диференціальних входи інструментального підсилювача AD623 через фільтр низьких частот 0-500 Гц. Коефіцієнт посилення сигналу тензомоста визначається резистором підключеним до ніжок 1 і 8 підсилювача AD623 і може бути встановлений в межах 1 – 1000. В нашому випадку коефіцієнт посилення встановлений на значенні 370. Також в підсилювачі AD623 є можливість використовувати функцію «зміщення» – постійна напруга з багатооборотного потенціометра подається на 5 ніжку підсилювача AD623. Ця напруга додається до посиленого сигналу тензомоста і надходить на вихід 6 підсилювача. Напруга «зміщення» використовується для компенсації початкового розбалансування тензомоста і встановлення часу початку «робочої точки» тракту тензопідсилювача. Далі сигнал надходить на підсилювач струму, зібраний на операційному підсилювачі AD8542 для узгодження з входом АЦП мікроконтролера M430G25553.

Аналого-цифрове перетворення в мікроконтролері M430G25553 проводиться з частотою вибірки 2 кГц в 10-тирозрядний код. Мікроконтролер M430G25553 формує посилки, що містять дані про мітки часу і відповідних їм двоїчних кодах з АЦП і видає їх по інтерфейсу SPI на передавач ANAREN CC110L.

Другий блок (рис. 6) виконує наступні функції:

- 1) прийом ресивером ANAREN CC110L посилок цифрових даних, що містять мітки часу і відповідні їм виконавчі коди з АЦП;
- 2) зчитування мікроконтролером M430G2553 посилок з ресивера ANAREN CC110L по інтерфейсу SPI;
- 3) обробка отриманих посилок мікроконтролером M430G2553 і видача їм в реальному часі двійкових кодів на ЦАП по SPI інтерфейсу;
- 4) цифро-аналогового перетворення – отримуємо аналоговий сигнал;
- 5) посилення по току – необхідне для підключення до віддаленого (до 20 м.) входу модуля АЦП L-Card E14-140MD.

Блок 2 має зовнішнє живлення + 5 вольт, а в режимі тестування підключається універсальним кабелем до порту USB. Живлення + 5 вольт надходить на стабілізатор напруги + 3,3 вольт, далі на мікросхему LD1117S33TR. З неї живлення подається на ресивер ANAREN CC110L, мікроконтролер M430G2553, ЦАП AD5641 і підсилювач AD8542.

Відповідно до програми, записаної в пам'ять мікроконтролера

M430G2553 періодично по інтерфейсу SPI зчитує з ресивера ANAREN CC110L прийняті по радіоканалу посліжки цифрових даних, що містять мітки часу і відповідні їм виконавчі коди з АЦП. При обробці отриманих посліжок мікроконтролером M430G2553 формується потік даних зі швидкості 2000 10-тирозрядних вибірок в секунду і видача в реальному часі двійкових кодів на ЦАП AD5641 по SPI інтерфейсу. Цифро-аналоговий перетворювач AD5641 видає аналоговий сигнал розмахом від 0 до + 3 вольт, далі аналоговий сигнал надходить на підсилювач струму.

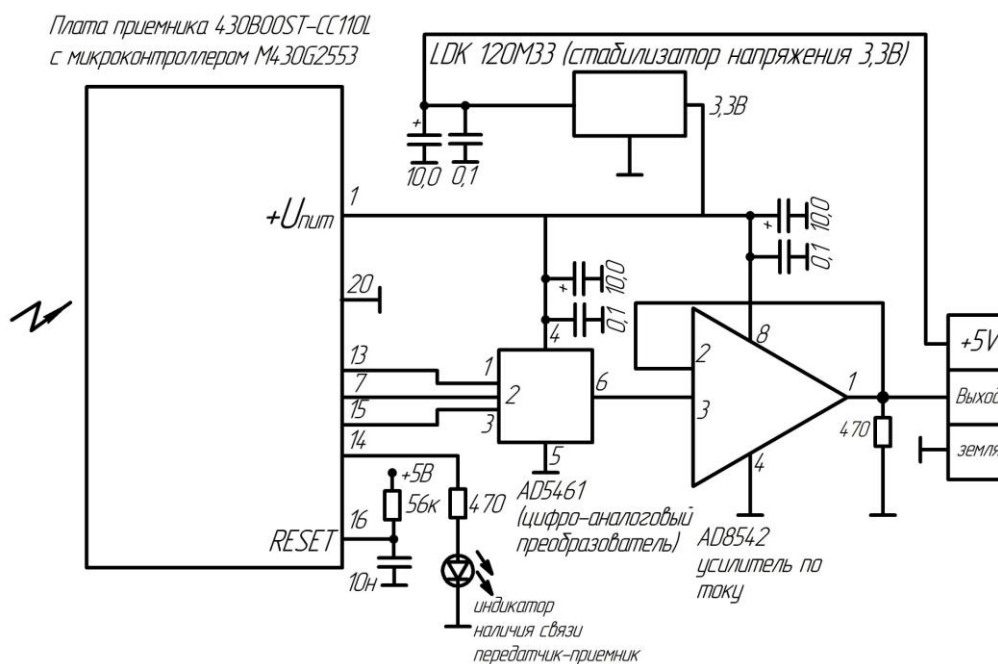


Рисунок 6 – Принципова схема блоку №2

Варто відзначити, що ціна даного пристрою приблизно в 9 разів нижче ніж у найближчого аналога виробництва компанії «Тілком».

На рис. 7, а представлений зовнішній вигляд комплексу датчика крутного моменту встановленого на валу, на рис. 7, б – пристосування для тарування. На рис. 8, а представлена конструкція датчика тиску, на рис.8, б – вантажопоршневий манометр МП-60.



а



б

Рисунок 7 – Датчик крутного моменту

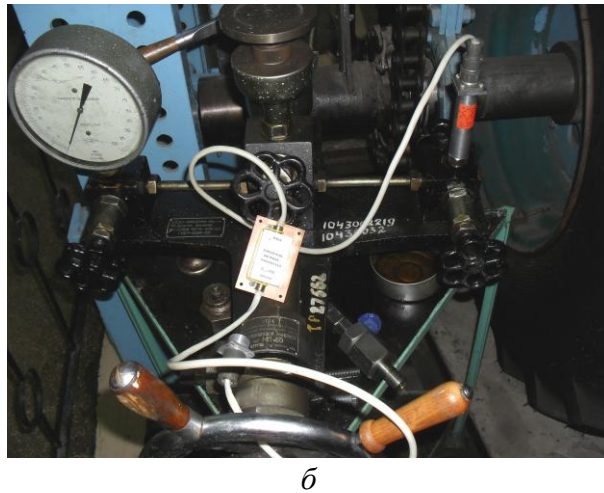
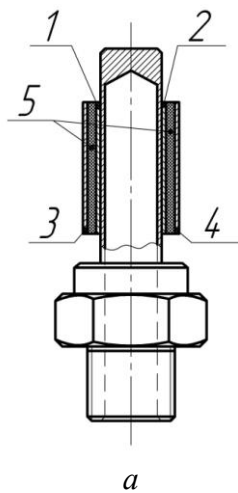


Рисунок 8 – Датчик тиску:

1,2 – робочі тензорезистори; 3,4 – компенсуючі тензорезистори; 5 – шар термопасти

### Практична частина

Порядок виконання завдання:

Для виконання завдання з лабораторної роботи група студентів розбивається на дві підгрупи. Перша підгрупа виконує тарування датчика крутного моменту, друга – проводить тарування датчика тиску.

#### *Тарування датчика крутного моменту:*

- Провести попередню зарядку акумуляторної батареї датчика;
- Надійно закріпити вал, що тарується, на балці;
- Встановити датчик, підключити зовнішнє джерело живлення;
- Сигнальні кабелі підключити до універсального мультиметру DT-830В в режимі вольтметра;
- Провести настройку тензопідсилювача, для чого встановити «нуль» за допомогою налаштувального гвинта на блоці №1;
- Виконати тарування вала в наступній послідовності:
  1. Занести в табл. 1. початкове показання вольтметра відповідне нульового моменту, що крутить.
  2. Закріпити рукоятку встановленої довжини ( $l = 0,5$  м,  $m = 0,8$  кг) на рухомий маточині балки. закріпити кронштейн ( $m = 2,5$  кг) і провести навантаження еталонними вантажами, заносючи результати в табл. 1.
  3. Провести розвантаження балки, знімаючи кожного разу по одному вантажу, вимірюючи і записуючи результати в табл. 1, до повного розвантаження вала.
  4. Повторити режим «навантаження – розвантаження» 3 рази.
  - 5 Вивести середнє значення відповідно до кожного режиму.
- За результатами тарування побудувати на міліметрівці графік

залежності  $V_M = f(Q)$  і приклеїти його в лабораторний журнал.

### **Тарування датчика тиску:**

- Переконалися в наявності масла в розширювальному бачку вантажопоршневого манометра МП-60 (при необхідності долити);
- Встановити датчик, підключити тензопідсилювач, підключити зовнішнє джерело живлення;
- Сигнальні кабелі підключити до універсального мультиметру DT-830В в режимі вольтметра;
- Провести настройку тензопідсилювача, для чого встановити «нуль» за допомогою налаштувального гвинта на блоці №1;
- Виконати тарування датчика в наступній послідовності:
  1. Занести в табл. 1. початкове показання вольтметра відповідне нульового тиску.
  2. Додавати послідовно еталонні вантажі на вантажопоршкову колонку створюючи тиску рукояткою преса, заносити результати в табл. 1;
  3. Провести розвантаження датчика, знімаючи кожного разу по одному вантажу, записуючи результати в табл. 1, до повного розвантаження датчика.
  4. Повторити режим «навантаження – розвантаження» 3 рази.
  5. Вивести середнє значення відповідно до кожного режиму.
- За результатами тарування побудувати на міліметровій графік залежності  $V_p = f(Q)$  і приклеїти його в лабораторний журнал.

