

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
**"Методи випробування і основи сертифікації автомобілів"**  
для студентів спеціальності  
133 "Галузеве машинобудування"  
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),  
усіх форм навчання

**2019**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Методи випробування і основи сертифікації автомобілів" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл.: А. В. Щербина, О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик. Запоріжжя: НУ"Запорізька політехніка", 2019. - 78 с.

Укладачі: А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук  
О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;  
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;  
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;

Рецензент: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено  
на засіданні кафедри "Автомобілі"  
Протокол № 1  
від « 30 » серпня 2019.

Рекомендовано для видання  
НМК Транспортного факультету  
Протокол № 80  
від « 05 » вересня 2019.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	5
Техніка безпеки при проведенні лабораторних робіт.....	6
Порядок проведення лабораторних робіт.....	8
Вказівки до оформлення протоколу по лабораторним роботам.....	9
1 Лабораторна робота № 1. Вимір напруг у деталях машин і механізмів.....	10
1.1 Ціль роботи.....	10
1.2 Загальні відомості.....	10
1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	15
1.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	17
1.5 Зміст звіту.....	18
2 Лабораторна робота № 2. Проміжні перетворювачі інформації.....	18
2.1 Ціль роботи.....	18
2.2 Загальні відомості.....	19
2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	25
2.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	31
2.5 Зміст звіту.....	32
3 Лабораторна робота № 3. Вихідні пристрої вимірювальних систем.....	32
3.1 Ціль роботи.....	32
3.2 Загальні відомості.....	32
3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	38
3.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	42
3.5 Зміст звіту.....	43
4 Лабораторна робота № 4. Гальмові установки для випробування двигунів внутрішнього згорання.....	43
4.1 Ціль роботи.....	43
4.2 Загальні відомості.....	43
4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	48
4.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	54
4.5 Зміст звіту.....	55

5 Лабораторна робота № 5. Визначення характеристики внутрішніх (механічних) втрат у двигуні.....	55
5.1 Ціль роботи.....	55
5.2 Загальні відомості.....	55
5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	60
5.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	62
5.5 Зміст звіту.....	63
6 Лабораторна робота № 6. Випробування автомобіля на шумність.....	64
6.1 Ціль роботи.....	64
6.2 Загальні відомості.....	64
6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	66
6.4 Порядок виконання лабораторної роботи.....	76
6.5 Зміст звіту.....	76
Рекомендована література.....	77

## ВСТУП

Випробування автомобіля є найважливішим етапом процесу створення автомобільної техніки. При створенні нових і вдосконалюванні старих конструкцій автомобілів за результатами випробувань визначають техніко-економічні показники роботи, відповідність вимогам стандартів, технічним умовам і нормалям.

Випробування автомобілів є безперервною частиною, з одного боку, автомобільної науки, з іншого боку - автомобільного виробництва. Розвиток методів випробувань пов'язане з удосконалюванням вимірювальної й апаратур, що реєструє, пристроїв, призначених для обробки досвідчених даних, створення необхідних режимів досліджень.

Стандарти й нормалі на методи й умови проведення випробувань широко використовуються при проведенні відповідних випробувань. На них у методичних вказівках у необхідних випадках зроблені посилання. Рівень випробувальних робіт визначається ступенем досконалості устаткування, методик і програм випробувань.

Вивчення загальних умов проведення випробувань, програм їхнього проведення, застосування апаратур, методів вимірів і т.п. вивчається в теоретичному курсі «Методи випробування й основи сертифікації автомобілів». Для закріплення знань теоретичного курсу навчальним планом передбачений лабораторний практикум.

Виконання лабораторних робіт сприяє:

- освоєнню методик випробувань автомобілів і його агрегатів;
- наробітки навичок роботи на застосовуваному устаткуванні і вимірювальній апаратурі;
- одержанню конкретних експериментальних даних, що характеризують випробовуваний автомобіль;
- наробітки навичок аналізу експериментальних даних, зіставлення їх із теоретичними положеннями і результатами обчислень із застосуванням ЕОМ;
- розвитку навичок самостійної творчої роботи.

Перед виконанням робіт студент повинний оволодіти короткими теоретичними зведеннями, що відповідають темі заняття, вивчити застосовуване устаткування і методику роботи на ньому.

З метою максимальної активізації самостійної роботи студента всі роботи виконуються студентами самостійно, під керівництвом викладача. Перед заняттями викладач повинний викласти цілі, задачі роботи і провести інструктаж на робочому місці по дотриманню правил техніки безпеки.

Перед проведенням циклу лабораторних робіт студент зобов'язаний ознайомитися з загальними правилами виконання робіт, з правилами з техніки безпеки і керуватися ними в ході кожної роботи. Після вивчення правил і перевірки їх засвоєння, студент ставить свій розпис у журналі обліку інструктажу з ТБ.

***Приступати до виконання робіт без інструктажу з ТБ і відсутності оцінки в журналі обліку категорично забороняється!***

## **ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Відповідно до навчального плану для фаху 8.090211 «Колісні та гусеничні транспортні засоби» передбачається проведення ряду лабораторних робіт як у помешканнях лабораторій кафедри «Автомобілі», так і в дорожній умовах. При цьому використовується різне устаткування і міряльний інструмент, у тому числі: стенди для дослідження амортизаторів, рульових механізмів; гальмові стенди для дослідження ДВЗ; електронна апаратура й обчислювальна техніка. В лабораторії, а також у ланцюгах вимірювальної апаратури і приводах стендів напруга складає 12÷24В і 220÷380В, а в окремих точках устаткування напруга може бути значно вище. Тому особлива увага при проведенні робіт повинно бути виділено електробезпечності. Відповідальність за контроль по дотриманню правил техніки безпеки покладається на керівника занять. Всі види робіт дозволяється проводити тільки в присутності викладача і по його вказівках.

При проведенні лабораторних робіт необхідно виконувати наступні правила.

1. Приступати до виконання роботи дозволяється тільки після проведення викладачем вступного інструктажу з техніки безпеки.

2. Необхідно знати розташування в лабораторії засобів пожежогасіння, рубильників (автоматів) відключення електроенергії, медичної аптечки і вміти ними користуватися.

3. У аварійних ситуаціях варто зробити першу допомогу постраждалим і ліквідувати аварію. Виходячи з обстановки викликати швидку медичну допомогу.

4. Приступаючи до виконання лабораторних робіт на електрифікованому устаткуванні, варто перевірити його справність, ізоляцію проводів і надійність заземлення. Пам'ятайте, що при проходженні через людину струм у 10Ма порушує керування м'язами, струм у 20Ма приводить до негайного паралічу рук і утрудненню подиху, у 50Ма приводить до негайного паралічу подиху й втраті свідомості. Відповідно до правил техніки безпеки безпечним вважається напруга 12В для сирих і 36В для сухих помешкань.

### **Струм 0,1 ампера є смертельним!**

5. При проведенні занять на дорожнім полотні водій може починати рух автомобіля тільки по команді керівника занять, переконавшись, що всі ввійшли в салон і всі двері надійно закриті.

При зупинці автомобіля можна виходити на праву сторону дорожнього полотна, переконавшись у відсутності небезпеки.

При всіх роботах, проведених на проїзній частині автомобільної дороги, повинне бути забезпечене безперервне спостереження за рухом транспорту з метою оповіщення про небезпеку.

На проїзній частині дороги можуть перебувати тільки ті особи, яким необхідно бути там за умовами методики проведення занять.

Вихід працюючих осіб на сусідню смугу руху **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ!**

6. Категорично забороняється робити які-небудь операції з розкриттям захисних щитків апаратури, як і взагалі за межами свого робочого місця.

7. Робити ремонт апаратури забороняється.

8. Під час складання схем на робочому місці, ланцюга, що підводять високу напругу, повинні бути знеструмлені.

9. Включати устаткування можна тільки після дозволу викладача.

10. При перерві подачі електроенергії необхідно виключити устаткування.

11. При припиненні опиту устаткування знеструмлюється.

12. При запаленні електропроводки варто негайно відключити електроустановку, а полум'я гасити тільки порошковим або вуглекислотним вогнегасником (не водою і не пінним вогнегасником!).

13. При наявності обертових частин устаткування необхідно бути уважним і дотримувати обережності, частини, що обертаються повинні мати захисні огороження.

14. Пуск ДВЗ робити тільки з дозволу й у присутності викладача.

15. При виявленні несправностей (течі палива, мастила, відпливи газів, підвищений рівень шуму і т.д.) двигун необхідно зупинити.

16. Забороняється робити заправку паливного бака під час роботи ДВЗ.

17. При перевірці рівня рідини в радіаторі ДВЗ після його припинення пробку радіатора варто відчиняти поступово для охорони шкіри рук і особи від можливих опіків викидами гарячої рідини.

18. Після закінчення роботи ДВЗ необхідно перекрити кран подачі палива з бака в систему живлення, витратити паливо із системи, злити його з бака. Паливо, що пролилося на підлогу, і моторне мастило необхідно видалити за допомогою дрантя, піску або тирси.

19. У випадку пожежі на працюючому двигуні треба негайно перекрити кран подачі палива, збільшити частоту обертання, швидко витратити останнє паливо. Полум'я варто гасити порошковим або вуглекислотним вогнегасником, але не водою.

20. В усіх випадках виявлення несправності устаткування, необхідно негайно повідомити викладача.

## **ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Відповідно до робочої програми дисципліни для проведення лабораторних робіт відведено 17 годин навчального навантаження в сітці розкладу і 89 годин поза аудиторного підготування для студентів денної форми навчання, 8 годин навчального навантаження і 169 годин поза аудиторного підготування для студентів заочної форми навчання.

Студент при підготуванні до виконання лабораторних робіт повинен проробити необхідний теоретичний матеріал, знати основні положення теорії, методику проведення робіт, вивчить застосовуване устаткування і міряльний інструмент, а також зробити заготівлі протоколу по роботі.

На початку кожного лабораторного заняття проводиться контрольний опит, за результатами якого викладач робить висновок про готовність студентів до проведення лабораторної роботи. Для підготування і проведення лабораторних занять студенти використовують методичні вказівки по лабораторних робіт, рекомендовану літературу і конспект лекцій. Після необхідного підготування студентів, лабораторного устаткування й апаратури в

робочий стан, проводиться виконання лабораторної роботи, опрацювання й аналіз отриманих даних.

За підсумками роботи студент повинний: придбати практичні навички по упорядкуванню програми, методики випробувань і роботи на відповідному устаткуванні, вимірювальній апаратурі й обчислювальній техніці; вміти оформити протокол результатів випробувань, провести аналіз експериментальних даних і зробити висновки.

На лабораторних заняттях студенти повинні мати для виконання розрахунків, побудови графіків обчислювальні і креслярські принадлежности.

У процесі лабораторних занять студенти зобов'язані дбайливо відноситися до навчального устаткування, наочним приладдям, вимірювальній і обчислювальній техніці. Перед закінченням заняття необхідно упорядкувати робоче місце.

Робота зберігається після її проведення й представлення оформленого відповідно до вимог протоколу і його захисту студентом.

## **ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ ПО ЛАБОРАТОРНИМ РОБОТАМ**

Протокол по лабораторним роботам повинний містити:

- титульний лист (приклад оформлення див. в додатку А);
- найменування лабораторної роботи, її номер;
- ціль роботи (указується конкретна ціль, що повинна бути досягнута в результаті виконання роботи);
- вихідні теоретичні положення (доводяться основні теоретичні положення, розрахункові формули);
- устаткування, прилади, міряльний інструмент, використовувані при виконанні роботи;
- результати дослідження і їхнього опрацювання;
- у заключній частині протоколу доводиться аналіз результатів і даються висновки виходячи з цілі роботи;
- графіки виконуються на міліметровому папері і вклеюються до протоколу.

Загальні вимоги, запропоновані до упорядкування протоколів, містяться в ДСТУ 3008-95, і стандартні підприємства СТП 15-96.

## **1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ВИМІР НАПРУГ У ДЕТАЛЯХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ**

### **1.1 Ціль роботи**

1.1.1 Вивчити методи визначення напруг у деталях машин і механізмів

1.1.2 Вивчити пристрій і принцип роботи тензорезисторного вимірювального перетворювача.

1.1.3 Вивчити технологію наклеювання тензорезисторів на деталь.

1.1.4 Виконати практичну наклейку тензорезисторів.

### **1.2 Загальні відомості**

Створення надійних автомобілів неможливо без обліку дійсних напруг у їхніх деталях. Для цієї цілі використовуються ті ж методи, що й в інших областях машинобудування, в основному методи сіток, тендітних лакових покриттів, фотопружності і тензометрирування. Перші три методи мають обмежену область застосування і не мають високу точність.

При використанні методу сіток на поверхню деталі перед її навантаженням наноситься дрібна сітка, звичайно у виді квадратів і окружностей. При навантаженні розміри сітки змінюються, що дозволяє установити деформації, а по ним і напруги. Метод найбільше придатний для випробувань при пластичних деформаціях і на руйнацію.

Деформації і напрямку головних напруг можна установити за допомогою нанесеного на поверхню деталі шару спеціального лаку (звичайно розчин резината барію в сірковуглеці), що при деформації деталі розтріскується. Утворюючі тріщини перпендикулярні до напрямку головних напруг і дають уявлення про їхній розподіл у поверхневому шарі деталі, дозволяють вибрати місце розташування й орієнтувати тензометри.

У методі фотопружності використовується зв'язок між механічними напругами й оптичними властивостями деяких прозорих матеріалів. Виготовляючи з таких матеріалів моделі деталей і навантажуючи їх, можна спостерігати розподіл напруг і оцінювати

їхній розмір. Метод особливо цінний своєю наочністю, що дозволяє швидко установлювати вплив конструкції деталі на її напружений стан.

Метод тензометрії найбільше точний і універсальний, широко застосовується при визначенні напруг у деталях електричними методами. Цей метод дозволяє вести безупинний вимір деталей, які з'являються як на поверхні деталей подовжень, так і діючих на ці деталі зовнішніх навантажень.

Наклеєний на деталь тензорезистор змінює свій опір відповідно до деформації поверхневих шарів деталі, що дозволяє одержати необхідний електричний сигнал.

Вимір за допомогою тензорезисторів засновано на тензоефекті властивості матеріалів змінювати при деформації свій електричний опір. При цьому вважається, що опір провідника або напівпровідника залежить (при незмінному об'ємі) від його довжини  $l$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.1)$$

де  $R$  - опір провідника або напівпровідника. Ом;

$\rho$  - питомий опір матеріалу, Ом/см;

$S$  - площа поперечного перетину, см<sup>2</sup>.

Таким чином, при механічному впливі на провідник зміна його опору викликається зміною його довжини  $\frac{\Delta l}{l}$ , площі поперечного перетину  $\frac{\Delta S}{S}$  або питомого опору  $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ .

Відношення зміни активного опору тензорезистора до відносної деформації, що викликала цю зміну, називається коефіцієнтом тензометричної чутливості  $K$

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}, \quad (1.2)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Для більшості металів у межах пластичних деформацій коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,5$ .

При пластичних деформаціях матеріалу перетворювача його об'єм, а отже, і відносна зміна питомого опору рівні нулю. Отже  $K=2,0$ .

Для виготовлення тензорезисторів використовують константан, ніхром, нікель, в'єсмут, а також кремній і германій.

Найбільше значення коефіцієнта тензочутливості мають напівпровідники. Так, у *P*-кремнія значення *K* досягає 170. Крім того кремній має найменший температурний коефіцієнт опору.

Конструктивно тензорезистори виконують із дроту, фольги або прямокутників напівпровідникового матеріалу, наклеєних на тонкий папір або плівку лаку (рис. 1.1). До кінців тензоелемента припаюють (приварюють) мідні вивідні провідники.

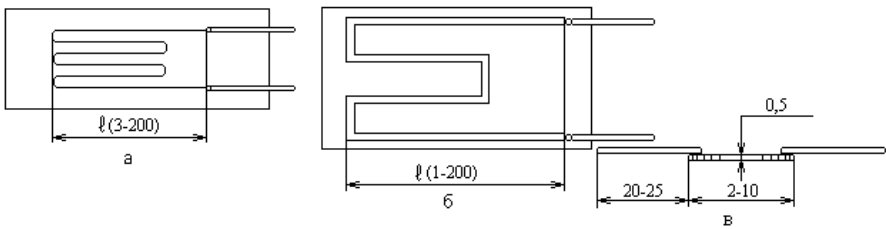


Рисунок 1.1 - Пристрій дротового (а), фольгового (б), і напівпровідникового (в) тензорезисторів (*l* - база тензорезистора)

Матеріал тензорезистора повинний відповідати наступним вимогам: мати достатнє значення тензометричної чутливості, малий температурний коефіцієнт електричного опору, високий питомий опір, високу механічну витривалість, невелику термо е.р.с. у парі з міддю, та нарешті, лінійну характеристику.