Таблиця 1

Величина сили прикладеної до валу Q, Н (Величина тиску створеного вантажопоршневим манометром) P, МПа	Показання вольтметра, В						Середнє значення
	Навантаження			Розвантаження			
	1	2	3	1	2	3	

### **Контрольні питання**

1. Область застосування операційних підсилювачів і принцип їх роботи.
2. Основні елементи тензопідсилювача, їх призначення.
3. Принцип роботи датчика крутного моменту з передачею сигналу по радіоканалу.
4. Альтернативні конструкції датчиків крутного моменту для обертових валів.

Лабораторна робота №5

**ВИВЧЕННЯ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ  
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЇ  
ТРАНСМІСІЇ**

Мета роботи – ознайомитися з технічними характеристиками лабораторного стенду ГОМТ. Вивчити контрольно-вимірювальний комплекс.

Завдання:

1. Вивчити кінематичну схему стенда;
2. Вивчити механічну і гідравлічну частину стенду;
3. Вивчити конструкцію, принцип дії і пристрій регульованого джерела живлення порошкового навантажувального гальма ПТ–100;
4. Познайомитися з сучасної портативної вимірювальної системою на базі ноутбука;
5. Скласти алгоритм і обробити файл-звіт експерименту (9 каналів);
6. Скласти звіт відповідно до пунктів 1–5.

**Інформаційний матеріал**

На рис. 1 приведена кінематична схема лабораторного стенду ГОМТ і місця установки контрольно-вимірювальних приладів.

В якості первинного джерела обертання виступає трифазний асинхронний електродвигун А2-72-4 №5965 потужністю 30 кВт і частотою обертання при номінальній навантаженні  $n_{дв} = 1450$  об/хв. Обмотки електродвигуна були з'єднані за схемою «зірка», ток живлення  $U_{ном} = 380$  В.

Блок редукторів з планетарним механізмом виконаний на основі коробки передач автомобіля ЗАЗ 1102 «Таврія» з передавальним відношенням головної передачі  $i_{гп} = 17 / 61$ . Всі механічні компоненти поєднувалися між собою обробленими до визначеної довжини передніми півсями із шарнірами рівних кутових швидкостей автомобіля ЗАЗ 1102 «Таврія», що дозволило відмовитися від цільної станини.

Для гідросистеми використовується масло МГЕ-46В призначене для гідростатичного приводу сільськогосподарської, будівельно-дорожньої та іншої спеціальної техніки, що працює при тиску до 35 МПа з короткочасним підвищенням до 42 МПа в діапазоні температур від  $-0...+ 80$  °С. На рис. 2, а представлені основні елементи гідросистеми ГОП GTN Hydraulics 3K10 P090 (рис. 2,б).

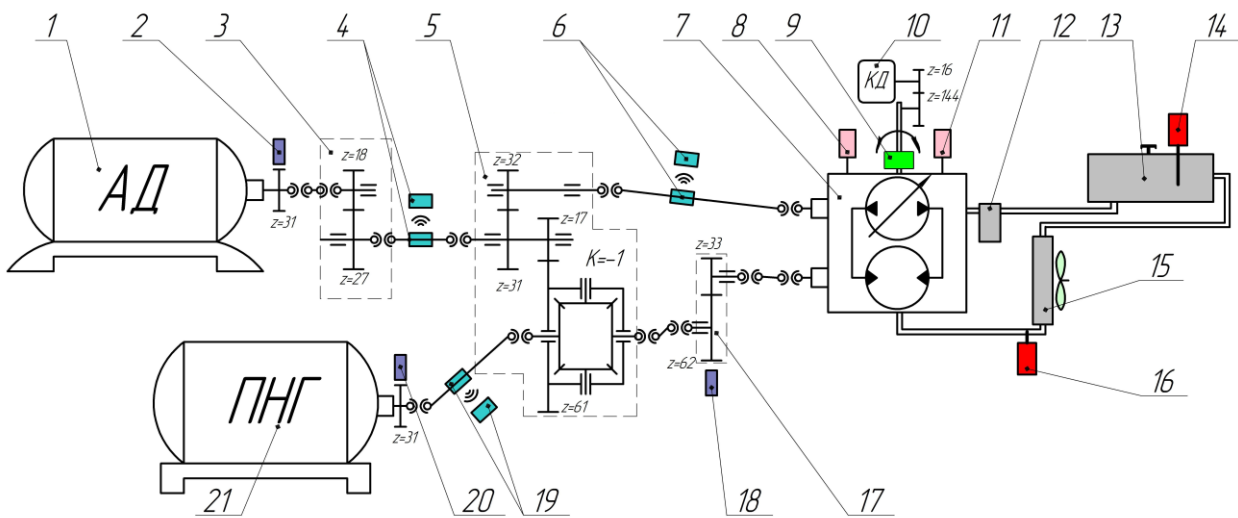
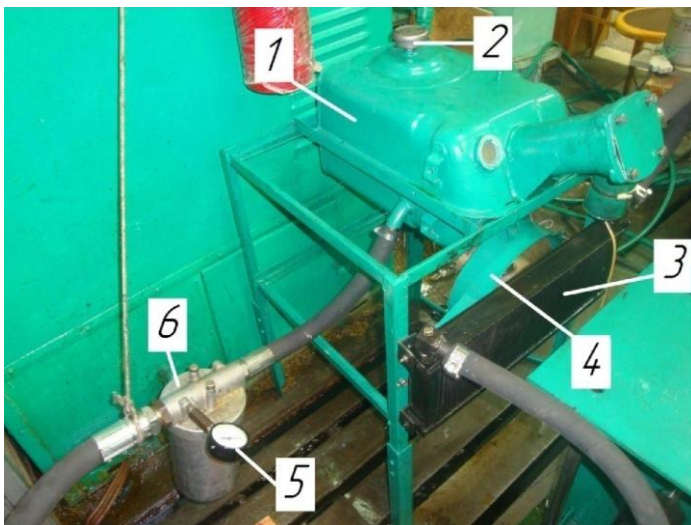
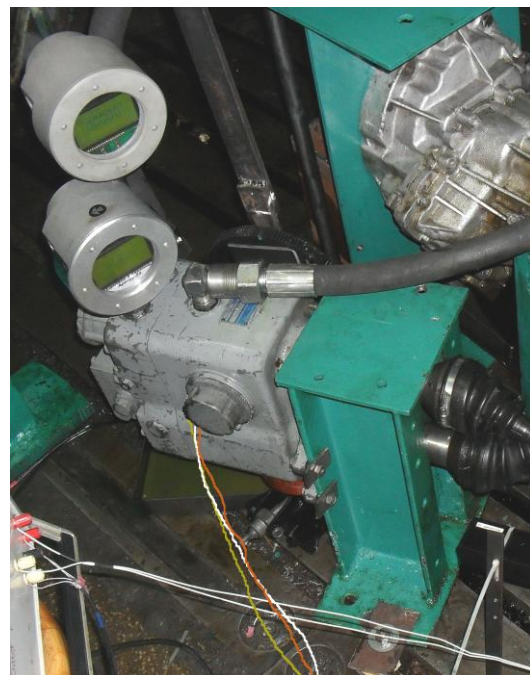


Рисунок 1 – Кінематична схема стану ГОМТ з диференціалом «на виході»:

1 – асинхронний електродвигун; 2, 18, 20 – датчики частоти обертання; 3 – понижуючий редуктор; 4, 6, 19 – датчики крутного моменту; 5 – блок редукторів з планетарною передачею; 7 – гідрооб'ємна передача; 8, 11 – датчики надлишкового тиску; 9 – датчик положення важеля управління ГОП (абсолютний енкодер); 10 – кроковий електродвигун; 12 – фільтр тонкого очищення; 13 – бак; 14, 16 – датчики температури; 15 – теплообмінник з вентилятором; 17 – узгоджувальний редуктор; 21 – порошковий навантажувальний гальмо.



1 – бак; 2 – сапун; 3 – теплообмінник;  
4 – вентилятор; 5 – мановакуметри; 6 – фільтр тонкої очистки



а

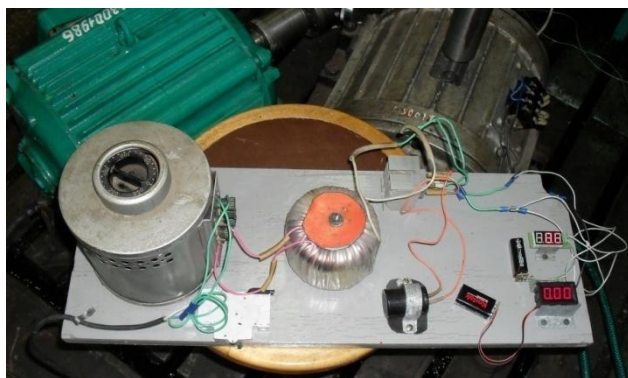
б

Рисунок 2 – Гідросистема лабораторного стану ГОМТ

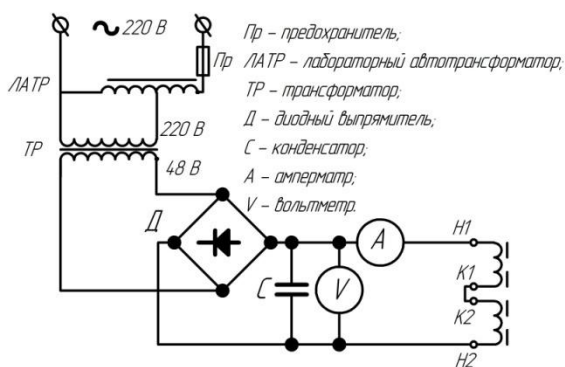
Для визначення перепаду робочого тиску насоса в корпусі моноблока GTN Hydraulics 3K10 P090 передбачені місця для установки датчиків надлишкового тиску. На стенді використовувалися два датчик тиску

«Арктур-03» № 5649 та №5283 (рис. 2, б) Призначені для безперервного прямопропорційного перетворення тиску в сигнал постійного струму в діапазоні 0 ... 20 мА (для перевodu в вольтової сигнал були використані прецензійні резистори опором 197,8 Ом і 198,3 Ом. Клас точності датчиків 0,1, а верхня межа вимірюваного тиску 250 кгс/см<sup>2</sup>.