Найбільше застосування має константан через лінійність, дешевини і температурної стабільності.

Тензорезистор закріплюється на досліджуваному об'єкті за допомогою клею або лаку, у деяких випадках зварювання, і сприймає деформацію його поверхневого шару.

У залежності від температури навколишнього середовища і конструкції тензорезисторів для їхнього з'єднання з досліджуваною деталлю застосовуються наступні клеї:

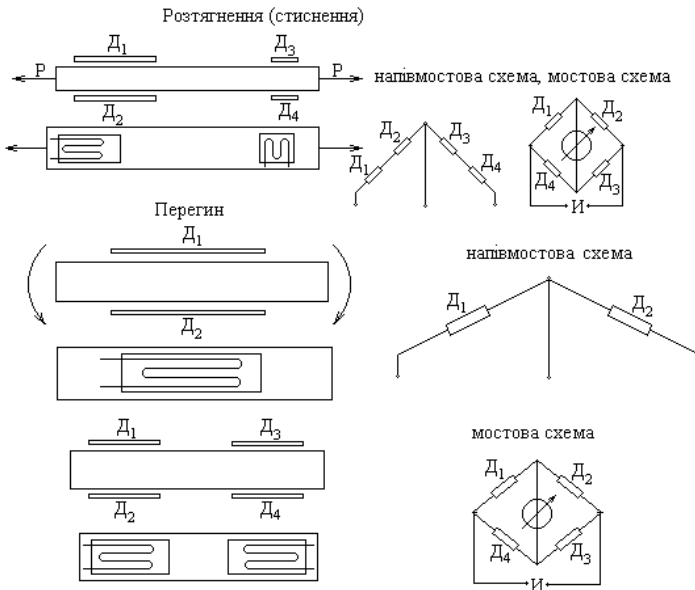
- при температурі -  $50+60^{\circ}$  - «Циакрин» 192-Т, ВЛ-4, ВС-10Т;
- при температурі -  $60+115^{\circ}$  - ВЛ-931;
- при температурі -  $20+150^{\circ}$  - БФ-1;
- при температурі -  $50+300^{\circ}$  - Цемент ВН-76;

- при температурі до  $400^{\circ}$  - силіконовій лак;
- при температурі до  $900^{\circ}$  - керамічні цементи.

При короткочасних випробуваннях, у яких досліджуються динамічні процеси; припустима верхня межа температури може бути підвищена 1,5-2 рази для клеїв «Ціакрин», 192-Т, ВЛ-931, БФ-2, ВН-76.

В даний час найбільше застосування знаходить конструкція тензорезистора з фольговим провідником. Завдяки великій площі зіткнення з об'єктом виміру тепловіддача фольгового провідника значно вище в порівнянні з дротовим, що дозволяє при рівних перетинах збільшити струм, що проходить через перетворювач.

Вибір місць установки тензорезисторів визначається загальними задачами досліджень, характером напружено-деформованого стану об'єкта дослідження, його геометрією і станом поверхні. При визначенні місця установки тензорезисторів щодо досліджуваної деталі можуть зустрічатися наступні два випадки: коли осі головних напруг у деталі відомі і коли з їх не вдається визначити заздалегідь. У першому випадку доцільно розглянути наступні три типу деталей: деталі, що працюють на вигин і деталі, що працюють на кручення (рис. 1.2).



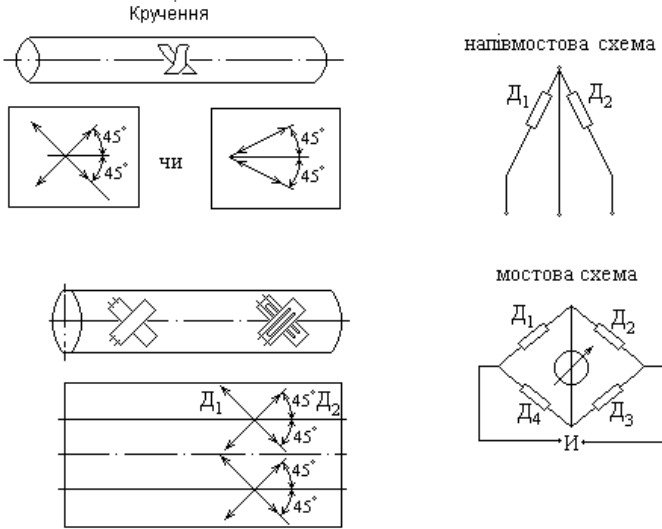


Рисунок 1.2 - Схеми наклеювання і з'єднання датчиків при різних деформаціях

У тому випадку, коли невідомий напрямок осей головних напруг, їх доводиться визначати експериментально. Це робиться за допомогою тензометричних розеток, що містять два або три прямокутних тензодатчика, що дають можливість одночасно визначати напруги в двох взаємно перпендикулярних напрямках або в трьох напрямках, причому кут між сусідніми напрямками встановлюється рівним  $45^\circ$  (рис. 1.3) за результатами визначають головні напруги по розмірі і напрямку.

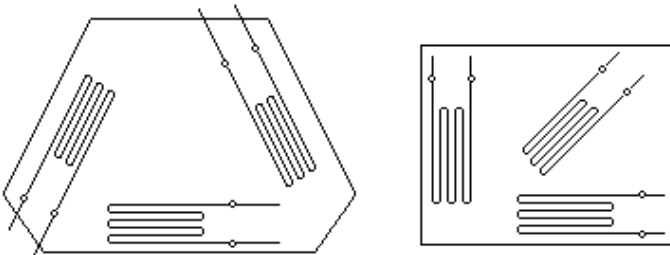


Рисунок 1.3 - а) дельта розетка; б) прямокутна розетка

Розміщення тензорезисторів на дошкульних елементах також повинно забезпечувати одержання максимального виходу сигналу і компенсацію механічних та інших перешкод.

Основною вимірювальною схемою в тензометрируванні є мостова схема. По числу плечей мостової схеми, які розташовані поза приладом, прийнято розрізняти три модифікації мостової схеми.

Найпростішою і найбільше перспективною схемою вмикання тензорезисторів є мостова схема з одним активним плечем. Три інші плеча виконані у виді стабільних резисторів, розміщених у проміжному перетворювачі або приладі.

Тензорезистори, що наклеюються, чутливі до зміни температури. Ці зміни викликають зміну опору датчика внаслідок безпосередньої залежності омичного опору від температури і деформацій, що виникають у датчику через розходження температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів датчика і деталі. Для усунення впливу температури застосовують різні методи термокомпенсації. Найбільше поширеним методом є вмикання тензорезистора, аналогічного робочому, у сусіднє плече моста. Компенсаційний датчик повинний бути наклеєний на такий же матеріал, що і робочий, але не піддаватися деформації. По своїх параметрах обидва датчики повинні бути однаковими і знаходитися в однакових температурних умовах.

Застосовують також схему повного моста, у якому усі плечі знаходяться поза приладом. Цю схему використовують головним способом у тих випадках, коли недостатньо постійні перехідні опори сполучних ліній, струмоз'ємних або комутаційних пристроїв.

### **1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

Для виконання роботи з наклеювання тензорезисторів на деталь механічні напруги, в якій необхідно визначити, насамперед вибирають місце для установки тензорезисторів. Місце установки тензорезисторів ретельно очистити від фарби, іржи або забруднення за допомогою абразивних засобів. Незалежно від матеріалу, нерівності поверхні в місцях розміщення тензорезисторів не повинні перевищувати 15-25мкм при застосуванні тензорезисторів із тонкої і 25-50мкм - із товстою або комбінованою основою.

Після зачищення й обезжирювання необхідно зробити ґрунтовку місця наклеювання для одержання проміжного клейового

шару. Грунтовку зробити розведеним монтажним клеєм. Наклеювання тензорезисторів зробити безпосередньо після опрацювання поверхні об'єкта дослідження або після полімеризації ґрунтового шару. При наклеюванні терморезистивними клеями забезпечити нормальну термообробку по рекомендованому режимі. При наклеюванні тензорезисторів із тонкою основою на метал та інші електропровідні матеріали необхідно в місці приєднання вивідних контактів підклеювати конденсаторний папір або тонку, просочену клеєм склотканину. Це підвищує надійність електричної ізоляції між штахетом і поверхнею.

Наклеювання тензорезисторів із паперовою основою експрес-клеєм циакрин 30 виконувати після ґрунтовки основи яким-небудь клеєм холодного затвердіння з наступним нормальним сушінням. Тензорезистори з плівковою основою ґрунтовки не вимагають.

Перед наклеюванням ампулу з циакрином витягти з холодильника і витримати при температурі  $+10^{\circ}$  -  $+20^{\circ}$  протягом 15-20 хв. В ампулі проколоти отвір діаметром біля 0,3мм.

Клей нанести тонким шаром тільки на основу тензорезистора, що точно установити на місце наклеювання і витримати під тиском протягом однієї хвилини. Наступне сушіння здійснювати при нормальній температурі та вологості 40-60% не менше 12 годин.

Нанесення клеїв інших типів на поверхню варто робити колонковими пензлями №5-8. Грунтовку пористих матеріалів виконують також колонковими пензлями №8-12. При замазуванні пір і раковин фосфатцементом використовують сталевий шпатель. Наклеювання фольгових тензорезисторів зробити клеями ВЛ-4 і ВЛ-931. На досліджувану поверхню, попередньо підігріту до  $70-80^{\circ}\text{C}$ , нанести ґрунтовий шар клею, який після сушіння піддати термообробці (нагрів до  $180^{\circ}\text{C}$  з наступним охолодженням у термостаті, що остигає). Після наклеювання тензорезисторів зробити сушіння і термообробку. Потім тензорезистори покрити клеєм із наступним сушінням і термообробкою.

Наклеювання дротових тензорезисторів із паперовою і плівковою основою термоактивними клеями виконати також, як і клеями холодного затвердіння, із тієї різницею, що після сушіння об'єкт дослідження з наклеєними тензорезисторами піддати термообробці в сушильній шафі або термостаті, забезпечивши рекомендований режим термообробки (наліпка тензорезисторів

клеями холодного затвердіння буде розглянута в практичній частині роботи).

Після наклеювання тензорезисторів перевірити її якість, опір тензорезисторів і опір ізоляції штахету щодо об'єкта дослідження. Візуально перевірити відсутність відшарувань основи, щільність її прилягання до поверхні, а також відсутність зсувів осі штахету щодо розміточних рисок. Опір ізоляції між штахетом і поверхнею об'єкта дослідження не повинно бути менше 50-100 мОм.

### **Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи**

1. Які методи використовуються для визначення напруг у деталях механізмів?
2. Що дозволяє визначити метод тендітних лакових покриттів?
3. На якому явищі заснована дія тензорезисторів?
4. Що прийнято за основні параметри тензорезисторів?
5. Що розуміється під коефіцієнтом тензометричної чутливості?
6. З яких матеріалів виготовляються тензорезистори?
7. Які типи тензорезисторів застосовуються в машинобудуванні?
8. У чому перебуває основна перевага фольгових тензорезисторів?
9. Переваги і недоліки напівпровідникових тензорезисторів?
10. Які застосовуються електричні схеми з'єднання тензорезисторів?
11. Що таке температурна компенсація і як вона виконується?
12. Які вимоги до наклеювання тензорезисторів?

### **Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування**

1. Тензометричні датчики опору.
2. Деталі автомобіля.
3. Абразивні матеріали.
4. Розчинники (ацетон, спирт).
5. Дрантя.
6. Клей для наклеювання тензорезисторів.

#### **1.4 Порядок виконання лабораторної роботи**

Наліпку тензорезисторів із паперовою, плівковою або лаковою основою клеєм холодного затвердіння проводять у наступній послідовності.

- 1.4.1 Підготувати місце наклеювання відповідно до вищевказаних вимог.

1.4.2 Обезжирити місце наклеювання ацетоном, спиртом або ефіром.

1.4.3 Провести обрізку основи тензорезистора на відстані 1-2мм від штахету по подовжніх крайках і не ближче 3-2мм від кінця штахету.

1.4.4 На підготовлену поверхню і на основу тензорезистора нанести тонкі шари клею, просушити.

1.4.5 Провести повторне покриття основи (іноді місця наліпки) більш товстим шаром клею і потім тензорезистор можливо точніше укласти на підготовлену поверхню уздовж розміточних рисок.

1.4.6 Покрити тензорезистор фторопластовою або целофановою плівкою і гумовим валиком накопити тензорезистор, видаляючи надлишки клею.

1.4.7 Закріпити тензорезистор на поверхні та витримати якийсь час під тиском.

1.4.8 Провести холодне сушіння при температурі 20-25°C і вологості не більш 50%.

### **1.5 Зміст звіту**

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, цілі і задачі;
- короткі теоретичні зведення;
- схеми наклеювання і з'єднання тензорезисторів;
- висновки.

**Література:** [1], с.101-105, 125-126; [2], с.17-22; [3], с.92-107; [4], с.55-91.

## **2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ПРОМІЖНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІНФОРМАЦІЇ**

### **2.1 Ціль роботи**

2.1.1 Вивчити пристрої, застосовувані для проміжного перетворення інформації від тензорезисторів.

2.1.2 Набути навички роботи з тензометричною підсилювальною апаратурою.

2.1.3 Вивчити способи тарування і методи оцінки похибок тензоапаратури.

2.1.4 Провести виміри, побудувати тарувальний графік балки рівного опору, визначити похибку виміру.

## 2.2 Загальні відомості

При дослідженнях автомобілів та їх агрегатів для одержання інформації про механічні напруги в деталях часто використовують так названі “аналогові” методи вимірювання. Серед аналогових методів широко використовують метод тензометрії, який дозволяє вимірювати неелектричні величини електричними засобами. Одержуваний при цьому сигнал у таких схемах має дуже малу потужність, тому при вимірі дуже малих деформацій (порядку  $1 \cdot 10^{-4}$ ), а також при високій верхній межі частот вимірювальних деформацій необхідно застосовувати вимірювальні прилади дуже високої чутливості або вводити в схему посилюючі пристрої. Для різних видів вимірів створені різні типи тензоапаратури, що відрізняються принципом роботи, метрологічними характеристиками, кількістю вимірювальних каналів і т.д.

При статичних вимірах найбільше доцільно застосування приладів, дія яких засновано на нульовому методі виміру (тензомості). При цьому методі вимірювальний міст після кожного навантаження балансується зміною опорів пасивних плечей моста, убудованих в апаратуру. Зрівноважування моста може бути ручним або автоматичним, безупинним (реохорд) або дискретним (набір зразкових резисторів із перемикачем). Вимірювальна деформація оцінюється по різниці положень зрівноваженого органа (показань шкали реохорда або хода перемикача), після навантаження і до нього. Живлення вимірювального моста може здійснюватися постійною, перемінною або імпульсною напругою.

Нульовий метод виміру відрізняється високою точністю, обумовленою точністю зрівноваженого органа (похибки підсилювача і джерела живлення моста практично не позначається на точності вимірів). По цьому принципі працюють тензометричні прилади ІСД-3, ЦТМ-3, ІДЦ-1 та ін. Низька швидкодія обмежує застосування цих приладів статичними вимірами.

При дослідженні динамічних процесів, характерних для роботи автомобілів, застосовують апаратуру, що працює за методом відхилення (тензопідсилювачі). У цих пристроях вимірювальний міст балансують вручну при ненавантаженому об'єкті. У процесі

випробувань посилений сигнал розбалансу представляє у визначеному масштабі інформацію про миттєве значення вимірювального розміру. Цей метод пред'являє високі вимоги до метрологічних характеристик підсилювача і джерела живлення моста. Тензопідсилювачі звичайно мають декілька однакових вимірювальних каналів, що мають виходи для підключення стандартної реєструвальної апаратури (світлопроменеві осцилографи, магнітографи).

Живлення мостів може здійснюватися як постійним, так і перемінним струмом несучої частоти (від сотень герц до десятків кілогерц).

Вибір підсилювача визначає структурна схема, прийнята для вимірювальної системи.

Так, у системах із зворотним зв'язком від підсилювачів потрібно висока стабільність, тоді як амплітудні та частотні характеристики і суворота сталість коефіцієнта підсилення не мають вирішального значення. Навпаки, у системах прямого перетворення обов'язкова висока стабільність характеристик підсилювача й особливо коефіцієнта підсилення, необхідні також лінійна амплітудна характеристика і широка смуга пропускання.

У вимірювальних системах застосовують підсилювачі перемінного струму, постійного струму і підсилювачі, які працюють на несучій частоті.

*Підсилювачі перемінного струму* відрізняються простотою і стабільністю характеристик, смуга їх пропускання обмежена. Тому вони придатні більше для вимірів при досить високій частоті нижчої гармоніки досліджуваного процесу (починаючи від 20Гц) і помірній частоті вищих гармонік (до 8-10кГц). Зокрема, підсилювачі перемінного струму застосовують для посилення сигналів недокомпенсації. При необхідності в схему вводять перетворювачі частоти вхідного сигналу.