Максимально наблизити роботу трансмісії в складі лабораторного стенду до режимам роботи реального трактора з ГОМТ вдалося, використовуючи в якості навантажувального пристрою порошкове електромагнітне гальмо з регульованим джерелом живлення. Електромагнітне порошкове навантажувальний гальмо (ПНГ) ПТ-100М (рис. 3) використовувалося для створення статичних і змінних по заданому закону навантажень на вихідному валу в промислових верстатах і випробувальних стендах. Принцип дії ПНГ полягає в наступному: рухливий статор і нерухомий ротор мають свої обмотки, зазор між статором і ротором заповнений магнітним порошком (суміш калійного заліза і мінерального масла), при подачі напруги на обмотки ПНГ магнітна рідина «застигає» тим самим створюючи гальмівний момент пропорційний напрузі живлення.



а



б

Рисунок 3 – Регульований джерело живлення електромагнітного ПНГ:  
а – зовнішній вигляд джерела живлення; б – принципова електрична схема

**Контрольно-вимірювальний комплекс.** Зовнішній модуль АЦП Е14-140М призначений для створення портативних вимірювальних систем на базі ноутбука. Для реєстрації, візуалізації і обробки аналогових сигналів записаних за допомогою вимірювальних плат або модулів АЦП виробництва ТОВ «Л-Кард» призначена програма LGraph2. Під час проведення досліджень результати всіх експериментів зберігалися в табличній формі в текстові файли-звіти, цей спосіб є зручним коли передбачена подальша робота з сигналами. На рис. 4 представлений зовнішній вигляд модуля АЦП Е14-140М, в табл.1 – основні технічні характеристики.



Рис. 4 – Зовнішній вид модуля АЦП E14-140M

Таблиця 1 – Технічні характеристики модуля АЦП E14-140M

	Параметр	Значення
1.	АЦП	14бит/200 кГц
2.	Кількість каналів	16 диференціальних чи 32 з «загальною землею»
3.	Піддіпазони вимірювання вихідного сигналу	$\pm 10$ В; $\pm 2,5$ В; $\pm 0,6$ В; $\pm 0,15$ В.
4.	Живлення	від USB шини
5.	Струм, що споживається	до 240 мА (в активному режимі без ЦАП), до 380 мА (в активному режимі з ЦАП)
6.	Вихід для живлення зовнішніх ланцюгів	+5 В, до 100 мА
7.	Похибка часу при дискретизації $\leq 2000$ Гц	$\pm 1\%$

При стендових лабораторних дослідженнях ГОМТ безперервно і синхронно записувалися:

- кутові швидкості вала електродвигуна  $\omega_{ДВ}$ , вала порошкового навантажувального гальма  $\omega_{ПНГ}$  та вала гідромотора  $\omega_M$ ;
- надлишковий тиск на вході  $P_1$  та на виході  $P_2$  з гідронасоса;
- крутний момент на валу електродвигуна  $M_{ДВ}$ , крутний момент на валу гідронасоса  $M_H$ , момент опору на валу навантажувального гальма  $M_{ПНГ}$ ;
- параметр регулювання гідронасоса  $e$ ;
- температура на вході в маслоохолоджувач  $T_1$  та в баку  $T_2$  (відстежувалася за показниками на виносних дисплеях датчиків температури).

В табл. 2 представлена методика обробки і апроксимуючі рівняння для перерахунку вольтових сигналів з файлів-звітів в фізичні величини.

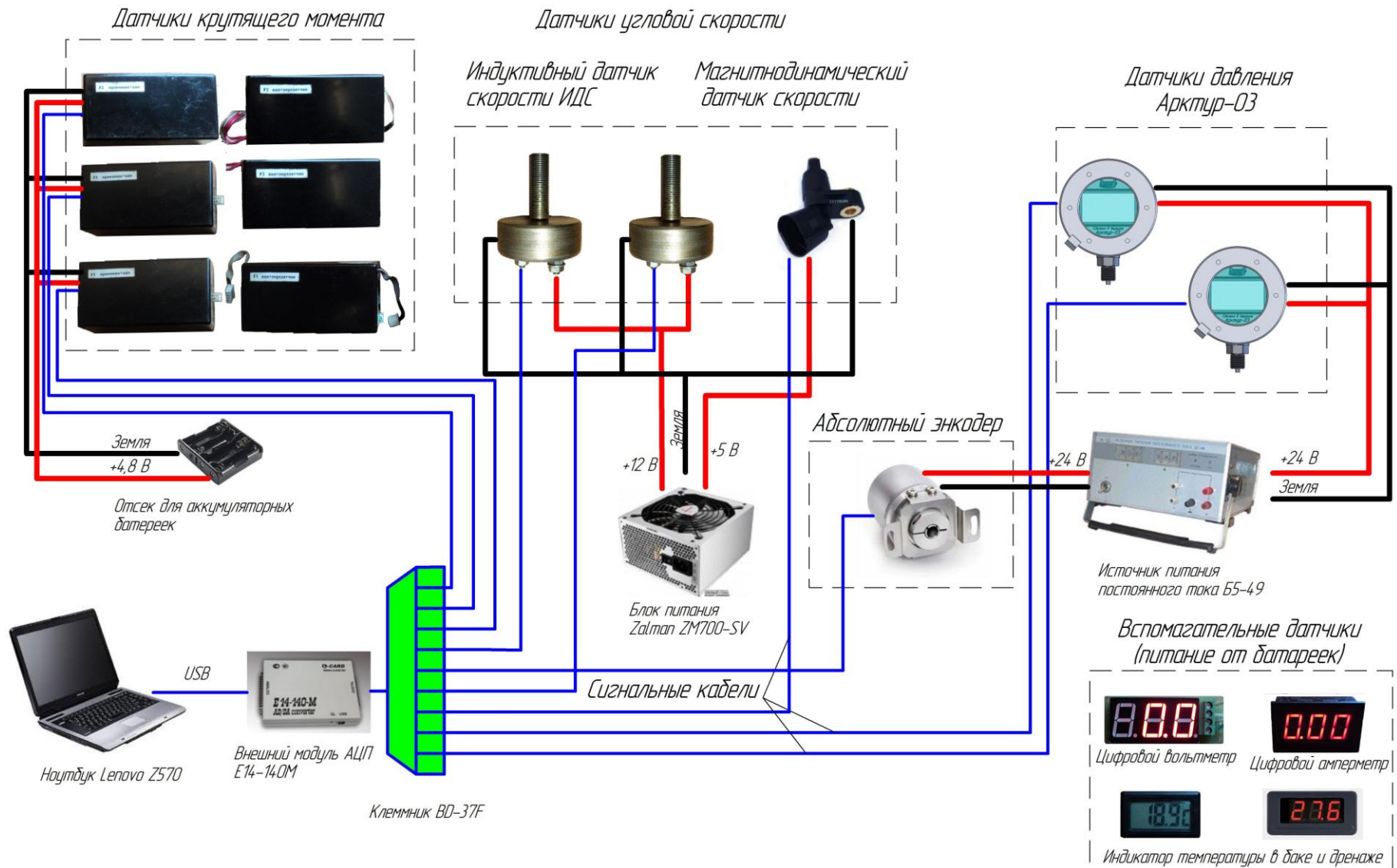


Рисунок 4 – Контрольно-вимірювальний комплекс стану ГОМТ на базі ноутбука

Таблиця 2 – Методика обробки файлів-звітів

№ каналу на клемнику АЦП	Позн.	Рівняння для перерахунку
<b>1 канал</b> (швидкість вала АД, магн. датчик швидк)	$\omega_{ДВ}$ [с <sup>-1</sup> ]	$\omega_i^X = \frac{60}{(t_i^\Phi - t_i^H)} \cdot \frac{\pi}{30}$ $z_{ДВ} = 31; z_M = 62; z_{ПГМ} = 31.$ $t_i^\Phi - \text{початок періоду «зуб-впадина», с; } t_i^H - \text{кінець періоду «зуб-впадина», с; } i - \text{номер періоду.}$
<b>2 канал</b> (швидкість вала ГМ, датчик ІДШ)	$\omega_M$ [с <sup>-1</sup> ]	
<b>3 канал</b> (швидкість вала ПНГ, датчик ІДШ)	$\omega_{ПНГ}$ [с <sup>-1</sup> ]	
<b>4 канал</b> (крутний момт. на валу АД, ТДКМ №2)	$M_{ДВ}$ [Нм]	$M_{ДВi}^{ГОМТ1} = 13,73 \cdot x_i^3 - 140,1 \cdot x_i^2 + 575,5 \cdot x_i - 750,6$ $M_{ДВi}^{ГОМТ2} = -3,813 \cdot x_i^3 + 35,08 \cdot x_i^2 - 23,42 \cdot x_i - 82,8$
<b>5 канал</b> (крутний момт. на валу ГН ТДКМ №1)	$M_H$ [Нм]	$M_{Hi} = 13,55 \cdot x_i^5 - 114,7 \cdot x_i^4 + 349,6 \cdot x_i^3 -$ $-460,7 \cdot x_i^2 + 400 \cdot x_i - 299,1$
<b>6 канал</b> (крут момент на валу гальма, ТДКМ №3)	$M_{ПНГ}$ [Нм]	$M_{ПНГi} = -2,802 \cdot x_i^3 + 21,37 \cdot x_i^2 + 55,15 \cdot x_i - 232,0$
<b>7 канал</b> (надлишк. тиск на вході в насос)	$P_1$ [МПа]	$P_{1i} = \frac{x_i \cdot 0,0980665}{0,01576}$
<b>8 канал</b> (надлишк. тиск на виході з насоса)	$P_2$ [МПа]	$P_{2i} = \frac{x_i \cdot 0,0980665}{0,01584}$
<b>9 канал</b> (параметр регулювання)	$e$	$e_i = \frac{x_i - 2,6875}{0,562}$
* $x_i$ – поточне значення вольта сигналу в момент часу $t$		

### Практична частина

- Отримати від викладача експериментальні файли-звіти (9 каналів) формату \*.txt;
- Скласти алгоритм обробки сигналів згідно табл. 2;
- Побудувати графіки для кожного каналу і проаналізувати їх;
- Вставити отримані графіки в звіт до лабораторної роботи.

### Контрольні питання

- Поясніть принцип дії і пристрій всіх датчиків, що входять в контрольно-вимірювальний комплекс стенду ГОМТ.
- Поясніть принцип дії регульованого джерела живлення ПНГ.
- У чому причина наявності «зашумленості» сигналів датчиків.
- Вплив шуму на якість вимірювань.

Лабораторна робота №6  
**ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ І ОЦІНКА  
ПОХИБОК**

Мета роботи – ознайомитися з алгоритмом апроксимації лінійної залежності за методом найменших квадратів і методикою оцінки похибок з використанням комп'ютерних технологій.

Завдання:

1. За результатами лабораторної роботи № 5, наведеними в табл. 2, провести за методом найменших квадратів апроксимацію побудованої графічних залежностей;
2. По знайденому рівнянню апроксимації побудувати графік, на який нанести експериментальні значення; порівняти результати розрахунку і експерименту.
3. Провести оцінку похибок.
4. Ознайомитися з методикою проведення апроксимації графічної залежності та оцінкою похибки в пакеті «Excel».
5. Скласти звіт відповідно до пунктів 1–4.

**Інформаційний матеріал**

**Обробка результатів вимірювань.** Для отримання рівняння апроксимуючої залежності скористаємося результатами характеристики, отриманої в лабораторній роботі № 5. Так як однією з умов при розробці датчика є лінійність його статичної характеристики, приймаємо, що спостерігаються відхилення отриманого графіка від лінійної залежності викликані похибками як самої тензобалки, так і вимірювальної апаратури. Рівняння лінійної залежності має вигляд:

$$h = a \cdot Q + b, \quad (1)$$

Для нанесення лінійної залежності на графік, скористаємося **методом найменших квадратів**: сума квадратів відхилень ординат експериментальної і розрахункової залежностей повинна бути мінімальною. У нашому випадку ця умова має вигляд:

$$\phi = \sum_{i=1}^n [h_i - (a \cdot Q_i + b)]^2 = \phi_{\min}, \quad (2)$$

де  $\phi = \phi_{\min}$  – умова, що забезпечується коефіцієнтами апроксимації  $a$  і  $b$ , тобто вони є змінними;

$h_i$  – середні значення відхилення;

$Q_i$  – маса вантажу.

З математичного аналізу  $\phi = \phi_{\min}$ , якщо забезпечується умова:

$$\frac{d\phi}{da} = 0; \quad \text{або} \quad 2 \sum_{i=1}^n (h_i - a \cdot Q_i - b) \cdot (-Q_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\phi}{db} = 0; \quad \text{або} \quad 2 \sum_{i=1}^n (h_i - a \cdot Q_i - b) \cdot (-1) = 0 \quad (4)$$

Для зручності спільного рішення рівнянь 3 і 4 представимо їх в наступному вигляді:

$$a \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{\sum_{i=1}^n Q_i} + b = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad (5)$$

$$a \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} + b = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n};$$

Підрахунок коефіцієнтів рівняння 5 виконується за допомогою табл. 1.

Таблиця 1 – Підрахунок коефіцієнтів

№ ступені навантаження	$Q_i$	$h_i$	$Q_i^2$	$h_i \cdot Q_i$
0				
1				
2				
...				
n				
$\sum_{i=1}^n$				

**Оцінка похибок.** Для оцінки випадкових похибок тензометричної установки вважаємо, що середньоарифметичне значення від всіх вимірювань для будь-якого із ступенів навантаження є дійсним значенням сигналу. Тоді похибка одиничного вимірювання визначається за формулою:

$$\Delta_{ij} = h_{ij} - \bar{h}_i, \quad (6)$$

де  $\Delta_{ij}$  – випадкова похибка j-того виміру i-того ступеня навантаження;

$h_{ij}$  – j-те вимірювання значення відхилення променя осцилографа на i-тому ступені навантажування;

$\bar{h}_i$  – середньоарифметичне значення відхилень променя осцилографа

$i$ -тому ступені навантажування.

Визначимо статистичну оцінку середньоквадратичного відхилення вихідного сигналу (відхилення променя осцилографа) на  $i$ -тому ступені навантажування за формулою:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_j^k \Delta_{ij}^2}{k-1}}, \quad (7)$$

де  $k$  – кількість вимірювань на кожному ступені; в нашому випадку  $k = 6$ .

Вважаючи, що випадкові похибки вимірювання підпорядковані нормальному закону розподілу, визначимо граничну випадкову абсолютну і відносну похибку одиничного вимірювання за формулами:

$$\Delta_i = \pm 3 \cdot \sigma_i, \quad \delta_i = \frac{\Delta_i}{h_i}. \quad (8)$$

Випадкова похибка середньоарифметичного від  $k$  вимірювань визначається, вважаємо, що ці похибки підпорядковані закону розподілу Стьюдента:

$$\Delta(\bar{h}_i) = t_\beta \cdot \frac{\sigma_i}{\sqrt{k}}, \quad (9)$$

де  $t_\beta$  – коефіцієнт розподілу Стьюдента при  $(k-1)$  ступенях свободи і довірчої ймовірності  $\beta$ . При п'яти ступенях свободи і довірчої ймовірності  $P = 0,9$   $t_\beta = 2,02$ .

Таблиця 2 – Розрахунок випадкових похибок

Поодинокі похибки						$\sigma_i$	$\Delta_i$	$\delta_i$	$\Delta(\bar{h}_i)$
Навантаження			Розвантаження						
Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3				

### Практична частина

Порядок виконання завдання:

Для визначення коефіцієнтів апроксимації  $a$  і  $b$ , скористаємося системою рівнянь (5), яку вирішуємо, заповнюючи табл. 1,

де  $h_i$  – середні значення відхилення «зайчика» осцилографа;

$Q_i$  – вага вантажу.

По знайденому рівнянню апроксимації побудувати на міліметровці графік розрахункової тарувальної залежності. Помістити на графік середні значення

відхилення «зайчика» осцилографа.

Оцінку похибок результатів вимірювань проведемо з використанням формул (6–9), шляхом заповнення табл. 2.

**Порядок виконання завдання в пакеті «Excel».** Після проведення апроксимації і оцінки похибки зробимо перевірку отриманих результатів за допомогою пакету «Excel» для чого необхідно:

1. Увійти в пакет «Excel»;
2. Скласти таблицю вихідних даних в пакеті «Excel», для чого внести туди результати вимірювань;
3. Використовуючи методику обчислень пакету «Excel», отримати ряд середніх значень.
4. Побудувати графік залежності  $h_{cp} = f(Q)$  і звірити його з даними, отриманими раніше.
5. Виконати операцію «Додати лінію тренда» із записом рівняння апроксимації і оцінкою її точності.
6. Порівняти отримане рівняння з розрахованим раніше.
7. Продовжити заповнення таблиці в «Excel», використовуючи формули для отримання  $\sigma_i, \Delta_i, \delta_i, \Delta(\bar{h}_i)$  і звірити отримані значення з даними табл. 2.

### **Контрольні питання**

1. Визначення методу найменших квадратів.
2. Основні характеристики випадкової величини: середньоквадратичне відхилення, дисперсія, коефіцієнт варіації, середня помилка.
3. Порядок входу в пакет «Excel».
4. Для чого проводять апроксимацію експериментальних залежностей.
5. Виконати в «Excel» побудова графічної залежності і отримати рівняння апроксимації за завданням викладача.
6. По заданому ряду чисел визначити характеристики випадкової величини.

Лабораторна робота №7  
**ТАРУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА**

Мета роботи – ознайомитися з будовою і роботою акселерометра інерційного типу для вимірювання лінійних прискорень.

Завдання:

1. Вивчити методику проведення статичних і динамічних випробувань акселерометра;
2. Провести статичне тарування акселерометра МП-96 і побудувати статичну характеристику;
3. Виконати апроксимацію статичної характеристики акселерометра МП-96 з оцінкою похибки, використовуючи пакет «Excel».
4. Скласти звіт відповідно до пунктів 1–3.