*Підсилювачі постійного струму* відрізняються порівняно широкою смугою пропускання (до 200кГц), але мають недостатньо стабільні характеристики.

На характеристики помітний вплив здійснюють коливання живлячих напруг, температури, вологості, а також зміна згодом властивостей деталей самого підсилювача. Область застосування підсилювачів цього типу - посилення широкосмугастих сигналів із

постійної складової, наприклад, від п'єзоелектричних датчиків тиску (індиціювання ДВЗ).

Підсилювачі на несучій частоті найбільше універсальні. У блок таких підсилювачів входять генератор несучої частоти *ГНЧ* (0,5-50кГц), амплітудний модулятор *АМ* (у виді бруківкою або диференціальною схемою), підсилювач *П* перемінного струму, модулятор посиленних сигналів *ПМ*, фазочутливий детектор *ФД*, що здійснює демодуляцію посиленого сигналу й одночасно визначальний знак збільшення параметра датчика і, нарешті, фільтр несучої частоти *Ф*, після якого сигнал подається на вихідну ланку (показник *Пк*). Блок-схема підсилювача і послідовність проходження і перетворення їм сигналу датчика показана на рис. 2.1.

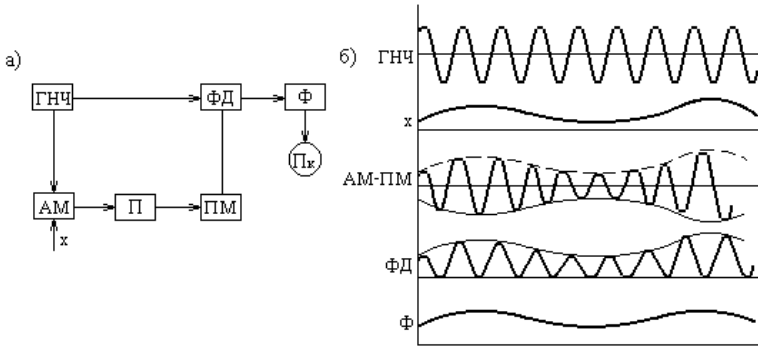


Рисунок 2.1 - Блок схема (а) і послідовність перетворення (б) сигналів у підсилювачі на несучій частоті

Ефективність підсилювачів даного типу визначається правильним вибором несучої частоти. Необхідно, щоб несуча кругова частота  $\omega$  перевищувала найбільше значення моделюючої кругової частоти  $Q$  не менше, ніж у 10-15 разів.

У проміжних ланках вимірювальних схем у даний час широко використовують перетворювачі вимірювальних аналогових величин у цифровий код, що потім і перетвориться в сигнали, що посилюються на вихідний пристрій.

При роботі з тензоапаратурою, що працює по методу відхилення, перед проведенням випробувань, а іноді в проміжках між

дослідами, проводять тарування апаратури з метою визначення масштабного коефіцієнта запису, необхідного для розшифровування осцилограм. У залежності від форми і розмірів деталі, на якій наклеєні тензорезистори, а також від вимірювальних величин застосовують різні види тарування.

При випробуваннях автомобілів за допомогою тензорезисторів, наклеєних на відповідні чутливі елементи, у якості яких можуть використовуватися і деталі автомобіля (наприклад, півосі), вимірюють зусилля, крутні моменти, переміщення, тиски й інші розміри. У таких випадках доцільно проводити безпосереднє тарування вимірювального тракту, для чого деталь із наклеєними тензорезисторами піддають у відповідному пристосуванні еталонним навантаженням, реєструючи при цьому вихідні показання (наприклад, зсув світлової плями на екрані світлопроменевого осцилографа). Навантаження здійснюють ступенями в двох напрямках (навантаження-розвантаження) з метою виявлення можливого гистерезису.

Експериментальні точки аппроксимуються лінійною залежністю по методу найменших квадратів. Масштабний коефіцієнт визначається за результатами  $n$  вимірів по формулі:

$$m = \frac{\sum_1^n P_i h_i}{\sum_1^n h_i^2}, \quad (2.1)$$

де  $P_i$  і  $h_i$  - відповідно  $i$ -ті навантаження деформації й ордината осцилограми.

Вважаючи відхилення експериментальних точок  $\Delta P_i = P_i - mh_i$  від своїх математичних чекань випадковими з нормальним законом розподілу, визначають середньоквадратичну похибку масштабного коефіцієнта:

$$\sigma_m = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta P_i^2}{(n-1) \sum_1^n h_i^2}}, \quad (2.2)$$

У ряді випадків для оцінки похибки застосовують дисперсію  $\sigma^2$ . Однак на практиці частіше користуються відносною середньоквадратичною похибкою:

$$\delta_m = \pm \frac{\sigma_m}{m} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Середньоквадратична похибка - вірогідний розмір, він обмежує інтервал, якому задовольняють результати  $\sim 68\%$  вимірів.

При тензометруванні деталей складної форми, що не дозволяють задавати еталонні деформації в зоні наліпки тензорезисторів, тарування тензоапаратури проводять за допомогою декількох тензорезисторів із цієї ж партії, наклеєних на спеціальні тарувальні балочки чистого вигину, що виготовляються, як правило, із того ж матеріалу, що і випробовувана деталь. Розкид по опорі датчиків у партії не повинний перевищувати 0,5% опори датчика, наклеєних на випробовуваній деталі.

Датчик, наклеєний на тарувальну балку, включають у плече напівмісту підсилювача, сусіднім плечем якого є робочий датчик. Для забезпечення температурної компенсації тарувальна балка і досліджувана деталь повинні знаходитися в аналогічних температурних умовах.

У випадку, коли виносний напівміст підсилювача перебуває з двох робочих датчиків, наклеєних на досліджувані деталі в місцях із рівною за розміром, але зворотною за знаком деформацією, датчики, що наклеюються на тарувальну балку, включаються паралельно робочим датчикам. Таким чином, кожне плече вимірювального напівмісту перебуває з паралельно включених робочого датчика і датчика, наклеєного на тарувальну балку.

Тарування датчиків з апаратурою робиться після попереднього зрівноважування моста. При навантаженні тарувальної балки визначається залежність відхилення вимірника від деформації  $\varepsilon$  балки, а по відхиленню вимірника при деформації досліджуваної деталі можна визначити її деформацію в місці наліпки робочого датчика.

На рис. 2.2 показана схема градуйованого пристрою з балкою прямокутного перетину  $m \times b$  на двох опорах, що навантажується симетричними силами.

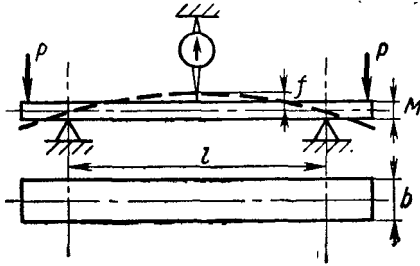


Рисунок 2.2 - Схема градуйованого пристрою для тарування датчика

Між опорами балка піддається чистому вигину і, отже, має постійну відносну деформацію поверхневих волокон, що дозволяє наклеювати датчики в будь-якому місці по всій довжині  $l$ . До консольних кінців балки прикладають рівні сили  $P$ , що викликає її вигин. Ця деформація може бути визначена побічно за розміром прогину  $f$  в середині балки, за допомогою формули:

$$\varepsilon = 4f \frac{m}{l^2}, \quad (2.4)$$

де  $l$  і  $m$  - відстань між опорами і товщина балки відповідно;  
 $\varepsilon$  - деформація робочої ділянки балки.

Розмір прогину  $f$  визначають індикатором, висоту  $m$  - мікрометром, а довжину балки з постійним згинаючим моментом - штангенциркулем.

Характеристики тензопідсилювачів можуть декілька змінюватися під дією змін напруги живлення, температури і т.д., що приводить до зміни масштабу запису. Щоб врахувати зміну масштабного коефіцієнта (при розшифруванні осцилограм), у проміжках між опитами періодично проводять електричне калібрування підсилювача за допомогою убудованих пристроїв. Калібрування здійснюється двома способами: подачею на вхід підсилювача еталонного електричного сигналу при відключеному тензомості (ТА-5), або створенням еталонного розбалансу моста шунтуванням одного з плечей «масштабним» резистором (Топаз-1).

### 2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовуванні до лабораторної роботи необхідно вивчити конструкцію і роботу:

#### 2.3.1 Вимірника деформації цифрового ІДЦ-1.

Вимірник деформації цифровий ІДЦ-1 являє собою тензоміст для статичних вимірів із дискретним автоматичним зрівноважуванням і уявленням інформації в цифровій формі в одиницях відносної деформації ( $1 \text{ о.в.д.} = 10^{-6}$ ). Діапазон виміру ( $10000 \text{ о.в.д.}$  при основній похибці  $\pm 20 \text{ о.в.д.}$ ).

Прилад дозволяє робити виміри в 10 точках послідовно, для чого містить убудований комутатор датчиків (рис. 2.3).

Зовнішній напівміст утворений активним і компенсаційним тензорезисторами з номінальним опором  $50 \dots 500 \text{ Ом}$ , внутрішній напівміст - прецизійними резисторами  $R1$  і  $R2$ .

Генератор забезпечує живлення моста перемінною напругою прямокутної форми.

Підсилювач перемінного струму підсилює сигнал розбалансу, нуль орган видає сигнал про знак розбалансу.

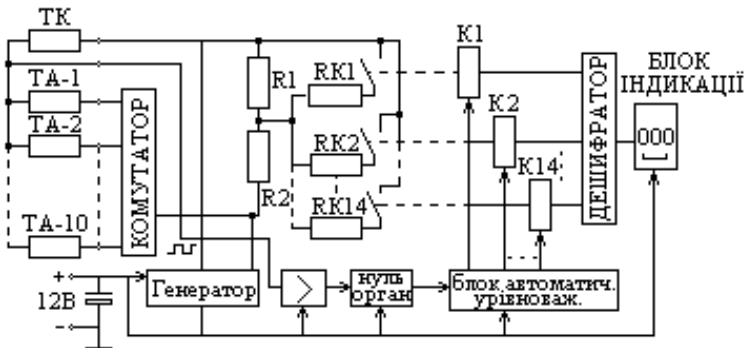


Рисунок 2.3 - Структурна схема приладу ІДЦ-1

Блок автоматичного зрівноважування через виконавчі реле  $K1 \dots K14$  приєднується паралельно плечу  $R1$  компенсаційні резистори  $RK1 \dots RK14$  по визначеному алгоритму доти, поки розбаланс не стане дуже малим (нижче порога чутливості нуля органа). Цикл виміру триває до  $1,5 \text{ с}$ .

Кожний компенсаційний резистор еквівалентний по розбалансу визначеного розміру деформації, таким чином вимірювальна деформація однозначно визначається комбінацією включених реле.

Дешифратор служить для перетворення коду реле в код цифрового індикатора. Тому що прилад працює без попереднього балансування, деформація визначається як різниця показань індикатора при навантаженому і розвантаженому об'єкті; при відмінності коефіцієнта тензочутливості  $K$  від типового значення 2 уводять поправочний коефіцієнт:

$$\varepsilon = \frac{2}{K}(E - E_o) \quad (2.5)$$

Живлення приладу автономне від батареї гальванічних елементів (12В при струмі 0,35А), для підвищення ресурсу батареї індикація включається тільки на деякий регульований час, достатнє для зчитування показань.

2.3.2 Тензопідсилювача «Топаз-1», призначеного для статодинамічних вимірів за допомогою тензорезисторів опором 100...400 Ом, з'єднаних у міст або напівміст. Діапазон вимірювальних деформацій (1000 о.в.д., максимальний вихідний струм  $\pm 10$ МА. Прилад має 10 підсилювальних каналів, структурна схема каналу подана на рис. 2.4.

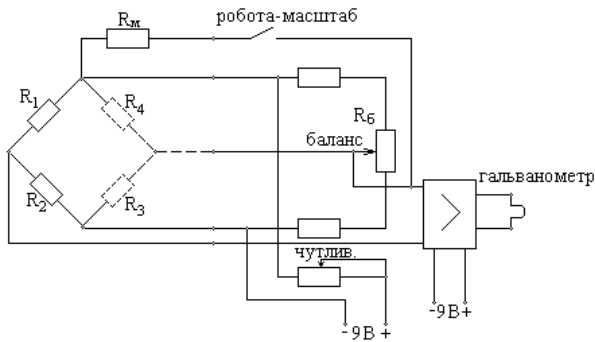


Рисунок 2.4 - Структурна схема каналу підсилювача «Топаз-1»

Тензорезистори  $R3$  і  $R4$  застосовуються для підвищення чутливості, їхня установка не обов'язкова. Масштабний резистор  $R_m$  підбирається і впаюється користувачем, він включається при

калібруванні для створення еталонного розбалансу тумблером «масштаб-робота».

Балансування моста робиться регульовальним резистором  $R_6$ .

Чутливість плавно регулюється перемінним резистором у ланцюзі живлення моста.

Диференціальний підсилювач постійного струму виконаний на транзисторах.

Живлення приладу напругою 12В при струмі до 1,5А, наприклад, здійснюється від бортмережі автомобіля. Тензомости живляться через стабілізатор напруги 9В, живлення підсилювачів здійснюється гальванічне розв'язаними напругами 9В від убудованого транзисторного перетворювача напруги.

Прилад має індикатор із перемикачем для балансування і регулювання чутливості каналів.

2.3.3 Тензопідсилювача ТА-5, призначеного для статодинамічних вимірів за допомогою тензорезисторів опором 100...400 Ом, приєднують по напівмостовій схемі. Діапазон вимірювальних деформацій  $\pm 10000$  о.в.д.

Підсилювач має 4 однакових канали, структурна схема каналу приведена на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 - Структурна схема каналу тензопідсилювача ТА-5

Генератор несучої частоти живить міст напругою 6В частотою 7кГц.

Балансувальний пристрій служить для компенсації початкового розбалансу, що допускається до 1%. У зв'язку з підвищеною частотою несуча нерівність ємностей плечей (ємності кабелю та ємності між тензорезисторами і деталлю) викликає додатковий розбаланс, тому в приладі крім балансування по  $R$  (активної складової) передбачене і балансування по  $C$  (ємності). Після балансування при відсутності деформації тензорезисторів сигнал на виході балансувального пристрою відсутній. Деформація викликає пропорційну їй перемінну напругу несучої частоти на виході балансувального пристрою, причому при зміні знака деформації змінюється на  $180^\circ$  фаза цієї напруги.

Вхідний дільник (перемикач діапазонів) служить для східчастої зміни чутливості.

Підсилювач, виконаний на електронних лампах, підсилює слабкий сигнал до рівня, достатнього по потужності для гальванометра осцилографа. Підсилювач має великий постійний регульований коефіцієнт підсилення.

Фазочутливий детектор випрямляє посилений сигнал, причому знак вихідного струму змінюється при зміні знака деформації. Для цього детектор, крім сигнального входу (від підсилювача), має вхід опорної напруги прямокутної форми, що збігає по фазі з напругою живлення моста і вироблюваного генератором прямокутних імпульсів. При збігу фаз на обох входах детектора сигнал на виході позитивний, при відмінності фаз на  $180^\circ$  - негативний.

Калібрований пристрій служить для автоматичного запису на осцилограмі нульових і масштабних ліній. При його умиканні вхід підсилювача періодично скорочується на короткий час (при цьому записується нульова лінія). Потім на короткий час на вхід подається малий сигнал від генератора несучої частоти, при цьому на виході тече струм (масштабний сигнал), що може декілька відрізнятися від досліду до досліду, але завжди відповідає визначеному розміру деформації.

Блок живлення служить для живлення анодних, розжарювальних і допоміжних ланцюгів. Підсилювач живиться від мережі 220В, 50Гц, споживана потужність 100Вт. При проведенні дорожніх випробувань прилад можна живити напругою 115В, 400Гц від електромашинного перетворювача (наприклад, МА-100), що працює від акумуляторної батареї.

Прилад має індуктор із перемикачем для настроювання і контролю каналів. Для зовнішнього приєднання є перехідники входів і виходів. У останньому є підстроечні резистори для плавного регулювання масштабу запису.

Тарувальне пристосування дозволяє східчасто навантажувати силовимірвальний елемент із наклеєними тензорезисторами контрольованим зусиллям і призначено для проведення тарування вимірвального тракту.

Світлопроменевий осцилограф застосовується в даній роботі для визначення масштабного коефіцієнта запису.

Градуйований пристрій служить для встановлення залежності між розміром вихідного струму підсилювача або відхилення реєструвального приладу і розміром деформації деталі, який реєструється датчиком.

2.3.4 Для побудови тарувального графіка балки рівного опору зібрати вимірвальну схему, яка складається з підсилювача ТА-5, балки рівного опору з тензорезисторами і світлопроменевого осцилографа К12-22. Для реєстрації інформації скласти табл. 2.1. для не менше ніж десяти вимірів.

Таблиця 2.1 – Результати експериментальних досліджень

№ п/п	$P_i$ навантаження, Н	$h_i$ відхилення реєстратора, мм	$h_i^2$	$P_i \cdot h_i$	$mh_i$	$\Delta P_i$	$\Delta P_i^2$
1..10							
			$\sum_1^n h_i^2$	$\sum_1^n P_i \cdot h_i$			$\sum_1^n \Delta P_i^2$

2.3.5 Для побудови тарувального графіка непрямим методом застосувати градуйовану установку, на балці якої наклеєні тензорезистори з партії, що наклеєні на випробовуваній деталі. Зібрати вимірвальну схему, яка складається з підсилювача ТА-5, градуйованого пристрою з балкою чистого вигину, випробовуваної деталі і світлопроменевого осцилографа К12-22. Для реєстрації інформації скласти табл. (2.2) для не менше ніж десяти вимірів.

Таблиця 2.2 - Результати експериментальних досліджень

№ п/п	$f$ прогин балки, мКм	$E$ деформація	$h_i$ відхилення реєстратора, мм	$h_i^2$	$\varepsilon_i h_i$	$mh_i$	$\Delta\varepsilon_i$	$\Delta\varepsilon_i^2$
1...10								
				$\sum_1^n h_i^2$	$\sum_1^n \varepsilon_i h_i$			$\sum_1^n \Delta\varepsilon_i^2$

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Для чого використовуються пристрої проміжного перетворення?
2. На якому принципі заснована робота тензомоста ІДЦ-1, у яких випадках він застосовується?
3. Якими перевагами і недоліками володіють тензометричні підсилювачі постійного струму?
4. Чим викликана необхідність балансування моста в тензопідсилювачі?
5. Який метод виміру застосовується при дослідженні динамічних процесів?
6. У чому відмінність підсилювачів постійного струму від підсилювачів, що працюють на несучій частоті?
7. У чому особливість вибору несучої частоти підсилювача?
8. Для чого робиться тарування вимірювального тракту?
9. Як визначається середньоквадратична похибка?
10. Що виражає масштабний коефіцієнт і як він обчислюється?

### Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування

1. Вимірник деформацій ІДЦ-1.
2. Тензометричний підсилювач 8АН4-7М.
3. Підсилювач постійного струму ТОПАЗ-1.
4. Вимірювально-інформаційна система (підсилювач ТА-5, світлопроменевий осцилограф К12-22, деталь із установленими резисторами і навантажувальним пристроєм).
5. Блок живлення.

6. Вимірник деформацій ІДЦ-1.

7. Градуйований пристрій.

## 2.4 Порядок виконання лабораторної роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконувати наступне:

2.4.1 Вивчити конструкцію, органи керування, роботу проміжних перетворювачів: ІДЦ-1; ТОПА3-1; 8АН4-7М; ТА-5.

2.4.2 Зібрати інформаційно-вимірювальну систему: деталь із установленими тензорезисторами - навантажувальний пристрій - підсилювач ТА-5 - реєстратор К12-22.

2.4.3 Установити органи керування підсилювача ТА-5 у вихідне положення (вхідні деталі в положення «0», тумблер «R-C» у положення «R»), умикнути підсилювач і прогріти 15 хв.

2.4.4 Перевірити калібрування каналу, установивши вхідний дільник у положення «К». Стрілка індикатора повинна установитися в оцінки «30».

2.4.5 Обравши необхідну чутливість каналу, зробити балансування послідовним наближенням по «R» і «C».

2.4.6 Сполучити поворотом гальванометра осцилографа К12-22 світлова пляма з нульовою оцінкою шкали лабораторного екрана.

2.4.7 Провести 6-8 навантажень деталі зростаючими щаблями навантаження, що потім убувають. Результати вимірів занести в таблицю вимірів 2.1.

2.4.8 Визначити масштабний коефіцієнт  $m$  і його похибку, виконавши необхідні обчислення і заповнивши графів таблиці.

2.4.9 Побудувати тарувальний графік у координатах  $P_1 - h$ .

2.4.10 При побудові тарувального графіка непрямим методом зібрати вимірювальну схему з підсилювача ТА-5, градуйованого і світлопроменевого пристроїв.

2.4.11 Виконати дії пунктів 2.4.3-2.4.7. Результати вимірів занести в таблицю 2.2.

2.4.12 Виконати пункт 2.4.8.

2.4.13 Побудувати тарувальний графік у координатах  $\varepsilon - h$ .

## 2.5 Зміст звіту

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, цілі і задачі;
- короткі теоретичні відомості;
- таблиця результатів вимірів з обчисленням масштабного коефіцієнта  $m$  і його похибки;
- тарувальний графік деталі в координатах  $P_1 - h\varepsilon h_i$  із нанесенням всіх експериментальних точок  $(P_i; h_i)$  і апроксимуючої прямої  $P = mh$ ,  $\varepsilon = mh$ ;
- висновки.

**Література:** [1], с.113-118; [2], с.22-30; [5], с.66-79.

## 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ВИХІДНІ ПРИСТРОЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

### 3.1 Ціль роботи

3.1.1 Вивчити реєструючі пристрої, застосовувані для запису і збереження інформації при випробуванні автомобіля.

3.1.2 Вивчити конструкцію світлопроменевого осцилографа К12-22.

3.1.3 Визначити чутливість гальванометра і його амплітудно-частотної характеристики.

### 3.2 Загальні відомості

Сигнали від об'єкта дослідження, сприйняті і перетворені датчиком, посилені і сформовані в проміжних ланках, повинні бути перероблені, класифіковані і подані у виді, зручному для оперування. Для вимірювальних систем звичайно застосовують автоматичну реєстрацію результатів вимірів, використовуючи на виході пристрої прямого перетворення, системи, що стежать і розгортають, і цифрові системи дискретної дії.

Принцип прямого перетворення використовують у багатьох універсальних реєструвальних приладах електричної дії. Це самописні вольтметри, гальванометри, логометри, прилади магнітного запису,

електричні й електронні осцилографи й ін. Ці прилади дозволяють записувати інформацію за рахунок енергії самого вихідного сигналу, тому підсилювачі зворотної зв'язок для них мають допоміжне значення.

При необхідності застосовують координатні реєстратори з двома виконавчими перетворювачами, використовуючи для цього електроннопроменеві трубки або вимірювальні гальванометри від електричних осцилографів.

Розглянемо деякі види вихідних пристроїв, застосовуваних при випробуванні ДВЗ.

Електронні або катодні осцилографи практично безінерційні і дуже зручні для візуального спостереження досліджуваних процесів у двигунах внутрішнього згорання. Роль рухливого елемента виконує в них електронний промінь. Основу катодних осцилографів складає електроннопроменева трубка з цоколем 4, яка виконується зі скла і містить джерела електронів, яким служить катод (рис. 3.1).

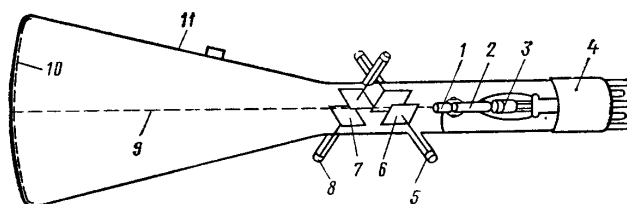


Рисунок 3.1 - Схема електроннопроменевої трубки

Оскільки електрони є електричними негативними зарядами, то на створюваний ними потік можна впливати електричними або магнітними полями. При реєстрації процесів звичайно застосовують трубки з електричним керуванням за допомогою двох анодів 1 і 2. Перший з них фокусує електронний промінь, а другий створює додаткове велике прискорення потоку для підвищення яскравості плями на екрані осцилографа. Електронний промінь проходить між двома парами пластинчастих електродів 6 і 7, названих відхиляючими пластинами, знаходячись під напругою, створюють електростатичне поле, що відхиляє промінь у напрямках двох взаємно перпендикулярних осей 5 і 8. Величина відхилень променя залежить від напруги, які подаються на пластини. Промінь 9 падає на поверхню екрана 10, що із внутрішньої сторони покритий люмінесцирувальним

складом, а поверхні *II* покриті напівпровідниковим складом (аквадагом), що забезпечує стікання зарядів з екрана.

Під дією потоку електронів на екрані виникає світіння, що загасає після зняття променя, залишаючи на екрані відповідне зображення, що є первинною реєстрацією досліджуваного процесу. Вторинну реєстрацію здійснюють фотографуванням зображення з екрана осцилографа.

Істотними нестачами катодних осцилографів є обмеженість числа реєструвальних параметрів і визначені труднощі фотографування зображень з екрана трубки.

Принцип системи, яка слідкує, використовують в автоматичних потенціометрах, рівноважних мостових схемах та інших реєструвальних пристроях, заснованих на зрівноважуванні вхідних електричних або неелектричних сигналів допоміжними компенсувальними сигналами. Такі пристрої постачають реверсивними електричними двигунами, які узгоджено переміщують реєструючи інструменти із великою точністю.

Так як в системах, які слідкують, сполучаться компенсаційні методи виміру, які забезпечують високу точність, із реверсивними двигунами з потужністю, достатньої не тільки для реєстрації вимірювальних розмірів, але і для автоматичного регулювання процесів, то ці системи знаходять широке застосування в практиці випробувань. Відомі пристрої з системами, які слідкують та забезпечують запис у прямокутних або полярних координатах із почерговим записом до 100 вимірювальних розмірів.

Розгортаючи системи удало сполучать компенсаційний метод вимірів з імпульсним відображенням результатів. При використанні в цих пристроях засобів електроніки вони набувають порівняно велику швидкодію і дозволяють переходити до реєстрації результатів у цифровій формі.

Цифрові системи дискретної дії відрізняються від вищенаведених наявністю пристроїв, що кодують і декодують та які працюють із застосуванням механічних, електромагнітних і електронних елементів. Такі системи діють по релейному принципу методами механічного друкування, перфорації, фотографії з використанням цифродрукуючих телеграфних апаратів (телетайпів), електричних друкарських машинок, автоматичних перфораторів і т.д.

Найбільше широке застосування в якості реєструвального приладу при випробуванні одержали світлопроменеві магнітоелектричні осцилографи. Чутливим елементом осцилографа є гальванометр. Миттєві значення струму реєструють променем світла на рухомому фотопапері та фотоплівці. Такий фотографічний запис називають осцилограмою. Звичайно на осцилограмі одночасно роблять запис декількох процесів.

У залежності від призначення осцилографи мають різну кількість гальванометрів від 3 до 36 шт. Для того, щоб можна було визначити, який із гальванометрів у якому місці осцилограми зробив запис, застосовують спеціальні відмітники лінії запису або запис роблять на кольоровому фотопапері або плівці. У останньому випадку перед кожним гальванометром або групою установлюють відповідний світлофільтр. Для візуального спостереження за процесом до осцилографу прикладають екран із матовим склом. У деяких моделях осцилографів для цієї цілі додатково є механізм розгортки, що представляє собою обертовий багатогранний дзеркальний барабан, на який потрапляє частина світлового променя, що йде від гальванометра. Від барабана промінь через призму потрапляє на матове скло, на якому можна спостерігати реєструвальний процес.

У ряді випадків застосовують осцилографи із записом ультрафіолетовим променем. Осцилограма із записом ультрафіолетовим променем не вимагає прояви і може знаходитися при денному світлі протягом 5-10 днів. Для тривалого збереження запис необхідно закріпити.

У більшості осцилографів для одержання оцінок часу на осцилограмі використовують імпульси струму, які подаються від електрогодинників. Імпульси струму через трансформатор надходять на гелієву лампу, що дає спалах при розмиканні контактів електрогодиннику і наносить вузьку смугу по всій ширині стрічки.

У деяких конструкціях осцилографів застосовують у якості штатного відмітника часу, що перебуває з двох дисків із радіальними щілинними вікнами, щілинної діафрагми, лампи і дзеркальця. Диски сидять на одному валу і приводяться в обертання електродвигуном. Кількість вікон на дисках не однакове і збігається лише частина вікон. Змінюючи установку диска на валу, можна змінювати кількість вікон дисків, що збігаються. Відповідно лінійний промінь відмітника буде

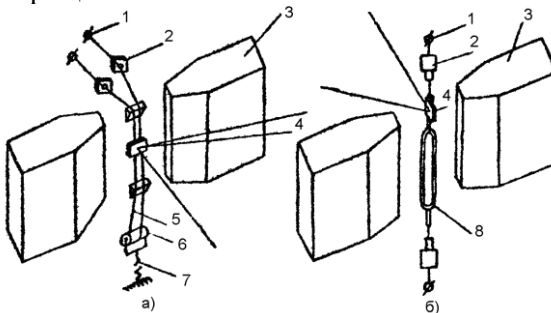
робити на осцилограмі стільки оцінок за один оборот диска, скільки вікон збігається на дисках.

В мініатюрних осцилографіях оцінка часу регулюється одним із гальванометрів.

В осцилографі можна здійснювати східчасте переключення швидкостей руху стрічки. У сполученні з відповідним набором гальванометрів це дає можливість використовувати осцилографи для запису як параметрів, що повільно змінюються, так і порівняно процесів, що швидко протікають. Осцилографи комплектуються гальванометрами різних типів, що відрізняються друг від друга характеристиками. Застосовують гальванометри петльові та рамкові.

У петльовому гальванометрі (рис. 3.2а) обертаючий момент утворюється в результаті взаємодії струму в петлі з металевої стрічки або дроти, у середині якої укріплене дзеркало 4 із магнітним полем між полюсами 3, створюваним постійним магнітом. Протидіючий момент виникає від механічного опору петлі, що з однієї сторони закріплена в тримачах 2, з іншої натягнута за допомогою пружини 7. Призматичні опори фіксують робочу частину петлі. Вимірювальний струм, який підводиться до гальванометру, по одній стороні петлі йде в одному напрямку, а по іншій - у протилежному.

Відповідно до правила лівої руки унаслідок взаємодії магнітного поля і струму струни петлі гальванометра будуть вигинатися в протилежні сторони. Дзеркало, наклеєне на петлю, буде провертатися, а відбитий промінь світла переміщується у виді світлової плями на фотострічці.



а - петльовий, б - рамковий (стрілками показані промені світла);  
 1 - виводи, 2 - тримачі, 3 - полюси магніту, 4 - дзеркало, 5 - петля,  
 6 - блок опори петлі, 7 - натяжна пружина, 8 - рамка  
 Рисунок 3.2 - Гальванометр світлопроменевих осцилографів

У рамковому гальванометрі (рис. 3.2б) між полюсами магніту приміщена не петля, а вимірювальна рамка 8 із декількома витками провідника, що значно збільшує чутливість гальванометра. Обертальний момент створюється в результаті сумарної взаємодії струму у витках рамки з магнітним полем між полюсами 3. Протидіючий момент визначається механічним опором розтягнень, що одночасно служить для кріплення рамки з дзеркалом до тримачів 2 і для підведення струму до неї.

Висока чутливість по струму рамкових гальванометрів дозволяє використовувати їх для безпосередньої реєстрації (без посилення) сигналів на виході тензометричного моста.

При вимірі динамічних процесів із мінімальними динамічними похибками, необхідно, щоб основна частота досліджуваного процесу була в 5-10 разів менше частоти власних коливань гальванометра. Співвідношення частот в основному визначається вірністю добору загасання власних коливань дзеркала. У гальванометрах необхідного загасання можна досягти, помістивши систему в прозору рідину визначеної в'язкості.

У рамкових гальванометрах необхідне загасання власних коливань крім зазначеного способу досягається ще і шунтуванням рамки спеціально підібраним резистором (електромагнітне демпфування). Електромагнітне демпфування діє незалежно від бажання експериментатора, тому що рамка гальванометра завжди шунтується вимірювальним ланцюгом. Розмір цього демпфування буде залежати від опору вимірювального ланцюга. У багатьох випадках електромагнітне демпфування при наявності низькоомних вимірювальних ланцюгів (~50см) поліпшує характеристики гальванометрів, що мають рідинне демпфування.

Основною характеристикою гальванометра є чутливість  $S_r$ :

$$S_r = \frac{\Delta\alpha}{\Delta i} \text{ мм/мА} \cdot \text{м}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta\alpha$  - відхилення світлового променя в мм на довжині 1м;

$\Delta i$  - струм у мА, що викликав це відхилення.