**Інформаційний матеріал**

***Будова і принцип роботи акселерометра МП-96.***

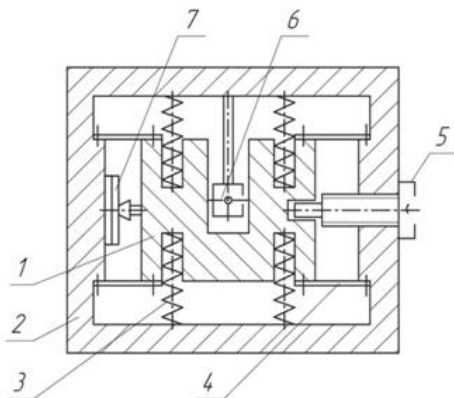


Рисунок 1 – Схема акселерометра МП-96

Акселерометри застосовуються в якості датчиків прискорень. Чутливим елементом датчика, рис. 1, є вантаж 1, з'єднаний з корпусом 2 пружними елементами 3 та 4. Вантаж 1 має направляючий механізм, який накладає 5 жорстких зв'язків. Таким чином, вантаж 1 має можливість переміщатися щодо корпусу тільки в напрямку пружних зв'язків.

В даному датчику роль жорстких з'єднувачів виконують пласкі пружини 4. Усередині вантажу поміщений поршень повітряного гасителя коливань 6, з'єднаний з корпусом 2. До корпусу прикріплений потенціометр 7. За потенціометром ковзає повзунок, укріплений на вантажі. Корпус датчика здійснює прискорений рух разом з досліджуванним об'єктом. Вантаж по інерції прагне зберегти стан спокою або рівномірного руху. Прискорююча сила передається від корпусу датчика до вантажу через пружний елемент і деформує його, внаслідок чого вантаж переміщається щодо корпусу. Це переміщення за допомогою потенціометра перетворюється в електричний сигнал. Маса вантажу, жорсткість пружних елементів, коефіцієнт демпфірування і параметри потенціометра обрані так, щоб при коливаннях корпусу приладу електричний

сигнал був пропорційний прискоренню коливань. Стопор 5 призначений для закріплення чутливого елемента датчика при транспортуванні і зберіганні.

**Динамічне тарування акселерометра.** Динамічне тарування проводять з метою побудови його амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і визначення діапазону рівномірного пропускання частот.

Датчик встановлюють на стіл вібростенда, що здійснює коливання:

$$X = A \cdot \sin(\omega t), \quad (1)$$

де  $X$  – координата переміщення столу вібростенда;

$A$  – амплітуда коливань;

$\omega$  – кутова частота коливань;

$t$  – час.

При цьому датчик відчуває прискорення:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t). \quad (2)$$

Звідки амплітуда прискорень визначається за формулою:

$$A_{\text{вх}} = A \cdot \omega^2. \quad (3)$$

Прилад для реєстрації записує гармонійні коливання:

$$h = A_{\text{вих}} \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

де  $h$  – координата записаної реєструючим приладом діаграми вихідного сигналу;

$A_{\text{вих}}$  – амплітуда коливань вихідного сигналу;

$\varphi$  – кут фазового зсуву (запізнювання) вихідного сигналу.

Варіюючи частоту коливань стола, для кожного значення частоти визначаються значення АЧХ за формулою:

$$A(\omega) = \frac{A_{\text{вих}}}{A_{\text{вх}}} = \frac{A_{\text{вих}}}{A \cdot \omega^2}. \quad (5)$$

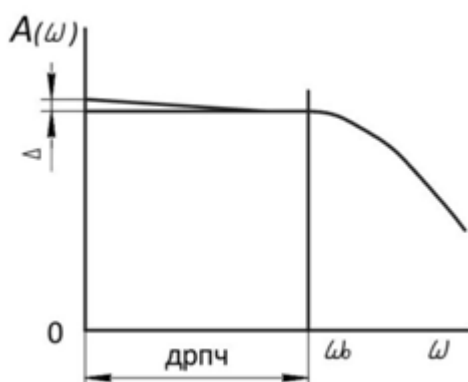


Рисунок 2 – АЧХ датчика МП-96

**Побудова графіка АЧХ.** На рис. 2 наведено подібний графік, за яким визначається діапазон рівномірного пропускання частот (ДРПЧ), частота зрізу  $\omega_0$  (верхня межа вимірюваних частот) і динамічна похибка датчика  $\Delta$ .

**Статичне тарування акселерометра.** Статичне тарування акселерометра проводиться з метою побудови статичної характеристики приладу і визначення

масштабу прискорень, записаних реєструючим приладом. Датчик встановлюється на тарувальному установці, яка вертикально розташована на поворотній плиті, що обертається навколо вертикальної осі з ціною поділки  $1^\circ$ .

Для тарування датчик встановлюють так, щоб напрямок можливого переміщення чутливого елемента датчика щодо його корпусу було горизонтальним і паралельним площині поворотної плити. Тарування акселерометра проводиться шляхом повороту датчика у вертикальній площині і реєстрації показань приладу при різних кутах повороту  $\alpha$ , рис. 3.

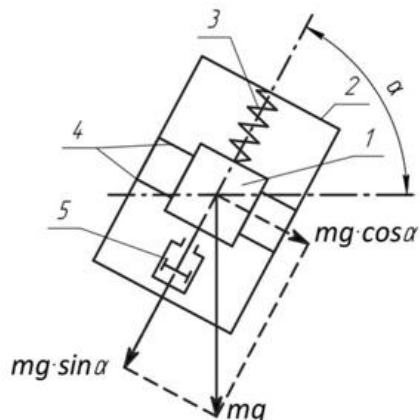


Рисунок 3 – Схема сил, що діють на чутливий елемент акселерометра

При повороті приладу на кут  $\alpha$  складову  $(mg \cdot \cos\alpha)$  ваги вантажу 1 сприймає направляючий механізм (пружини 4), а складова  $(mg \cdot \sin\alpha)$  деформує пружний елемент (пружини 3 і 4). У разі прискореного руху датчика пружний елемент (пружини 3 і 4) деформуються під дією сили  $P = -ma$ . Отже, зміщення чутливого елемента при повороті датчика і показання приладу відповідають прискоренню:  $a = g \cdot \sin\alpha$ .

Таким чином, може бути проведене калібрування акселерометра в межах прискорень  $\pm 1g$ , для чого кут повороту акселерометра повинен бути в межах  $\alpha = \pm 90^\circ$ .

Якщо необхідно збільшити межі прискорень, при яких тарують датчик до його чутливого елемента прикріплюють вантажі, маса яких  $m_r$  кратна масі чутливого елемента. Так, якщо  $m_r = m$  межі тарування складуть  $\pm 2g$ , якщо  $m_r = 2m$  межі тарування складуть  $\pm 3g$  і т.д.

З метою підвищення надійності тарування її виконують триразово при повороті акселерометра в прямому і в зворотному напрямку. Тарувальні дані визначають як середньоарифметичне значення з усіх вимірів для кожного значення кута  $\alpha$ .

Результати вимірювань заносять в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Кут повороту, град	0	14,5	30	48,5	90	-14,5	-30	-48,5	-90
Значення прискорення, g	0	0,25	0,5	0,75	1	-0,25	-0,5	-0,75	-1
Показання реєструючого приладу $i_{вих}$ , мА	Пряме								
	Зворотне								
	Пряме								
	Зворотне								
	Пряме								
	Зворотне								
Середнє значення показань приладу									

### Практична частина

Порядок виконання завдання:

1. Включити живлення акселерометра;
2. Встановити, повернувши плиту на кут  $-90^\circ$ , мінімальний вихідний струм.
3. Повертаючи поворотну плиту, як зазначено в табл. 1, на кути  $\pm 90^\circ$ , зареєструвати величину струму на виході потенціометричного датчика;
4. Заповнити експериментальними значеннями табл. 1 і визначити за допомогою пакета «Excel» величини середніх значень, отримані в режимі повороту плити за годинниковою і проти годинникової стрілки.
5. Побудувати графік  $i_{вих} = f(g)$  за допомогою пакета «Excel» і виконати апроксимацію отриманої залежності.

### Контрольні питання

1. Основні елементи акселерометрів.
2. Методика проведення статичного та динамічного тарування акселерометра.
3. Яким чином можна проводити статичне тарування акселерометра, у якого межа вимірювань  $\pm 5g$ .
4. У чому сенс поняття «діапазон рівномірного пропускання частот».
5. Дайте визначення і вкажіть на графіках статичну і динамічну похибку.
6. Назвіть причину виникнення різних показань  $i_{вих}$  при повороті плити за годинниковою і проти годинникової стрілок.

## РЕЄСТРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ САМОХІДНИХ МАШИН

Мета роботи – вивчення методів реєстрації параметрів руху самохідних машин (СМ) і контрольно-вимірювальних приладів.

Завдання:

1. Ознайомлення з приладами, необхідними для реєстрації параметрів траєкторії руху СМ.
2. Проведення статичної тарировки датчика відхилення руху СМ від заданого курсу.
3. Ознайомлення з методикою побудови траєкторії руху СМ.

### Інформаційний матеріал

**Будова і принцип дії приладів для реєстрації параметрів траєкторії руху.** Велике значення при дослідженні керованості і стійкості руху самохідної машини (СМ) має реєстрація параметрів траєкторії в процесі експерименту. Запис цих параметрів необхідний і при дослідженні нерівномірного повороту гусеничних і колісних машин. Для побудови траєкторії руху об'єкта слід реєструвати поточне значення його швидкості та відхилення від прямолінійного курсу.