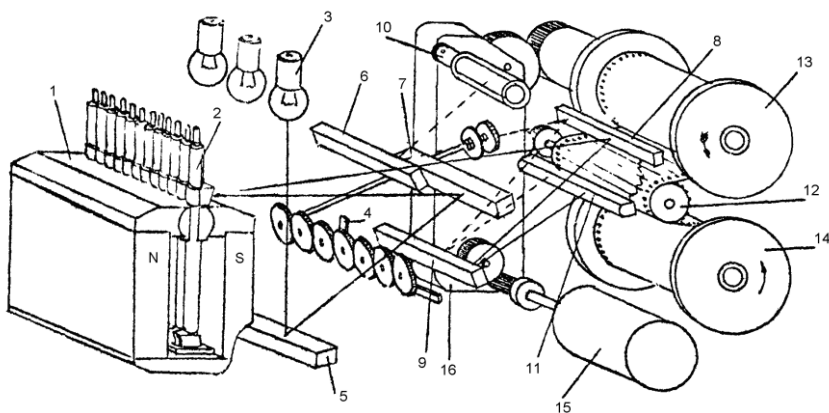
Так як в різних осцилографіях відстань від гальванометра до фотострічки по-різному, то чутливість гальванометрів відносять до довжині променя в 1м.

Осцилографи найбільше зручні у випадку реєстрації обмеженої кількості досліджуваних процесів і за умови, що довжина осцилограм не перевищує декількох метрів. Опрацювання осцилограм великої довжини представляють значні труднощі.

Запис вимірювальної інформації на магнітну стрічку за допомогою магнітографа значно спрощує переробку вимірювальної інформації в електронному аналізаторі, дозволяє використовувати ЕЦВМ, різні пристрої для автоматичного опрацювання результатів досліджуваного процесу, але вона вносить значно більш високі апаратні похибки, чим осцилографування.

### 3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготуванні до лабораторної роботи необхідно вивчити пристрій осцилографа К-12-22. Принципова схема осцилографа приведена на рис. 3.3.



- 1 - блок гальванометра, 2 - гальванометри, 3 - лампа освітлювача,  
 4 - механізм розмітки каналів, 5-9 - дзеркала, 10 - гелієва лампа,  
 11 - циліндрична лінза, 12 - головний барабан, 13 - котушка, що намотує, 14 -  
 котушка, що змотує, 15 - електродвигун, 16 - редуктор  
 Рисунок 3.3 - Принципова схема осцилографа

Блок гальванометрів 1 являє собою замкнуту магнітну систему, зібрану з постійних магнітів і магнітопроводів.

Застосування постійних магнітів забезпечує високу стабільність тарувальних характеристик гальванометрів. У гніздах магнітного

блока встановлюють дванадцять гальванометрів, що мають як рідинне, так і електричне демпфування.

Світлові потоки трьох освітлювачів 3, відбившись від плоских дзеркал 5 і 7, і пройшовши лінзи гальванометрів, потрапляють на дзеркала. Для збільшення оптичного важеля в осцилографі встановлені дзеркала 8 і 9, на які і потрапляють промені світла, відображені від дзеркал гальванометрів. Відбившись від дзеркала 9, промені фокусується на осцилографному папері у формі світних точок за допомогою циліндричної лінзи 11. Гелієва лампа 10 при розмиканні контактів електрогодиннику спалахує і проектує на осцилографному папері світлову щілину лампи через дзеркала 6, 8 і 9 та циліндричну лінзу 11. Таким чином здійснюється оцінка часу на осцилограмі.

Запис на осцилограмі утворюється у виді ліній товщиною 0,1-0,2мм по всій ширині паперу. Осцилографічний папір із котушки, що змотує 14, через головний барабан 12 проходить на котушку, що намотує 13. Головний барабан 12 рівномірно обертається з заданою швидкістю від електродвигуна 15 через редуктор 16. Для визначення на осцилографному папері номера вібратора в приладі є механізм розмітки каналів 4. Механізм приводиться в обертання від редуктора 16 і складається з циліндричних коліс, що знаходяться між собою в зачепленні. Три колеса несуть на собі обтюраторні платівки (прапорці), які послідовно перетинають світлові потоки, що падають від освітлювачів на вібратори.

Осцилограф має 12 швидкостей руху фотопаперу. Запас фотопаперу в касеті 20м. Напруга електроживлення осцилографа постійним струмом  $27 \pm 2,7\text{В}$ .

Осцилограф комплектується гальванометрами НУ-84 восьми типів. Власна частота гальванометрів у залежності від типу лежить у межах 60-6500 Гц, а чутливість до постійного струму 0,21-285мм/мА.

У роботі необхідно визначити чутливість гальванометра. Для цього використовують установку, схема якої приведена на рис. 3.4. При цьому варто враховувати, що щоб уникнути виходу гальванометра з ладу ланцюг підключають до джерела живлення при максимальному значенні опору реостата  $R$ .

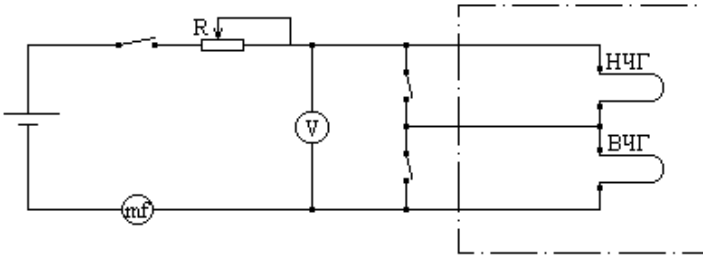


Рисунок 3.4 - Схема вмикання приладів для визначення чутливості гальванометрів

Знаючи, що відхилення  $\alpha$  світлового покажчика осцилографа залежить від довжини  $l$  покажчика (оптичного важеля), обумовленої відстанню між дзеркалом гальванометра й екраном приладу (фотопапером), можна чутливість гальванометра до струму  $S_i$  і напруги  $S_u$  визначити по формулах:

$$S_i = \frac{\alpha_i}{J \cdot l}, \quad (3.2)$$

$$S_u = \frac{\alpha_u}{U \cdot l}, \quad (3.3)$$

Довжина  $l$  покажчика осцилографа К-12-22 складе 250мм. Для дослідження динамічних властивостей гальванометрів використовується установка, схема якої приведена на рис. 3.5.

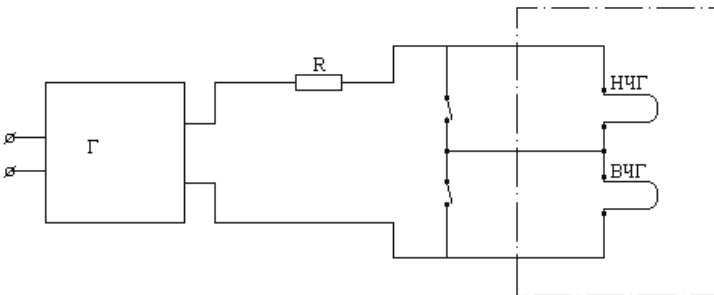


Рисунок 3.5 - Схема вмикання приладів для одержання амплітудно-частотної характеристики гальванометрів

При цьому визначають не період (частоту) власних коливань рухливої частини гальванометра, а знімають його амплітудно-частотну характеристику (АЧХ). Для цього гальванометр підключають через додатковий опір  $R$  до низькочастотного генератора сигналів синусоїдальної форми. Для запису результатів дослідження заготовити таблиці 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 - Результати експериментальних досліджень

№ п/п	$J$ , мА	$U$ , В	$\alpha$ , мм		$S_i$ , мм/мА·м		$S_u$ , мм/мВ·м		$R_2$ , Ом
			$\alpha_i$	$\alpha_u$	$S_i$	$S_{i\text{cp}}$	$S_u$	$S_{u\text{cp}}$	
Низькочастотний гальванометр									
1									
2									
3									
Високочастотний гальванометр									
1									
2									
3									

Таблиця 3.2 - Результати експериментальних досліджень

$f_i$ , Гц									
$\alpha_i$ , мм	НЧГ								
	ВЧГ								
$\alpha_i/\alpha_0$	НЧГ								
	ВЧГ								

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. З яких основних елементів складається осцилограф?
2. Як здійснюється запис оцінки часу?
3. У чому різниця між петльовими і рамковими гальванометрами?
4. На якому принципі заснована робота гальванометра?
5. Як визначається чутливість гальванометра?
6. Як одержати АЧХ гальванометра?
7. Як по АЧХ гальванометра визначити його максимальну робочу частоту?
8. Які матеріали використовуються у світлопроменевих гальванометрах для реєстрації досліджуваних процесів?

## Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування

1. Світлопроменевий осцилограф К12-22.
2. Пристосування для визначення чутливості гальванометра.
3. Пристосування для одержання амплітудно-частотної характеристики гальванометра.

### 3.4 Порядок виконання лабораторної роботи

При виконанні роботи необхідно виконати наступне:

3.4.1 Вивчити пристрій осцилографа К12-22.

3.4.2 На пристосуванні для визначення чутливості гальванометра установити максимальне значення опору резистора  $R$ .

3.4.3 Включити пристосування і встановлюючи перемінним резистором декілька значень струму в ланцюзі виміряти відповідне значення напруги і відключення світлового покажчика (у міліметрах) по екрану осцилографа.

3.4.4 Виміри провести окремо для низькочастотного (НЧГ) і високочастотного (ВЧГ) гальванометрів.

3.4.5 Розрахувати чутливість по формулах 3.1 і 3.2.

3.4.6 По усереднених значеннях чутливості розрахувати опір гальванометрів по формулі  $R_z = \frac{S_i}{S_u}$ .

3.4.7 Результати вимірів і розрахунків занести в таблицю 3.1.

Для зняття амплітудно-частотної характеристики гальванометрів необхідно:

3.4.8 Включити установку для зняття АЧХ.

3.4.9 Установити мінімально можливу частоту генератора, підбираючи таке значення його вихідної напруги, щоб відхилення світлового покажчика  $\alpha_0$  (подвійна амплітуда) не перевищувала 60% ширини екрана осцилографа.

3.4.10 Домагаючись незмінної амплітуди вихідної напруги генератора, змінювати частоту (8-10 точок), доки довжина лінії на екрані осцилографа не зміниться більше, ніж на 5% від початкової.

3.4.11 Визначити амплітуду відхилення  $\alpha_i$  для кожного значення частоти генератора.

3.4.12 Провести виміри окремо для низькочастотного і високочастотного гальванометрів.

3.4.13 Результати вимірів і розрахунків записати в таблицю 3.2.

3.4.14 Побудувати АЧХ гальванометрів. Для цього на горизонтальній осі в логарифмічному масштабі відкласти частоту, а по вертикальній осі відношення  $\alpha_i / \alpha_0$ .

3.4.15 За результатами роботи визначити ступінь розбіжності паспортної чутливості гальванометрів і отриманих до діапазону частот, відтворених гальванометрами.

### **3.5 Зміст звіту**

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, цілі і задачі;
- короткі теоретичні зведення;
- результати досліджень і розрахунків (табл. 3.1, 3.2);
- побудована АЧХ гальванометрів;
- висновки по роботі.

**Література:** [1], с.118-124; [2], с.53-62; [5], с.59-66.

## **4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ГАЛЬМОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

### **4.1 Ціль роботи**

4.1.1 Вивчити конструкцію, принцип дії гальмових установок для випробування ДВЗ.

4.1.2 Вивчити загальні вимоги й умови випробувань ДВЗ.

4.1.3 Ознайомитися з порядком роботи на гальмовій установці з динамометром постійного струму DS736-4/V ПС.

### **4.2 Загальні відомості**

Високий рівень розвитку сучасних автомобільних двигунів внутрішнього згоряння впровадження засобів електронної техніки, що забезпечує оптимальну роботу приладів систем живлення і запалювання, застосування каталітичних нейтралізаторів, що істотно зменшують викид токсичних речовин, ріст надійності двигунів привели до необхідності розробки нових методів випробувань, до

створення гальмових установок дублюючих фактичну роботу двигуна в умовах експлуатації.

Для випробування двигунів застосовують гальмові установки (стенди), стенди з біговими барабанами, що імітують роботу двигуна на автомобілі при його експлуатації, установки для безмоторних випробувань паливної апаратури і приладів електроустаткування, холодильні і кліматичні камери.

Стенові випробування двигунів проводять для встановлення їх потужносних і економічних показників, перевірки надійності конструкції двигуна або окремих його елементів, вивчення впливу різних факторів на роботу двигуна. Стенові випробування розрізняють по видах, установлюваним відповідний ДЕРЖСТАНДАРТ.

При усіх видах випробувань необхідно знімати характеристики двигунів. При цьому, умови випробувань не повинні перешкоджати нормальній роботі двигуна на всіх режимах. Стенди для випробувань двигунів обладнають відповідно до вимог технологічного процесу випробувань. Вони повинні задовольняти також вимоги: будівельним, техніки безпеки і промислової санітарії, пожежної безпеки. Повинні мати пристрій для виміру потужності, оцінки теплового стану, визначення витрати палива й інших показників роботи двигуна.

Відповідно до цього випробувальний стенд повинний бути обладнаний наступними основними агрегатами і системами:

- пристроєм для установки і закріплення двигуна;
- гальмовим пристроєм, призначеним для поглинання енергії, що виробляє двигун у процесі випробувань і пристроями для виміру навантаження і виміри потужносних показників двигуна;
- пристроями для з'єднання двигуна з гальмом;
- пристроєм для живлення двигуна паливом і виміру його витрати;
- пристроєм, що забезпечує охолодження двигуна і підтримки температурного режиму в необхідних межах;
- пристроєм для підведення і виміру витрати повітря;
- пристроєм для відводу відпрацьованих і картерних газів;
- пристроєм для виміру параметрів роботи двигуна, впливу яких досліджується;
- апаратурою і приладами для виміру розмірів, що характеризують роботу двигуна і його агрегатів;
- пультом для керування двигуном при випробуванні.

Відповідно до стандартів автомобільні двигуни під час випробувань повинні бути укомплектовані всіма агрегатами, що забезпечують їхню роботу в умовах експлуатації, за винятком вентилятора, глушія системи випуску й устаткування, встановлюваних на двигун для обслуговування шасі автомобіля.

Устаткування й апаратура випробувальних установок повинні забезпечувати визначення параметрів роботи двигунів із точністю, обумовленої ДСТ на методи стендових випробувань двигунів.

Однією із задач зняття характеристик ДВЗ є визначення їх ефективних потужносних показників. Ефективна потужність, що розвивається двигуном при стендових випробуваннях, поглинається гальмовими пристроями. Потужність визначають по крутному моменту і відповідній частоті обертання колінчатого вала. Для виміру крутного моменту гальмовий пристрій має балансиру підвіску і вагову голівку або електронний цифровий індикатор крутного моменту. Частоту обертання вимірюють ручним або електронним тахометром.

Гальмовий пристрій повинен ефективно поглинати потужність у всьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів, в яких працює випробовуваний двигун. Крім того, забезпечувати стабільність гальмування (підтримка постійного гальмового моменту протягом тривалого часу), стійкість гальмування (зберігання незмінності швидкісного режиму при випадкових змінах навантаження двигуна), а також можливість примусового обертання колінчатого вала двигуна. Бажано, щоб енергія, що поглинається гальмовим пристроєм, використовувалася корисно.

Гальма за принципом, використаному для створення гальмового моменту, можна підрозділити на механічні, повітряні, гідравлічні, електричні, індукторні і комбіновані. В даний час застосовують гідравлічні, електричні й індукторні гальмові установки.

*Гідравлічні гальма* самі прості по конструкції, мають меншу вартість і використовуються в тих випадках, коли не потрібно примусового обертання колінчатого вала двигуна. Потужність двигуна, що поглинається гідравлічним гальмом, затрачається на вчинення гідродинамічної роботи і на тертя ротора гальма об рідину. Найбільше поширення одержали лопатеві і штифтові гідравлічні гальма.

У якості *електричного гальма* застосовують електричну машину, що може працювати і як генератор (при гальмуванні випробовуваного двигуна), і як електродвигун (при примусовому обертанні колінчатого вала випробовуваного двигуна). Цим електричні гальма вигідно відрізняються від гідравлічних і інших гальм, тому що дозволяють визначати не тільки потужність, що розвивається двигуном, але і механічні втрати двигуна, а також здійснювати запуск двигуна без стартера, проводити холодне обкатування після зборки.

При випробуваннях автомобільних двигунів застосовують електричні гальма постійного струму - балансирні динамомашини.

Гальма цього типу регулюють струмом порушення, унаслідок чого забезпечуються стабільність роботи гальмової установки, точність вимірів. Крім того, можна легко автоматизувати випробування при проведенні їх по заданій програмі. Електрична енергія, вироблювана гальмом поглинається в реостатах або передається в мережу. У цьому випадку балансирна електромашинна з незалежним порушенням електрично зв'язана з електродвигуном постійного струму, механічно з'єднана з генератором перемінного струму, підключеним до мережі. Обмотки порушення генератора і балансирної електромашини живляться від мережі перемінного струму через автотрансформатори і спеціальні вирівнювачі. Така схема забезпечує простоту керування гальмом при випробуваннях. Перехід із моторного режиму (при примусовому провертанні колінчатого вала двигуна) на генераторний (гальмування двигуна) здійснюється автоматично при вмиканні подача палива і запалювання випробовуваного двигуна.

*Електричні гальма перемінного типу* мають обмежене застосування, наприклад, для гальмування двигунів при обкатуванні, при випробуваннях швидкохідних двигунів великої потужності.

*Гальма перемінного струму* - це асинхронні або синхронні електричні машини, регульовані за допомогою реостатів і різних машинних перетворювачів. Регулювання реостатами застосовують в асинхронних машинах із фазним якорем, у ланцюг якого включають керований опір. Щоб забезпечити порівняно плавне регулювання, застосовують рідинні реостати. Реостати відрізняються громіздкістю і не зовсім зручні в експлуатації, а головне, не забезпечують потрібних меж регулювання. Регулювання, засноване на застосуванні частотних

перетворювачів і електромагнітних муфт ковзання, забезпечує необхідну повільність і потрібні межі зміни режимів, допускає автоматизацію керування, але ускладнює гальмову установку. Гальма з таким регулюванням не одержали поки великого поширення.

Широке поширення одержали *індукторні гальма*. Гальма цього типу є різновидом електричних і відомі також за назвою індукційних або електромагнітних. Потужність випробованого двигуна витрачається в них на утворення вихрових струмів, що виникають у магнітопроводі у випадку періодичного намагнічування і розмагнічування. Якщо обертати монолітний залізний диск між двома полюсами магніту, то в диску виникнуть вихрові струми, що утворюють магнітне поле, яке впливає з полем магніту і створює гальмовий момент, так само як у будь-якій електричній машині. Якщо замість залізного диска використовувати ротор з обмоткою (електромагніт), то з'являється можливість регулювати цей гальмовий момент у широких межах.

Оскільки вихрові струми нагрівають гальмо що пропорційно поглинається потужності випробовуваного двигуна, виникає необхідність у відводі тепла за аналогією з гальмами інших типів. Щоб полегшити цю задачу, ротор роблять магнітним (тоді його називають індуктором), а статор - магнітним і прохолоджують їх водою. У особливо швидкохідних конструкціях індуктор прохолоджують повітрям.

Регулювання індукторних гальм може бути здійснено трьома способами: вибором струму порушення підтримкою постійної швидкості обертання вала і регулюванням струму порушення в міру збільшення швидкості обертання вала. При будь-якому способі регулювання витрата енергії мала і не перевищує 0,5% від поглинаючої потужності.

Індукторні гальма відрізняються компактністю і простотою конструкції, довговічні, легко керовані на відстані і прості в обслуговуванні. Гальмова потужність їх досягає іноді 3000кВт, а швидкість обертання ротора 10-15тис. об/хв. Гальма цього типу доцільно застосовувати при тривалих випробуваннях двигунів по заздалегідь спланованій програмі з автоматичним контролем заданих режимів роботи, включаючи несталий.

Іноді для розширення області гальмових режимів і усунення окремих недоліків властивим гальмам деяких типів створюють

конструкції комбінованих гальм, що включають елементи різних гальм. Це гідромеханічні гальма, які складаються із гідравлічної і механічної частин (стрічкове гальмо). Стрічкове гальмо значно розширює робочий діапазон такого гальма, особливо в зоні низьких частот обертання.

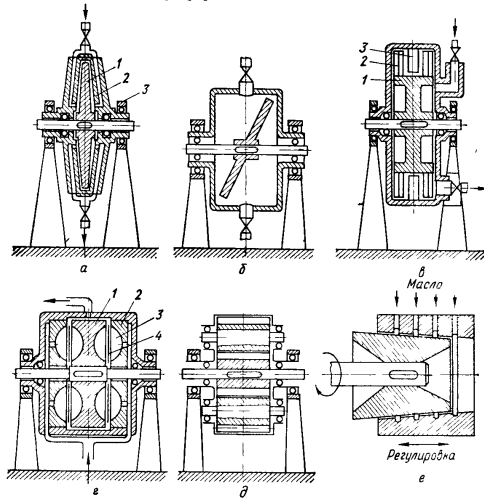
*Електрогідравлічне гальмо.* У цьому комбінованому гальмі балансирна електромашинна використовується для пуску і холодного обкатування випробуваного двигуна, а двигун гальмується цією електромашинною і потужним гідрогальмом, установленим з нею співвісно. Потужність електромашини складає 5-10% потужності гідрогальма.

Співвісне розташування електричної машини і гідрогальма розширює область регулювання і забезпечує одержання більш високих гальмових моментів у зоні низьких частот обертання. Така ж компоновка гальма може виконуватися при сполученні індукторного гальма з балансирною електричною машиною або двох балансирних електричних машин, розташованих співвісно.

### **4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

При підготовці до лабораторної роботи необхідно вивчити конструкцію і принцип дії гальмових установок.

4.3.1 Дія *гідравлічних гальм* засновано на використанні властивостей різних гідравлічних машин, що дозволяють створювати опір поступальному або обертальному руху елементів що з'єднуються з ними інших машин. При великому різноманітті конструкцій гідравлічні гальма можуть бути розділені на шість типів (рисунк 4.1).



а - розріз дискового гідрогальма, б – гідрогальмо із похилим диском, в – штифтове гідрогальмо, г – гідрогальмо камерного типу, д - об'ємне гідрогальмо, е – гідрогальмо у виді підшипника ковзання  
Рисунок 4.1 - Гідравлічні гальма

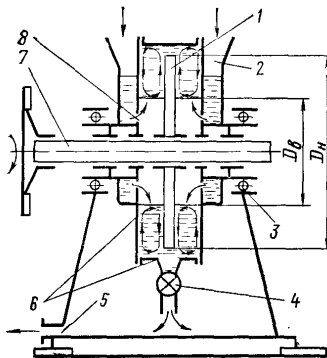


Рисунок 4.2 - Схема гідравлічного дискового гальма

Пристрій і принцип дії найпростішого динамічного гідрогальма розглянемо на прикладі дискового гальма (рисунок 4.2).

Ротор *1* гальма виконаний у виді гладкого диска і жорстко закріплений на валі *7*, що з'єднують із валом випробуваного двигуна.

Вал разом із ротором, що перебуває з одного або декількох дисків укладають у закритий кожух-статор, що має можливість робити кутові переміщення на кулькових підшипниках 3. Вода в гальмо, точніше в його статор 6, подається через прийомні лійки 2 і отвір 8. Отвір 8 розміщують з обліком необхідності уведення води в зону ступиці ротора. Воду, яка нагрілася при роботі, відводять через регулювальний вентиль 4 і отвір 5 у плиті корпусу гальма.

При обертанні ротора-диска 1 на його площинах виникають сили тертя, унаслідок чого вода захоплюється диском і відцентровою силою відкидається від центру до периферії. У результаті тиску води в зазорі між обертовим диском і нерухомою стінкою статора зростає пропорційно квадрату відстані від осі обертання. У шарах води, що прилягають до поверхні диска, виникають більш високі окружні швидкості, чим у стінок статора. Тому, відцентрові сили інерції в стінок ротора вище, чим у стінок статора, і вода в поверхні ротора рухається від центру до периферії, у стінок статора - від периферії до центру. Таким чином, у зазорі утвориться кільце з круговим рухом часток води в радіальній площині гальма. Це кільце обертається з кутовою швидкістю, меншою швидкості диска. Між обертовим диском і водою, а також водою і статором виникає тертя. Розмір сили тертя залежить від ступеня заповнення порожнини гальма водою, що бере участь в обертанні. Крутний момент двигуна вимірюється по відхиленню статора від нейтрального положення під дією моменту сил тертя води об його стінки.

4.3.2 Конструкція *електричного гальма постійного струму* базується на машинах із незалежним змішаним порушенням і одночасним регулюванням сили струму в ланцюзі якорі. Такі гальма відрізняються повільністю і широкими межами регулювання швидкісних і навантажувальних режимів. Тому вони знаходять переважне застосування, особливо для дослідницьких цілей.

Загальний пристрій електричної балансірної машини постійного струму показано на рисунку 4.3.

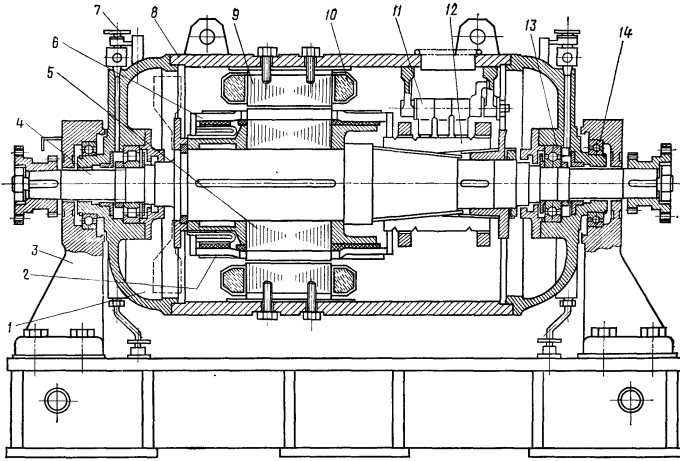


Рисунок 4.3 - Електрична балансирна машина постійного струму

Статор балансирної машини *1* на кулькових підшипниках *14* установлений на стійці *3*. У бічні кришки статора вмонтовані кульковий і роликівий підшипники *13* вала *4* ротори *2*, змащення до яких подають через крапельниці *7*. Статор і ротор, маючи загальну вісь обертання, можуть робити кутові переміщення незалежно друг від друга. Магнітна система перебуває з ярма або станини *8*, полюсних сердечників *9* з обмотками порушення *10* і залізної основи *5* ярорі, що збирається з аркушевого заліза. Магнітні полюси і ярір прохолоджують вентилятором. Лопати вентилятора в балансирних машинах, як правило, виносять за межі статора, привід від окремого електродвигуна.

Ярір машини перебуває з обмотки *6*, покладений у пази його залоза *5* і колектора *12*, зібраного з мідних ізолюваних друг від друга і від вала *4* пластин. Підведення до яроря і відвід від нього струму здійснюють через щітки, що закріплюються в нерухомих тримачах *11*.

При роботі електричної балансирної машини, у моторному режимі в результаті взаємодії магнітних полів яроря і статора на останньому виникає реактивний момент, що, будучи спрямований убік, протилежну обертанню яроря, прагне повернути статор біля осі яроря. Тому крутний момент, що затрачається на повертання вала випробуваного двигуна, вимірюють по реакції статора. При цьому

реактивні моменти від тертя в підшипниках і від тертя щіток об колектор спрямовані убік обертання якоря, унаслідок чого сумарний розмір їхнього моменту тертя  $M_{тер}$ , діючи на статор, автоматично зменшує його реактивний момент  $M_c$ . Отже, ефективний момент  $M_{ef}$  на валі балансирної машини і крутний момент  $M_{кр}$ , необхідний для провертання вала випробовуваного двигуна буде дорівнювати

$$M_{кр} = M_{ef} = M_c - M_{тер} \quad (4.1)$$

При роботі балансирної машини в режимі генератора в обмотці якорі виникає ЕРС, що викликає струм у ланцюзі якорі. Тік своїм магнітним полемо протидіє обертанню якоря, а отже, і обертанню вала випробовуваного двигуна.

Електричний ефективний момент протидії якоря  $M_{ef}$  цілком передається на статор у виді реактивного моменту  $M_c$ , що діє убік напрямку обертання якоря, тобто убік дії крутного моменту випробовуваного двигуна. Сумарний реактивний момент тертя  $M_{тер}$  також спрямований убік обертання якоря і прагне повернути статор у цьому напрямку, унаслідок чого підсумовується з  $M_c$

$$M_{кр} = M_c + M_{тер} \quad (4.2)$$

Динамометр електричного гальма не враховує моменту від тертя в підшипниках статора, тому що цей момент дуже малий і не робить практичного впливу на результати вимірів.

4.3.3 *Індукторні гальма* одержали широке поширення завдяки їхній компактності, простотою конструкції, довговічності і простотою обслуговування. Схема індукторного гальма приведена на рисунку 4.4.

Для розміщення котушки порушення в ярмі статора роблять глибокий кільцевий паз, а ротор виконують із подовжніми пазами, унаслідок чого він набуває зубцюватої форми. Статор перебуває з ярма 7, що має гарну магнітну проникність, вмонтованої в нього кільцевої котушки порушення 8 і кільцевої вставки 6, що володіє високою магнітно-електропровідністю. Статор установлений на кулькових підшипниках 3, завдяки чому може робити коливальні рухи біля осі вала ротора.

При проходженні струму по обмотці котушки збудження виникає магнітний потік, який, долаючи зазор між вставкою 6 і зубцями ротора 5, утворює замкнутий контур, як показано на рисунку. Внаслідок цього обертання ротора викликає почергове

намагнічування окремих зон вставки б, що приводить до виникнення в ній вихрових струмів, які і утворюють магнітне поле, що взаємодіє з основним магнітним полем.

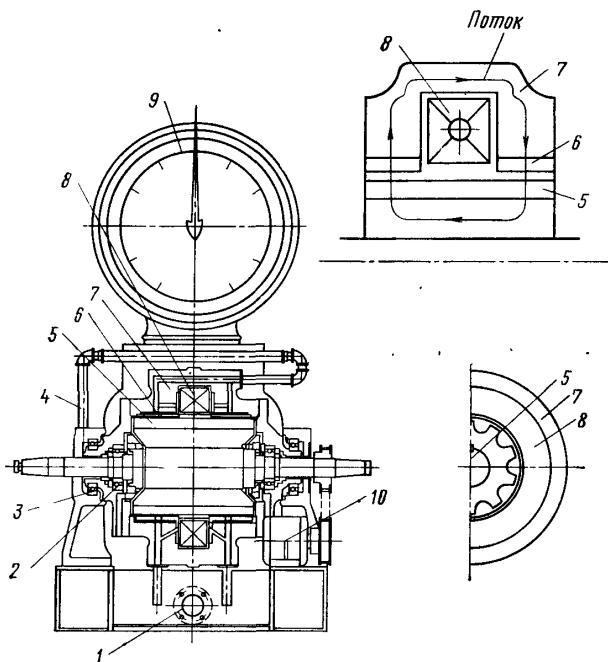


Рисунок 4.4 - Індукторне гальмо

Охолодну воду підводять по трубі 4 у зону над ярмом. Вода прохолоджує статор, омиває попутно ротор і зливається знизу через отвір 1 під ярмом. Всі деталі, омивані водою, мають антикорозійне покриття, підшипники 2 вали ротора надійно захищені сальниками, а котушка порушення виконана водонепроникної.

Гальмова потужність індукторного гальма досягає 3000 кВт, а швидкість обертання ротора може бути розрахована на 10-15 тис. об/хв. Гальма цього типу доцільно застосовувати при тривалих випробуваннях двигунів по заданій програмі з автоматичним контролем заданих режимів роботи.

### **Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи**

1. Якими пристроями завантажують ДВЗ при обкатуванні і проведенні випробувань?
2. Які гідності і недоліки властиві гідравлічним гальмовим пристроям? Принцип їх роботи.
3. Які типи гідравлічних гальм застосовуються при випробуваннях ДВЗ? Їх гідності і недоліки.
4. Які типи електричних гальм застосовують при випробуваннях ДВЗ? Їх переваги в порівнянні з гідравлічними гальмовими установками.
5. Принцип роботи електричного гальма перемінного струму, гідності, недоліки.
6. Принцип роботи електричного гальма постійного струму, гідності, недоліки.
7. Принцип роботи індукторного гальма, гідності, недоліки.
8. Як здійснити рекуперацію енергії в гідравлічних і індукторних гальмових установках?
9. Чи можлива рекуперація енергії в електричних гальмах, якщо так, те як її здійснити?
10. У чому гідність гальмової установки з динамометром постійного струму DS736-4/ВПС.

### **Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування**

1. Гідравлічна гальмова установка.
2. Індукторне гальмо.
3. Гальмова установка DS736-4/ВПС.

### **4.4 Порядок виконання лабораторної роботи**

При виконанні лабораторної роботи необхідно виконати наступне:

4.4.1 Вивчити конструкцію, систему охолодження, гальмових установок гідравлічного, індукторного й електричного з динамометром постійного струму.

4.4.2 Вивчити систему керування, роботу на гальмових установках гідравлічного, індукторного й електричного з динамометром постійного струму.

4.4.3 Вивчити можливість рекуперації енергії при проведенні випробувань ДВЗ із застосуванням перерахованих вище гальмових установок.

4.4.4 Здійснити запуск гальмової установки DS736-4/ВПС.