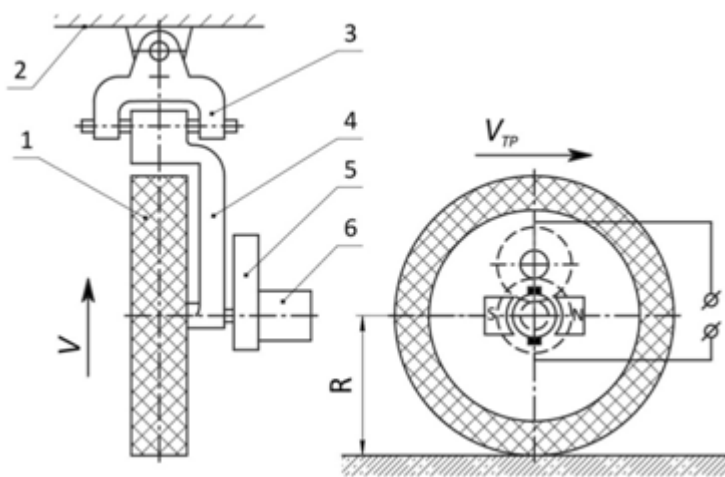


Рисунок 1 – Принципова будова колеса для вимірювання пройденого шляху

Поточне значення дійсної швидкості транспортного засобу (рис. 1) вимірюється за допомогою коліе вимірювального колеса 1, з'єданого подвійним шарніром 3 з остовом СМ. Колесо оснащено підвищувальним редуктором 5 і тахогенератором 6, який виробляє напругу, пропорційну частоті обертання колеса 1, а, отже, і швидкості руху СМ.

Реєстрація відхилення СМ від заданого прямолінійного руху здійснюється гіроскопічним датчиком курсу. Гіроскопи знайшли широке застосування для реєстрації крену і тангажа об'єкта. Основний елемент гіроскопа – ротор, який

має дві або три ступені свободи обертального руху по відношенню до основи або корпусу приладу. Ротор гіроскопа являє собою тіло обертання з максимально можливим моментом інерції; найчастіше йому надають колоколоподібну форму або форму товстостінного полого циліндра з однією або двома кришками. Стійкість положення ротора, його здатність зберігати напрямок осі обертання досягається за рахунок високої частоти його обертання. До обертання ротор гіроскопа приводиться мініатюрним, збалансованим електродвигуном, що знаходиться всередині ротора. Важливою частиною гіроскопа також є підвіска, що забезпечує гіроскопу необхідне число ступенів свободи. У курсових гіроскопічних приладах набули поширення карданні підвіси, рис. 2, вісь симетрії в цих приладах горизонтальна, а вісь зовнішньої рамки вертикальна.

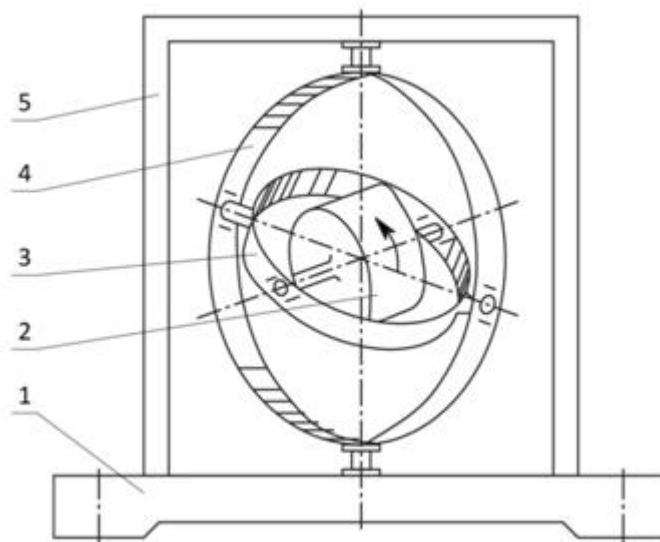


Рисунок 2 – Гіроскоп в карданній підвісці

Гіроскоп в карданній підвісці є механічною системою, що складається з трьох тіл: ротора 2, внутрішньої 3 і зовнішньої 4 рамок карданної підвіски. При цьому тільки ротор має три ступені свободи; внутрішня рамка підвіски 3 – два ступені свободи, і зовнішня 4 – лише одну. Основна властивість гіроскопа з трьома ступенями свободи полягає в тому, що вісь власного обертання гіроскопа має під дією діючих на неї моментів зовнішніх сил зберігати свій напрямок майже незмінним в абсолютному просторі. Як джерело обертання гіроскопа застосовуються асинхронні і синхронні гіромотори, що працюють від джерела трифазної напруги частотою 400, 500 або 1000 Гц. Гіроскопи в карданній підвісці виготовляють з використанням прецизійних кулькових підшипників. Як датчики кута найчастіше застосовуються індуктивні датчики кута різного типу, рідше – потенціометричні датчики як менш точні. Частота

обертання гіромотора становить 250–500 об/с.

Під дією шкідливих моментів опору (тертя в підшипниках, незбалансованості і т.д.) виявляється прецесія гіроскопа. Так як запис параметрів траєкторії СМ нетривалий, прецесія гіроскопа не робить практичного впливу на точність реєстрації.

Розглянемо гіроскопічний датчик курсу СМ, схема якого наведена на рис. 3. Чутливим елементом датчика курсу є гіроскоп 5 з трьома ступенями свободи; положення гіроскопа фіксується пов'язаним з рамкою гіроскопа кільцевим потенціометром 4. Так як корпус потенціометра жорстко зв'язаний з рамкою гіроскопа, то потенціометр і гіроскоп зберігають стійке положення в просторі щодо курсу руху в початковий момент. Повзунок 6 потенціометра зв'язаний з остовом трактора і в процесі руху переміщається в просторі разом з останнім. При відхиленні трактора від початкового курсу з'являється відносне переміщення повзунка потенціометра і його корпусу; реєструється сигнал неузгодженості, пропорційний відхиленню СМ від курсу.

У робочому стані (при реєстрації курсу) шестерні редуктора роз'єднуються за допомогою пружини 10, електродвигун 8 працює вхолосту.

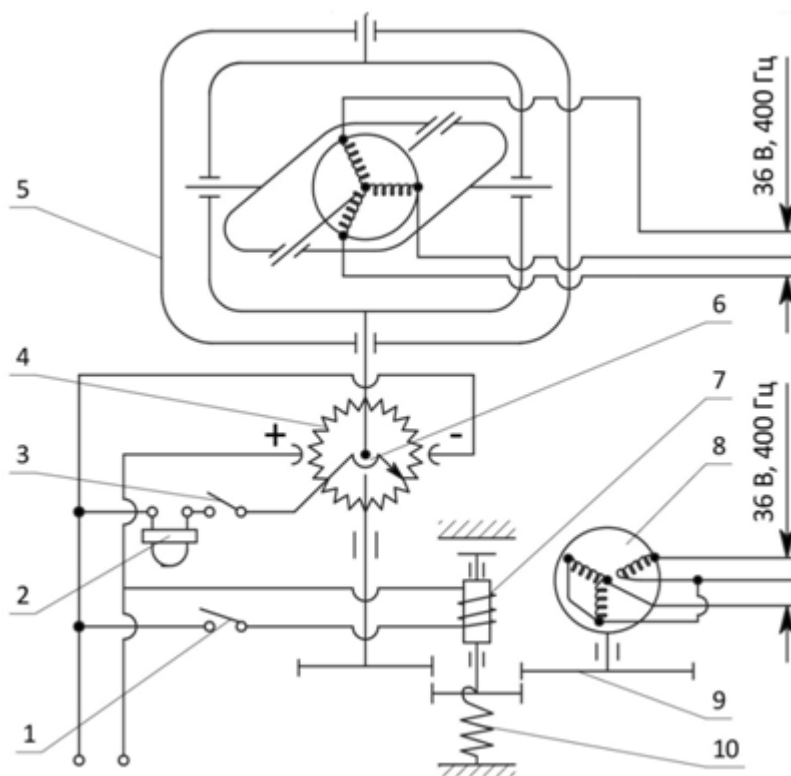


Рисунок 3 – Принципова схема датчика курсу СМ

Живлення системи здійснюється від джерела постійного струму напругою 26 В, живлення електродвигуна виставки нуля і гіродвигуна – від перетворювача струму, який подає змінний струм напругою 36 В при частоті

400 Гц.

Прецесія лабораторного зразка становить 0,25 град/хв, що при незначній тривалості записи цілком допустимо.

**Методика визначення координат траєкторії руху СМ і миттєвого радіуса кривизни** базується на таких положеннях:

Визначення координат траєкторії руху досліджуваного об'єкта виконувалося наступним відомим чином. Припустимо, що траєкторія, описувана центром мас машини, відповідає її істинного значення, що справедливо для одно-масової системи.

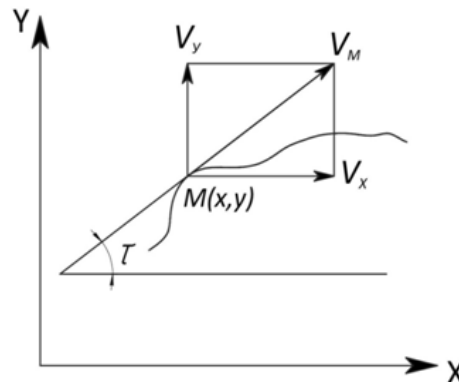


Рисунок 4 – Визначення положення об'єкта в просторі

Нехай положення матеріальної точки, що рухається по горизонтальній поверхні, визначається поточними координатами  $X$  і  $Y$ , а її швидкість  $V_M$  складовими якої є  $V_x = dX/dt$  та  $V_y = dY/dt$ . З рис.4 витікає, що  $\dot{X} = V_x = V \cdot \cos \tau$ ;  $\dot{Y} = V_y = V \cdot \sin \tau$ , при  $\tau > 0$  та  $\dot{Y} = -V_y = -V \cdot \sin \tau$ , при  $\tau < 0$ .