#### **4.5 Зміст звіту**

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, цілі і задачі;
- короткі теоретичні відомості;
- порівняльний аналіз вивчених гальмових установок;
- аналіз можливостей гальмової установки DS736-4/ВПС.

**Література:** [1], с.55-104; [4], с.7-20; [6], с.80-89; [7], с.19-43; [8], с.7-19; [12], с.83-94.

## **5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРІШНІХ (МЕХАНІЧНИХ) ВТРАТ У ДВИГУНІ**

### **5.1 Ціль роботи**

5.1.1 Ознайомитися з методами визначення механічних втрат ДВЗ.

5.1.2 Визначити механічні втрати ДВЗ.

### **5.2 Загальні відомості**

Механічні втрати двигунів внутрішнього згорання ( витрати потужності, що включають умовно, на привід допоміжних агрегатів, насосні, вентиляційні втрати, втрати на тертя) дуже значні і на номінальному режимі роботи ДВЗ досягають 15-20% індикаторної потужності. Задача зниження цих втрат є актуальною. Сучасні аналітичні методи по визначенню механічних втрат є грубими, приблизними і тому потужність механічних втрат в основному визначають дослідним шляхом.

Методи визначення сумарної потужності механічних втрат можна підрозділити на прямі і непрямі. При непрямих методах механічні втрати або механічний ККД визначають по розмірах

індикаторної й ефективної потужності двигуна, а при прямих - провертанням колінчатого валу двигуна стороннім джерелом енергії, вимиканням окремих циліндрів працюючого двигуна або вибігом двигуна з визначеного режиму роботи.

У дослідницькій практиці для визначення розміру механічних втрат застосовують пряме індиціювання циліндрів двигуна. Визначив цим методом механічний ККД  $\eta_m = N_e / N_i$ , можна знайти потужність механічних втрат  $N_{м.в} = (1 - \eta_m) \cdot N_i$  із помилкою, що не перевищує  $\pm 5\%$ .

Нормативні документи на випробування двигунів допускають також визначення механічних втрат методом вимикання циліндрів. Двигун при цьому обстежать на повному навантаженні і числі оборотів вала, що відповідає  $M_{кр. max}$ , із чергуванням роботи його на всіх циліндрах при послідовному вимиканні кожного з них. Перед вимиканням чергового циліндра двигун повинний проробити на усіх включених циліндрах до відновлення прийнятого теплового стану (температур масла і води), а після відключення циліндра зменшенням навантаження відновити швидкість обертання вала до заданої, що знизилася при цьому. Коливання чисел оборотів щодо прийнятих не повинні перевищувати  $\pm 1\%$ . Методом вимикання циліндрів визначають одночасно і рівномірність їх роботи, що оцінюють коефіцієнтом рівномірності  $\Delta$ :

$$\Delta = N_{i \min} / N_{i \max}, \quad (5.1)$$

де  $N_{i \min}$  і  $N_{i \max}$  - відповідно найменше і найбільше значення умовної індикаторної циліндрової потужності.

Різниця між потужністю, що розвивається двигуном під час роботи всіх циліндрів, і тієї ж потужністю (при такій же частоті обертання) при виключеному запалюванні в одному із циліндрів являє собою індикаторну потужність цього циліндра. Передбачається, що індикаторна потужність і механічні втрати у всіх циліндрах однакові. Тоді можна визначити індикаторну потужність усіх циліндрів, а потім ефективна потужність двигуна - умовну потужність механічних втрат:

$$N_{м.в} = N_i - N_e. \quad (5.2)$$

Точність методу вимикання циліндрів цілком незадовільний, тому метод не рекомендується для широкого застосування.

Найбільше уживаним методом визначення сумарних механічних втратах є метод провертання колінчатого вала двигуна від стороннього джерела енергії. Технічно цей метод простий і зводиться до того, що колінчатий вал двигуна, що працював на визначеному режимі, негайно після вимикання подачі палива або запалювання провертання за допомогою балансирної електричної машини, що працює в моторному режимі з тим же числом оборотів. Обміряна за показниками динамометра і числу оборотів потужність, що затрачається на провертання вала, ототожнюється з потужністю механічних втрат. По отриманим даним будують характеристику внутрішніх втрат у двигуні, що представляє собою графічне зображення потужності, що затрачається на подолання тертя в його механізмах і на привід допоміжного устаткування при зміні числа оборотів (рисунок 5.1). Частоту обертання змінюють від  $n_{\min}$  до  $n_{\text{ном}}$ . (або  $n_{\max}$  для дизелів).

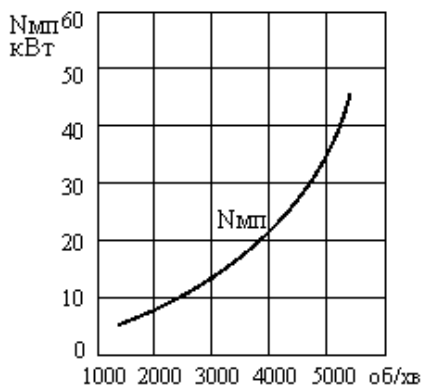


Рисунок 5.1 - Характеристика внутрішніх втрат

Температурний стан тертьових деталей двигуна помітно впливає на роботу тертя і потужність механічних втрат, тому при провертання вала двигуна особливо важливо підтримування визначеного температурного режиму двигуна. Щоб забезпечити однаковий тепловий стан двигуна в процесі зняття характеристики, у проміжках

між вимірами його прогривають під повним навантаженням (біля 10хв.). Недотримання цієї умови може привести до грубих похибок вимірів.

При використанні методу повертання колінчатого вала похибки визначення механічних втрат виникають унаслідок зміни:

- режиму роботи і споживання потужності в деяких систем і агрегатів двигуна (механізму газорозподілу, паливного насоса і т.п.);
- роботи насосних ходів;
- режиму і потужності тертя третьових деталей.

Похибки, внесені першим джерелом, є несуттєвими, тому що робота більшості агрегатів і систем двигуна при переході від робочого режиму на повертання не змінюється.

Похибки від другого і третього джерела більш значні, так як характер протікання насосних ходів, так і режим тертя деяких деталей при випробуванні двигуна істотно змінюється. У зв'язку з цим і рядом інших причин точність методу повертання цілком недостатня і єдина можливість області застосування цього методу - порівняльні заводські випробування однієї і тієї ж моделі двигуна.

Тому розмір механічних втрат порівняно точніше визначити методом так названого одиночного вибігу. По суті цей метод є різновидом методу повертання з тієї різницею, що при відключенні подача палива або вимикання запалювання колінчатий вал двигуна повертається за рахунок запасу кінетичної енергії його деталей, що рухаються. Енергія затрачається на подолання механічних втрат (якщо вибіг робиться з режиму холостого ходу) або на подолання механічних втрат і зовнішнього навантаження (якщо вибіг робиться з одного з робочих режимів).

При даному методі не тільки виникають труднощі, зв'язані з необхідністю точного визначення приведенного моменту інерції двигуна, але і з'являються ті ж похибки, що і при методі повертання, а тому потужність механічних втрат, визначена по цьому методі також буде умовною.

Значно точніше для визначення механічних втрат двигуна є метод подвійного вибігу. Метод подвійного вибігу, що є також різновидом методу повертання, набагато точніше його (і методу одиночного вибігу) полягає в тому, що з того самого числа оборотів  $n$ , проводиться два вибігу, що відбуваються в різних умовах: один вибіг без відключення зовнішнього навантаження (наприклад гальма),

а другий - із режиму холостого ходу. У цьому випадку задача зводиться до зняття двох тахограм вибігу і виміру на них кутів нахилу ліній числа оборотів  $\alpha_n$  і  $\alpha_{xx}$ , тому що можна записати:

$$N_1 = N_e + N_{mex} = N_i = \frac{K^2}{75} \cdot J \cdot n \left( \frac{dn}{d\tau} \right)_n ; \quad (5.3)$$

$$N_2 = N_{mex} = \frac{K^2}{75} \cdot J \cdot n \left( \frac{dn}{d\tau} \right)_{xx} , \quad (5.4)$$

де  $K = \frac{\pi}{30}$  - розмір постійна;

$J$  - приведений момент інерції рухливих деталей;

$\frac{dn}{d\tau}$  - кутове уповільнення.

У результаті одержуємо:

$$\eta_{mex} = \frac{N_i - N_{mex}}{N_i} = \frac{\left( \frac{dn}{d\tau} \right)_n - \left( \frac{dn}{d\tau} \right)_{xx}}{\left( \frac{dn}{d\tau} \right)_n} = \frac{\text{tg} \alpha_n - \text{tg} \alpha_{xx}}{\text{tg} \alpha_n} . \quad (5.5)$$

Для зняття тахограм застосовують механічний тахограф або шлейфовий осцилограф. Так як метод подвійного вибігу зводиться практично до виміру числа оборотів двигуна, точність якого може бути високої, то можна зробити висновок, що метод подвійного вибігу практично не поступається методу індиціювання.

Розмір приведенного моменту інерції двигуна  $J$  найбільше просто можна визначити також методом подвійного вибігу з режиму холостого ходу, проводячи виміри один раз, а іншим разом - із приєднаної до нього масою, момент інерції якої точно відомий.

### 5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для виконання роботи необхідно вивчити методи визначення характеристики механічних втрат двигуна внутрішнього згорання.

У роботі характеристику внутрішніх (механічних) втрат визначити методом примусового провертання колінчатого вала двигуна від балансирного електродвигуна гальмового стенда DS 736 - 4/V ПС. Для цього необхідно випробовуваний двигун установити на гальмовий стенд. Перевірити надійність кріплення захисних щитків, заземлення, сполучних муфт, виконати всі операції, що забезпечують безпечну роботу.

Підготувати гальмовий стенд до роботи. Запустити випробовуваний двигун, прогріти до температури охолодної рідини 80-90°C і температури масла 85-95°C в системі мастила.

Характеристику механічних втрат визначити, повертаючи вал випробовуваного двигуна за допомогою балансирного електродвигуна стенда, що працює в моторному режимі, у діапазоні чисел оборотів  $n_{\min} - n_{\text{ном.}}$  (або  $n_{\max}$  для дизелів) при відключеній подачі палива або виключеного запалювання. Щоб забезпечити однаковий нормальний тепловий стан двигуна в процесі зняття характеристики, у проміжках між вимірами прогріти його під повним навантаженням. Заготовити форму протоколу випробувань. Виміри виконати при 8-10 значеннях частоти обертання вала. Показання динамометра гальмової установки і показника частоти обертання вала занести в таблицю 5.1 протоколу випробувань. Потужність механічних втрат  $N_{\text{м.в}}$  підрахувати по отриманим даним по формулі:

$$N_{\text{м.в}} = M_{\partial} \cdot n / 9550 \text{ кВт}, \quad (5.6)$$

де  $M_{\partial}$  - показання динамометра гальмового стенда, Н·м;

$n$  - частота обертання колінчатого вала, об/хв.

Розрахунки виконувати з точністю третього знака.

Отримані значення потужності ототожнюються з потужністю механічних втрат.

*Протокол випробувань ДВЗ по визначенню характеристики внутрішніх (механічних) втрат*

Двигун, марка -

Рік випуску -

Температура навколишнього повітря, °С -

Атмосферний тиск, Па -  
 Вологість, % -  
 Температура охолодної рідини, °С -  
 Температура масла в системі, °С -  
 Тиск у системі мастила, Па -

Таблиця 5.1 - Результати випробувань і розрахунку внутрішніх втрат ДВЗ.

№ опиту	Обороти колінчатого вала двигуна $n$ , об/хв	Показання динамометра установки $M$ , Н·м	Розрахункове значення потужності мех. втрат $N_{mv}$ , кВт	Примітка
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Які втрати потужності двигуна відносять до внутрішнім (механічним) втратам?
2. Який відсоток потужності доводиться на механічні втрати ДВЗ?
3. Які існують методи експериментального визначення внутрішніх втрат ДВЗ?
4. У чому полягає різниця між прямим і непрямим методами визначення внутрішніх втрат ДВЗ?
5. У чому сутність методу прямого індиціювання?
6. Метод вимикання циліндрів, які його гідності і нестачі?
7. Якими перевагами і нестачами володіє метод визначення сумарних втрат провертання?
8. У чому полягає сутність визначення внутрішніх втрат методом одиночного вибігу?

9. Які переваги і нестачі властиві методу подвійного вибігу?
10. Який із відомих методів визначення внутрішніх втрат має меншу похибку?

### **Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування**

1. Випробувальний стенд із динамометром постійного струму DS 736 - 4/V ПС.
2. Випробуваний ДВЗ.
3. Барометр.
4. Термометр.
5. Психометр.

### **5.4 Порядок виконання лабораторної роботи**

При виконанні роботи необхідно виконати наступне:

5.4.1 Оглянути випробуваний стенд, перевірити комплектність, надійність закріплення його елементів, приєднання заземлення випробовуваного двигуна, захисних огорожень, кожухів.

5.4.2 Занести до протоколу необхідні відомості про характеристики двигуна й умови проведення випробувань.

5.4.3 Здійснити запуск випробовуваного стенда DS 736 - 4/V. Для цього необхідно:

5.4.3.1 Подати напруга електричного струму в шафу керування стенда.

5.4.3.2 Включити рубильник у шафі керування стенда, при цьому на пульті керування і на шкалі моментовимірювача включиться підсвічування сигнальних ламп.

5.4.3.3 Вивести ручку регулятора обертання балансирного динамометра в крайнє ліве положення.

5.4.3.4 Натиснути на кнопку «Пуск». Відбудеться вмикання мотор-генератора, що подає електроживлення на балансирний динамометр. Про готовність роботи балансирного динамометра сигналізує червона світлова і звукова сигналізація.

5.4.3.5 Натиснути на кнопку «Ланцюг якорів-1» (зелена кнопка) - відбудеться вмикання балансирного динамометра і його вихідний вал почне обертатися.

5.4.3.6 Регулятором установити 800-1000об/хв (плавно і повільно).

5.4.3.7 Поворотом ключа запалювання по годинній стрільці здійснити запуск ДВЗ, прогріти його до необхідного температурного режиму і сталого режиму роботи з частоти.

5.4.3.9 Провести виміри крутного моменту і частоти.

5.4.3.10 Змінюючи частоту примусового обертання колінчатого вала визначити розмір механічних втрат при 8-10 значеннях частоти.

5.4.3.11 При зміні температурного режиму ДВЗ, прогріти його при роботі.

5.4.3.12 Результати вимірів занести в табл. 5.1 протоколу випробувань.

5.4.3.13 Натисканням на кнопку «Ланцюг якоря-0» зробити відключення балансірного динамометра.

5.4.3.14 Натиснути на кнопку «Стоп», зупинити мотор-генератор.

5.4.3.15 Натиснути кнопки «Тотал-Стоп», відключити енергопостачання стенда і привести гальмовий стенд у вихідне положення.

5.4.4 Обробити результати випробувань і побудувати характеристику внутрішніх втрат.

## **5.5 Зміст звіту**

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, цілі і задачі;
- короткі теоретичні відомості;
- результати випробувань і розрахунків (протокол випробувань);
- характеристика внутрішніх втрат випробуваного двигуна;
- висновки.

**Література:** [1], с.280-282; [4], с.26-27; [5], с.31-32; [7], с.58-67.

## **6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. ВИПРОБУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ НА ШУМНІСТЬ**

### **6.1 Ціль роботи**

6.1.1 Ознайомитися з впливом шуму автомобіля на здоров'я і діяльність людини.

6.1.2 Ознайомитися з методикою визначення шуму автомобіля.

6.1.3 Придбати практичні навички виміру шуму нерухомого транспортного засобу.

### **6.2 Загальні відомості**

У процесі експлуатації автомобілів виникає шум, що заважає людині чи дратує його. Шум в автомобілі виникає двох видів: шум, що впливає на водія і пасажирів (так названий внутрішній шум) і зовнішній шум, що робить несприятливий вплив на навколишнє середовище.

Узагалі, під шумом розуміють комплекс звуків (чистих тонів), різної інтенсивності і частоти, що знаходяться в безладному сполученні.

Роботи лікарів-гігієністів у нашій країні і за рубежом показали, що шум впливає на органи слуху людини і може привести до повної чи часткової втрати його, порушує зорово-рухову координацію, роботу серцево-судинної системи, травного тракту й інших функцій, важливих для життя і діяльності людини. При регулярному і тривалому впливі шуму в людей виникають часті головні болі, гіпертонічні і склеротичні явища, різні неврози і т.д.

Підвищення зниження шуму знижує продуктивність праці й обумовлює цілий ряд інших шкідливих явищ в організмі.

Звукові коливання сприймаються людським вухом, якщо їх частота знаходиться в інтервалі частот від 16-20 Гц до 20 кГц. Звуки (шуми) чутного діапазону поділяють на низькочастотні (до 300-400 Гц), середньочастотні (від 300-400 Гц до 800-1000 Гц).