Для визначення координат  $X$  і  $Y$  траєкторії руху центру мас машини використовуються вирази:  $X = \int_0^t V \cdot \cos \tau \cdot dt$ ,  $Y = \int_0^t V \cdot \sin \tau \cdot dt$ .

При реєстрації положення машини, що рухається прямолінійно, відхилення від курсу невеликі. Тому для незначних по протяжності ділянок, на яких проводиться запис швидкості  $V_M$  та кута  $\tau$ , можна прийняти:  $\sin \tau = \tau$ ;  $\cos \tau = 1$ . Тоді значення координат  $X$  і  $Y$  мають вигляд:

$$X = \int_0^t V \cdot dt; \quad Y = \int_0^t V \cdot \tau \cdot dt.$$

Якщо швидкість руху машини близька до постійної, то:  $X = V \cdot t$ ;  $Y = V \cdot \int_0^t \tau \cdot dt$ .

Таким чином, для побудови траєкторії руху СМ необхідно вимірювати її поточну швидкість і величину відхилення курсового кута від прямолінійної базової траєкторії. Приймаємо, що швидкість руху машини в процесі руху

змінюється незначно. Це дозволяє використовувати для її вимірювання імпульсний датчик, що встановлюється на колієвимірювальному колесі. Як датчик відхилення курсового кута від прямолінійного руху використовується авіаційний гіроскопічний датчик ГПК-52.

### Практична частина

**Статичне тарування гіроскопічного датчика курсу, проводиться в наступній послідовності:**

1. Встановити датчик відхилення курсу СМ в початкове положення, що відповідає 0 град на його лімбі;
2. Записати значення вихідного струму в табл. 1;
3. Встановити значення кута повороту корпусу датчика на 3 град за годинниковою стрілкою від початкового значення і записати отримане значення вихідного струму в табл. 1;
4. Повторювати попередній пункт до тих пір, поки сумарна величина повороту не досягне 15 град, і повернутися в початкове положення;
5. Потім виконати за аналогією поворот корпусу датчика з кроком 3 град від початкового положення проти годинникової стрілки до досягнення сумарного відхилення в 15 град, і записати в табл. 1 отримані результати.
6. Повторність кожного досвіду – триразова.
7. З використанням пакета «Excel» побудувати тарувального характеристики гіроскопа.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

τ, град	0	3	6	9	12	15
I, мА						

### Контрольні питання

1. Параметри траєкторії руху, що підлягають реєстрації.
2. Гіроскопічні датчики. Принцип дії. Реєстрація відхилення трактора від заданого курсу.
3. Реєстрація дійсної швидкості руху СМ.
4. Установка для реєстрації параметрів руху СМ.
5. Підготовка апаратури до роботи.
6. Порядок реєстрації параметрів руху СМ.
7. Методика побудови траєкторія СМ.

Лабораторна робота № 9  
**ВИПРОБУВАННЯ АГРЕГАТИВ ТРАНСМІСІЇ**

Мета роботи – ознайомлення зі стендами і лабораторними установками для випробування агрегатів трансмісії і методами роботи на них.

Завдання:

1. Ознайомитися зі стендами і лабораторними установками для випробування агрегатів трансмісії;
2. Ознайомитися з методами роботи на стендах і установках;
3. Ознайомитися з методикою випробувань агрегатів трансмісії;
4. Виконати практичне завдання;
5. Скласти звіт відповідно до пунктів 1–4 завдання.

**Інформаційний матеріал**

За принципом роботи і способом навантаження випробовуваних об'єктів стенди підрозділяються на наступні групи: з розімкненим потоком потужності, із замкнутим потоком потужності; з динамічним навантаженням; з навантаженням від інерційних мас; спеціальні стенди для дослідження різних механізмів і пристроїв трансмісії.

Стенд з розімкненим потоком потужності (рис. 1, а) складається з балансірного електричного (гідравлічного) привідного двигуна 1, об'єкта випробувань 2, редуктора 3, електричного або гідравлічного гальма 4 з динамометричним пристроєм 5 і з'єднують їх карданными або пружними валів.

Стенди цієї групи застосовують для випробування агрегатів при східчастих навантаженнях на довговічність, для визначення ККД. Вони прості в управлінні, проте споживають велику кількість електроенергії. Для підвищення економічності випробувань як гальмо може бути використаний генератор постійного струму і двигун-генератор. У цьому випадку енергія гальмування частково перетвориться в енергію змінного струму.

Стенди цієї групи застосовують для випробування агрегатів при ступінчастих навантаженнях на довговічність, для визначення ККД. Вони прості в управлінні, проте споживають велику кількість електроенергії. Для підвищення економічності випробувань в якості гальма може бути використаний генератор постійного струму і двигун-генератор. У цьому випадку енергія гальмування частково перетвориться в енергію змінного струму, що повертається в електромережу.

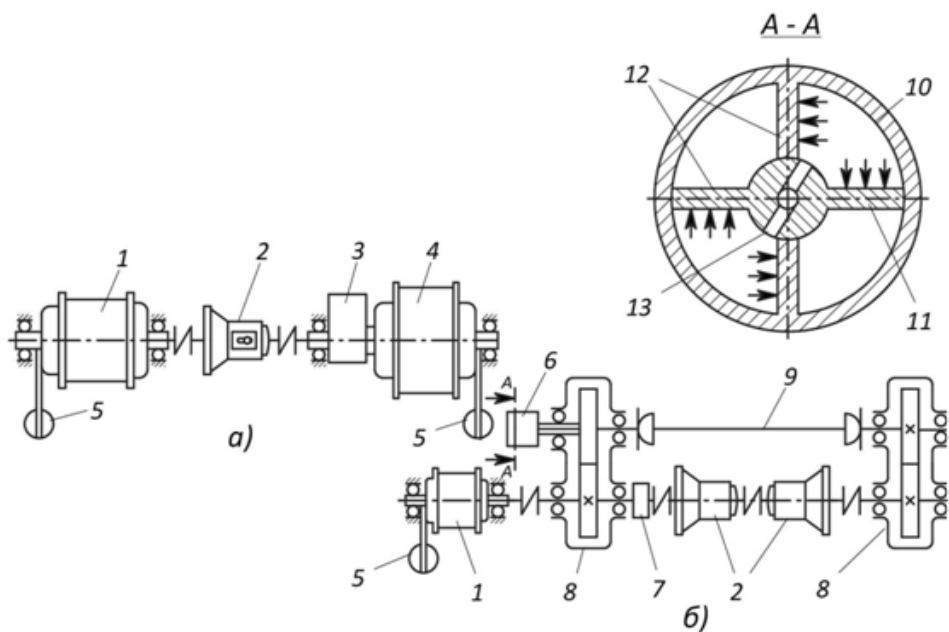


Рисунок 1 – Схеми стендів для випробування агрегатів трансмісії

Стенди із замкнутим потоком потужності (рис.1, б) застосовуються для випробування вузлів і агрегатів на довговічність, підбору мастильного матеріалу, визначення ККД і т.д. Сутність процесу навантаження в цих стендах складається в створенні сил пружності (енергії пружних деформацій) в замкнутому контурі, утвореному елементами стенду: редукторами 8, муфтами 7, коробками передач 2, що випробуються, валами 9. Сили пружності виникають при закручуванні валів стенду спеціальним пристроєм – навантажувачем 6. Привідний електродвигун 1 забезпечує необхідний швидкісний режим випробувань.

Широке застосування отримали навантажувачі з гідроциліндрами, що обертаються, які забезпечують роботу стенда без навантаження, створення навантаження в процесі випробувань, високу точність і швидкість зміни навантаження. Навантажувач 6 складається із зовнішнього циліндра, що обертається 11, з'єданого з валом редуктора 8, і внутрішнього циліндра 10. Обидва циліндри мають лопасті 12 і щільне сполучення рухомих контактних поверхонь. Через радіальні канали 13 внутрішнього циліндра 10 від спеціального гідронасоса машинне масло під певним тиском надходить в порожнині зовнішнього циліндра 11. На лопасті зовнішнього циліндра 11 діє тиск масла, яке викликає зусилля, що повертає циліндр 11. При цьому пружні вали закручуються, і в замкнутому контурі створюється навантажувальний крутний момент,

У стендах з динамічним навантаженням циклічне (коливальна) навантаження створюється спеціальними силозбуджувачами. Механічні

силозбуджувачі (кривошипні або відцентрові) використовують в конструкціях найпростіших стендів.

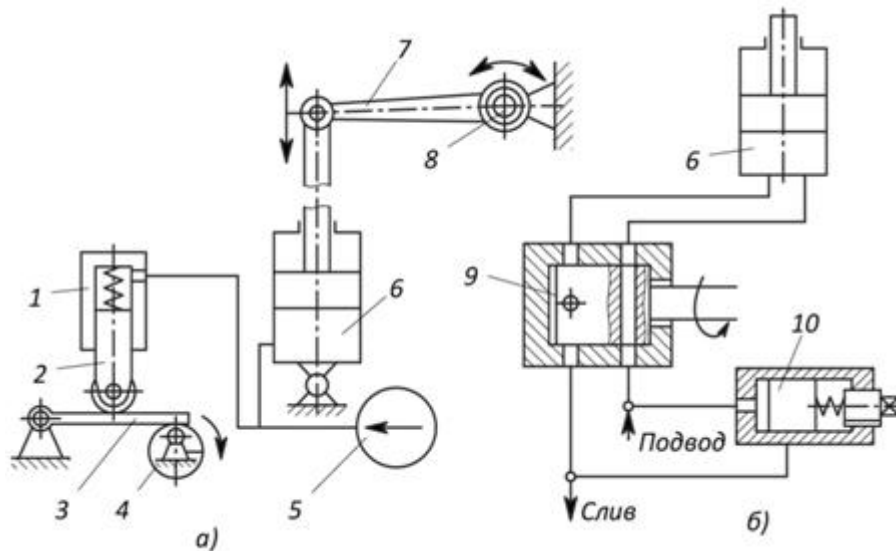


Рисунок 2 – Схеми стендів з циклічним навантаженням:  
 а – з гідровібратором; б – з гідропульсатором

Гідравлічні силозбуджувачі (рис. 2) забезпечують широкий діапазон регулювання амплітуд і зусиль коливань. У стендах з гідровібратором 1 ексцентрик 4, що приводиться від електродвигуна, через важіль 3 впливає на плунжер 2, який здійснює зворотно-поступальний (коливальний) рух. Певний тиск рідини в системі, що створюється насосом 5, змінюється внаслідок коливального руху плунжера 2, що викликає коливальне переміщення поршня силового циліндра 6. Через важіль 7 зусилля силового циліндра передається на пристрій (деталь) 8, яким можуть бути карданний вал, піввісь і т.д. Один кінець деталі 8 закріплений жорстко, а інший через важіль 7 сприймає різноспрямоване закручування. Амплітуда коливань поршня циліндра 6 змінюється шляхом зміщення ексцентрика 4 уздовж важеля 3.

Стенди з навантаженням від махових мас працюють за принципом навантаження випробуваного об'єкта силами інерції змінних обертових мас (маховиків). На цих стендах перевіряють на довговічність окремі деталі і механізми, наприклад синхронізатори, муфти, зчеплення в цілому, його фрикційні кільця і т.д.

На рис. 3 наведена схема стенду для випробування зчеплень на довговічність. При випробуванні фрикційних кілець електродвигун 1 збільшує частоту обертання маховика 5 при вимкненому зчепленні 4 до певної частоти обертання. Силовий циліндр 2 впливає на муфту 6, одночасно зупиняючи двигун і відключаючи від нього маховик 5. Після цього силовий циліндр 3

включає зчеплення 4, відбувається гальмування маховика 5 до певної частоти обертання, а фрикційні кільця піддаються силовому впливу. Потім зчеплення вимикається і цикл повторюється.

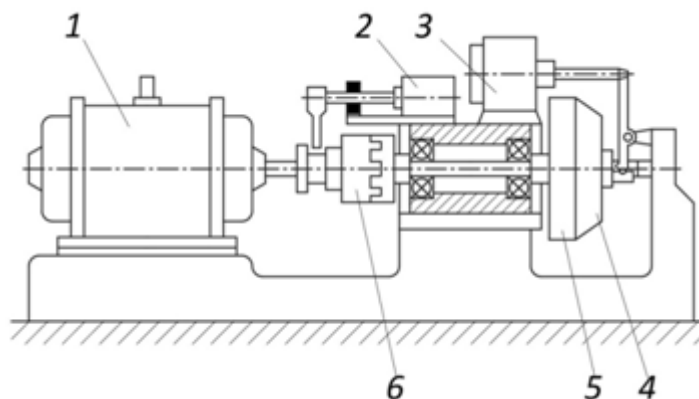


Рисунок 3 – Схема інерційного стелу для випробування на довговічність

В даний час широко застосовуються стелу з програмним керуванням процесу випробувань. Блок автоматизованої системи зазвичай включає вузол зчитування і перетворення програми, вузол управління значенням крутного моменту і вузол управління швидкісним режимом роботи стелу.

Для вимірювання температур робочих середовищ, поверхонь деталей і т.д. застосовується апаратура з дистанційними аеротермометрами (120–150 °С), дротяними терморезисторами, напівпровідниковими і термометрами опору (300–350 °С); термопарами (600–800 °С). Тиск рідин і газів вимірюють наступними приладами: при повільних змінах тиску – манометрами з тензорезисторами, які наклеєні на бічні поверхні його трубки; при частоті зміни тиску в кілька сот Герц – перетворювачами з тонкостінними трубками і наклеєними на них тензорезисторами, мембранно-індуктивними, мембранно-реохордними і п'єзоелектричними перетворювачами тиску.

**Вказівки щодо проведення випробувань.** Перед випробуваннями проводять мікрометраж, перевіряють балансування (при необхідності). При випробуваннях зчеплень встановлюють момент тертя в зчепленні, термостійкість фрикційних кілець, характеристики гасителя коливань, механізму виключення і натискних пружин, показники надійності зчеплення. У механічних коробках передач, роздавальних коробках в якості основних характеристик визначають статичну міцність і надійність (довговічність), температурні режими; рівень шуму і вібрації; умови змащення і оптимальні мастильні матеріали, ККД, частотні і силові режими, в тому числі крутильні коливання, пляму контакту зубчастих коліс, довговічність сальників і

підшипників, роботу механізмів перемикачів (час і зусилля) і т.д.

### **Практична частина**

Порядок проведення перевірки карданного валу на міцність:

1. Зовнішнім оглядом перевірити якість виготовлення, комплектність вала, правильність складання шліцьових з'єднань, кріплення балансувальних пластин;

2. Встановити карданний вал на стенд (наприклад, із замкнутим потоком потужності), закріпити один кінець вала. Встановити захисні екрани;

3. Привести в дію навантажувач і навантажити карданний вал крутним моментом (з точністю  $\pm 2,5\%$  номінального значення). Після зняття навантаження не повинно бути ознак залишкової деформації вала. Деформація визначається тензометрично або вимірюванням співвісності вісей хрестовин і вісей отворів вилок;

4. При випробуваннях на критичну частоту обертання звільнити закріпленій кінець вала, включити електродвигун стенда і встановити частоту обертання на 20% вище, ніж при максимальній швидкості руху автомобіля. Руйнування вала не повинно бути.

### **Контрольні питання**

1. Основні види випробувань, що проводяться на стендах.

2. Особливості навантаження стендів із замкнутим і розімкнутим контурами.

3. Устаткування, що застосовується при стендових випробуваннях агрегатів трансмісій.

4. Вибрати вид і методику проведених стендових випробувань, з урахуванням типу стенда, режимів навантаження, вимірювальної апаратури для вузла трансмісії, що відповідає темі бакалаврської роботи.



## РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

1. ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – 24с.
2. Рекомендації до виконання лабораторних і практичних робіт з курсу «Методи випробувань і основи сертифікації»/ В.Р. Мандрика, А.Д. Галуцких: – Харків: ХДПУ, 2000. – 38с.
3. Автоматизированная система ускоренных испытаний автомобильных конструкций/ М. С. Высоцкий, А. А. Ракицкий, М. И. Горбацевич и др. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 168с.
4. Samorodov V. Experimental confirmation of the rational change parameter of the hydraulic transmission during acceleration and braking of the hydrostatic transmissions / V. Samorodov, A. Kozhushko, N. Mittsel, E. Pelipenko, M. Burlyga // International Collection of scientific proceedings. – 2017. – Vol. 7 (25). – P. 9 – 24.
5. Самородов В.Б. Дорожні випробування колісного трактора з двопотоковою гідрооб'ємно-механічною трансмісією / В.Б. Самородов, А.П. Кожушко, М.О. Мітцель // Первый независимый научный вестник. – 2015. – №1. – С. 54 – 61.
6. Митцель Н.А. Датчик крутящего момента / Н.А. Митцель // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №48 (1090). – С. 3 – 9.
7. Самородов В.Б. Прибор для измерения крутящего момента на валах автомобилей и тракторов / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко, Н.А. Митцель // Автомобильная промышленность, 2014. – № 12. – С. 31 – 33.
8. Островерх О.О. Експериментальні стендові дослідження спуско-підйомної операції при застосуванні безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісій на автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин / О.О. Островерх, М.О. Мітцель, Є.С. Пелипенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 13 (1235). – С. 56-64.
9. Беляев В.П. Испытания автомобилей: учебное пособие / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 293 с.
10. Кузнецова В.Н. Сертификация и лицензирование в сфере производства и эксплуатации машин и оборудования: учебное пособие / В.Н. Кузнецова. – Омск: СибАДИ, 2012. – 255 с.
11. Беляев В.П. Испытания автомобилей: учебное пособие / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 293 с.

Навчальне видання

Методи випробувань та основи сертифікації  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних і практичних робіт  
для студентів спеціальності  
133 «Галузеве машинобудування»

Упорядники: МАНДРИКА Володимир Ростиславович  
МІТЦЕЛЬ Микола Олександрович  
КОЖУШКО Андрій Павлович  
ОСТРОВЕРХ Олександр Олегович

Відповідальний за випуск проф. В.Б. Самородов  
Роботу до видання рекомендував проф. Д.О. Волонцевич

В авторській редакції

План 2018 р., поз. 346

Підп. до друку 12.11.2018 Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.2,0.  
Наклад 50 прим. Зам. № 125. Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХП»  
м. Харків, вул. Кирпичова, 2  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК 5478 від 21.08.2018 р.

---

Надруковано у копії-цетрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В. Свідоцтво ВО №022953)  
м. Харків, вул. Мистецтв, 7/9 літер Б-1  
тел. 7-149-154  
[kmodelist@ukr.net](mailto:kmodelist@ukr.net)