Збільшення частоти звуку суб'єктивно сприймається як зростання висоти його тону. При цьому вухо людини відзначає зміна частоти не на якусь кількість одиниць (Гц), а в якусь кількість разів.

Ця особливість слуху людини обумовлює застосування при побудові графіків логарифмічного масштабу шкали частот.

Смуга частот, у якого верхня границя в два рази більше, ніж нижня, називається октавою. Частотні смуги, рівні октаві, напівоктаві і третині октави, знаходять широке застосування при акустичних вимірах.

В Україні розроблені і діють санітарні норми і правила по обмеженню шуму. В даний час вимір рівнів шуму для нерухомих і рухомих транспортних засобів наближається до вимог Е/ЕСЕ/324.

Велику роботу в цьому напрямку веде Міжнародна організація по стандартизації (ISO). Відповідно до рекомендацій ISO прийнято вважати, що шум не робить травмовані дії на орган слуху, що працює в тому випадку, якщо його спектр не перевищує в жодній із крапок так називану криву №80. Ця крива проводиться по крапках, що відповідає припустимому значенню рівня звукового тиску в октавних смугах зі середньгеометричними частотами (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 - Параметри кривої №80 ISO

Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
дБ	99	92	86	83	80	77	76	74

Загальний шум, створюваний автомобілем, обумовлений взаємодією численних його джерел. Основні джерела шуму рухомого автомобіля - це двигун і його системи, різні агрегати і допоміжне устаткування, вібрація елементів кузова, а також потоки повітря, що обтікають кузов, шини.

Усі джерела шуму автомобіля можна підрозділити на наступні групи: джерела аерогазодинамічного, механічного, гідромеханічного й електричного походження.

Шум, видаваний окремими механізмами автомобіля при роботі, і загальний шум, створюваний автомобілем при русі по дорогах різних типів, є, з однієї сторони показником досконалості конструкції і якості, виготовлення автомобіля, а з іншої - одним з істотних факторів його комфортабельності.

ДСТУ встановлені норми, що обмежує припустимий рівень шуму і визначені методи його виміру. Вимір рівнів шуму для нерухомих і рухомих транспортних засобів максимально наближено до вимог Е/ЕСЕ/324. Вимірюється шум для транспортного засобу, який знаходиться в русі та для транспортного засобу, який

знаходиться в нерухомому стані. У залежності від розв'язуваних задач розрізняють акустичні випробування автомобілів оцінні, діагностичні і спеціальні.

Як шумові характеристики встановлюються:

- рівні звуку  $L_A$  у дБ(А) - основна характеристика;
- рівні звукового тиску  $L$  у дБ в октавних смугах зі середньгеометричними частотами від 125 до 8000 Гц;
- рівень звукової потужності  $L_P$  дБ в октавних смугах зі середньгеометричними частотами від 125 до 8000 Гц;
- корегований рівень звукової потужності  $L_{PA}$  в дБ(А) використовується при зіставленні різних по конструкції автомобільних двигунів.

Інтенсивність звукового тиску змінюється в дуже широких межах, тому на практиці її виражають у логарифмічних відносних одиницях (дБ):

$$L = 20 \lg (p/p_0),$$

де  $p_0$  - граничне значення звукового тиску

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па},$$

$p$  - середньквдратичне значення звукового тиску в крапці виміру, Па.

Якщо вимірюваний рівень звуку перевищує гранично припустиме значення чи виникла необхідність у спектральному аналізі, то вимірюють октавний спектр рівнів звукового тиску.

### 6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно вивчити методи визначення шумових характеристик при оцінних, діагностичних і спеціальних акустичних випробуваннях, приведених у Правилах №51-01:1983, JDT ЕЭК ООН і ДСТУ UN/ECE.R51-01:2002.

6.3.1 Оцінні випробування служать для порівняння різних моделей автомобілів за рівнем випромінюваного шуму і для визначення його відповідності існуючим міжнародним і державним стандартам.

Перед випробуванням необхідно перевірити технічний стан автомобіля, вибрати і розмітити вимірювальну ділянку дороги, перевірити справність і градування вимірювальних приладів. Автомобіль, призначений для випробувань повинний бути технічно

справним, відрегульований, обкачаний і укомплектований відповідно до нормативно-технічної документації. Шини не повинні мати ушкоджень, знос їх не повинний перевищувати 30% висоти рисунку протектора.

Випробування проводять на прямій, гладкій і сухій ділянках асфальтобетонної дороги: у радіусі 50м від місця вимірів не повинно бути яких-небудь перешкод (будинку, дерева і т.д.), що відбивають звукову хвилю; швидкість вітру - не більш 1,5м/с; відсутність атмосферних опадів; позитивна температура навколишнього повітря, нормальний атмосферний тиск. На вимірювальну апаратуру не повинне робити впливу магнітне поле. Рівень навколишнього шумового фону повинний бути на 10 і більш децибел нижче вимірюваного рівня. Усі кватирки і вікна автомобіля повинні бути закриті, опалювальні і кліматичні установки включені, а заслінки для розподілу повітряного потоку встановлені в положення, що відповідає максимальному шуму від них.

6.3.2 Зовнішній шум транспортного засобу оцінюють при їхньому інтенсивному розгоні на другій передачі (якщо коробка передач має чотири і менш ступені). Мірна ділянка дороги довжиною 20м розмічають відповідно до схеми, приведеної на рис. 7.1. Лінії А-А' і Б-Б' обмежують вимірювальну ділянку, лінія СС' є осьюовою лінією руху автомобіля. На лінії РР' установлені мікрофони шумоміра на висоті  $1,2 \pm 0,1$  м над ґрунтом на відстані  $7,5 \pm 0,2$  м від центральної осі транспортного засобу, яка вимірюється по перпендикуляру РР' до цієї осі.

С кожної сторони транспортного засобу здійснюється по меншій мірі два виміри.

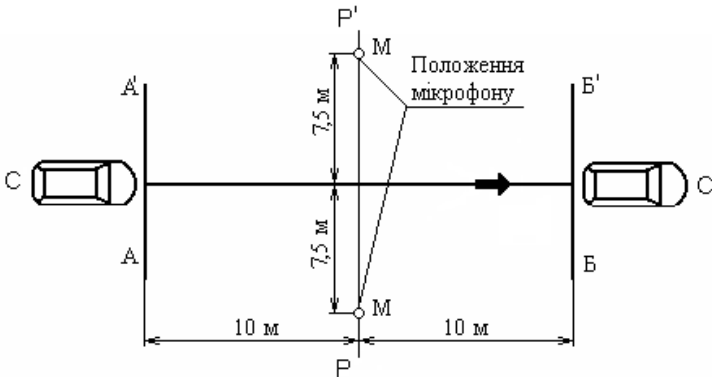


Рисунок 6.1 - Схема розмітки ділянки дороги при вимірі зовнішнього шуму

До мірної ділянки автомобіль, оснащений механічною коробкою передач чи автоматичною коробкою передач з ручним перемикачем керування, наближається з постійною швидкістю, що відповідає найменшій з наступних:  $0,75 n_{ном}$  ( $n_{ном}$  - номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна) або 50 км/ч. У момент перетинання початкової лінії мірної ділянки А-А педаль керування дросельною заслінкою чи подачею палива різко переміщують у положення, при якому забезпечується максимальна його подача. Після перетинання кінцевої лінії мірної ділянки Б-Б педаль різко переводять у положення, що відповідає мінімальній подачі палива.

Відмічений при кожному вимірюванні шум є результатом виміру.

Транспортні засоби категорії  $M_1$  та  $N_1$  (додаток Б), обладнані коробкою передач з чотирма або менше передачами, повинні випробовуватися на другій передачі.

Транспортні засоби категорії  $M_1$  та  $N_1$ , обладнані коробкою передач з більш чим чотирма передніми передачами, випробовуються послідовно на другій та третій передачах. Далі розраховується середнє значення рівнів звуку, зареєстрованих у цих двох умовах.

Транспортні засоби, які не відносяться до категорій  $M_1$  та  $N_1$ , з кількістю передніх передач рівним  $x$  (з урахуванням передачі, які отримані за допомогою допоміжної трансмісії або багато приводної

осі), випробовуються з послідовним вмиканням передач, передаточне число яких рівно або більше  $x/2$ . Слід відмічати ті умови, при яких було отримано найбільший рівень шуму.

Транспортний засіб з автоматичною коробкою передач повинно бути приблизно до лінії AA' з різними постійними швидкостями в 30, 40, 50 км/ч або зі швидкістю рівною  $\frac{3}{4}$  максимальної швидкості руху по дорозі, якщо цей показник є більш низьким. Вимірювання проводяться в умовах, при яких відмічається максимальний шум.

Рівень шуму, який здійснюється рухомими транспортними засобами, не повинні перевищувати значення, наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Межові рівні шуму транспортних засобів, які знаходяться в русі

	Категорія транспортних засобів	Межові величини, дБ(А)
1	Транспортні засоби категорії $M_1$	80 дБ(А)
2	Транспортні засоби категорії $M_2$ , максимальна вага не більше 3,5 т.	81 дБ(А)
3	Транспортні засоби категорії $M_2$ , максимальна вага більше 3,5 т. та транспортні засоби категорії $M_3$	82 дБ(А)
4	Транспортні засоби категорії $M_2$ і $M_3$ з двигуном потужністю 147 кВт (СЕК) і більше	85 дБ(А)
5	Транспортні засоби категорії $N_1$	81 дБ(А)
6	Транспортні засоби категорії $N_2$ і $N_3$	86 дБ(А)
7	Транспортні засоби категорії $N_3$ з двигуном потужністю 147 кВт (СЕК) і більше	88 дБ(А)

6.3.3 Рівень внутрішнього шуму оцінюють рівнем звуку в децибелах (дБ(А)). Припустимі рівні внутрішнього шуму дослідних зразків проєктованих автомобілів, регламентовані ДЕРЖСТАНДАРТ 27435-87, наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Припустимі рівні внутрішнього шуму дослідних зразків проєктованих автомобілів

Тип автомобіля	Рівні звуку дБ(А) автомобілів, виробництво яких почато	
	до 01.01.91 р.	с 01.01.91 р.
1	2	3
Легкові й вантажопасажирські автомобілі	80	78
Вантажні автомобілі й автопоїзди для міжнародних і міжміських перевезень	82	80
Інші вантажні автомобілі й автопоїзди	84	82

Продовження таблиці 6.3

1	2	3
Автобуси з переднім розташуванням двигуна:		
- робочі місця водія;	82	80
- пасажирське приміщення	81	80
Автобуси з іншим розташуванням двигуна:		
- робоче місце водія;	78	78
- пасажирське приміщення (крім міського автобуса);	82	80
- пасажирське приміщення міського автобуса	84	82

Допускається збільшення внутрішнього шуму:

- повнопривідних легкових і вантажопасажирських автомобілів на 2 дБ(А);

- для автобусів з переднім розташуванням двигуна, виробництво яких почато до 01.01.89 р., допускається збільшення рівнів шуму на 2 дБ(А);

- для серійних автомобілів при випробуваннях в обсязі гарантованого пробігу не повинні перевищувати більш ніж на 1 дБ(А) значень, наведених у таблиці 7.3.

Вимір внутрішнього рівня шуму варто проводити в наступних місцях:

- у сидіння водія;

- у сидіння водія, а також над останнім рядом сидінь (у сидіння, розташованого ближче до поздовжньої осі симетрії автомобіля) в автомобілі із числом місць для сидіння не більше дев'яти;

- у сидіння водія, а також над першим (за сидінням водія) і останнім рядами сидінь в автомобілі із числом місць для сидіння більше дев'яти;

- додатково над середнім рядом сидінь за сидінням водія в автомобілі із числом рядів для сидіння більше трьох.

При виборі місць виміру відкидні сидіння до уваги не приймають. У випадку розташування сидінь уздовж борта автомобіля вимірювальні місця розташовують у поздовжній площині симетрії автомобіля. В автомобілях, де відсутні місця для сидіння, вимірюють у місцях для проїзду стоячи на висоті  $1,6 \pm 0,1$  м від підлоги в передній середній і задній частинах пасажирського приміщення. У місцях, призначених для лежачих пасажирів, виміри виконують на висоті  $0,15 \pm 0,02$  м над серединою подушки.

Вимір рівня внутрішнього шуму виконують при розгоні автомобіля на вищій передачі до швидкості 120 км/год або швидкості,

що відповідає  $0,9 n_{e \text{ ном}}$  номінальна частота обертання вала двигуна. Із двох зазначених швидкостей при випробуваннях вибирають меншу. Якщо при частоті обертання  $0,9 n_{e \text{ ном}}$  швидкість автомобіля перевищує 120 км/год, шум вимірюють на більшій низькій передачі, але не нижче третьої, якщо коробка має чотири або більше передач і не нижче другої, якщо коробка передач має менше чотирьох передач.

Початкова швидкість розгону на обраній передачі повинна бути порівняна найменшій допустимій швидкості, але не нижче швидкості, що відповідає  $0,45 n_{e \text{ ном}}$ . Якщо на обраній передачі при частоті обертання колінчатого вала  $0,9 n_{e \text{ ном}}$  швидкість перевищує 120 км/год, початкова швидкість повинна бути дорівнює 60 км/ч.

Вимір внутрішнього шуму дослідних зразків автомобілів з бензиновими двигунами виконують при русі з постійними швидкостями на вищій передачі в діапазоні швидкостей від початкової, порівняної 60 км/год або 40% від максимальної швидкості, до кінцевої, порівняної 120 км/год 80% від максимальної швидкості. Із зазначених швидкостей при випробуваннях вибирають найменшу. Випробування проводять не менш чим при п'яти значеннях швидкості з оточенням до 5 км/год: початкової, кінцевої й трьох проміжних з рівними інтервалами між ними.

Рівні внутрішнього шуму на дослідних зразках автомобілів з дизельними двигунами визначають у нерухомому стані на холостому ході двигуна у двох режимах: при мінімальній частоті обертання вала двигуна й при прискоренні, коли частота обертання вала двигуна зростає від мінімальної до максимальної.

6.3.4 Вимірювання шуму, яке здійснюється нерухомими транспортними засобами.

Вимірювання на транспортному засобі, що зупинився, слід проводити в місті, яке не здійснює значного впливу на звукове поле. Любий відкритий простір вважається містом, яке придатне для проведення випробувань, якщо воно являє собою рівну площадку, покриту бетоном, асфальтом або іншим твердим матеріалом, який має високу відбиваючу здатність, за виключенням ґрунтових або інших земляних поверхонь, на яких можна накреслити прямокутник, сторони якого розташовані на відстані не менше трьох метрів від кінця транспортного засобу і в нутрі якого немає помітних перепон. При вимірюванні вихлопних шумів двигуна необхідно забезпечувати, щоб транспортний засіб знаходився на відстані не менше 1 м від краю мостової.

В час випробування на випробувальній площадці не повинні бути особи, які не зайняті в експерименті, присутність яких може здійснити вплив на показання приборів.

Рівень шуму навколишнього середовища в кожній точці вимірювання повинен бути по меншій мірі на 10 дБ(А) нижче рівнів, які отримані в час проведення випробувань в тих же точках.

В кожній точці вимірювання проводяться не менше трьох разів. Вимірювання враховуються вірними в тому випадку, якщо різниця між показниками, які отримані в результаті трьох вимірювань, які слідують один за одним, не перевищує 2 дБ(А). Результатом вимірювань враховується найбільше значення, яке отримане в результаті цих трьох вимірювань.

При проведенні експерименту транспортний засіб розташовується в центрі випробувальної площадки, при цьому ричав перемикач коробки передач знаходиться в нейтральному положенні і зчеплення увімкнено. Перед кожною серією вимірювань двигун повинен працювати в нормальному експлуатаційному режимі.

При вимірюванні шуму поблизу вихлопної труби мікрофон повинен розташовуватися над рівнем ґрунту на висоті розташування вихлопної труби, однак мінімальне розташування повинно бути 0,2м.

Мікрофон повинен бути спрямований до отвору виходу газу і розташований на відстані 0,5 від нього (рис. 7.2).

Ось максимальної чутливості мікрофону повинна бути паралельна ґрунту і складати кут  $45^{\circ} \pm 10^{\circ}$  з вертикальною площиною, яка проходить через потік газів.

У випадку, якщо система вихлопу обладнана декількома вихлопними трубами, відстань між якими складає не більше 0,3м, проводиться тільки одне вимірювання. Розташування мікрофону визначається вихлопною трубою, яка розташована близько до кінця транспортного засобу або, якщо такої труби немає, то трубою, яка найбільш вище розташована над ґрунтом.

При випробуванні двигун повинен працювати з постійним числом обертів, рівним  $\frac{3}{4}$  від числа обертів при максимальній потужності. При досягненні постійного числа обертів дросельна заслінка швидко вертається в положення, яке відповідає холостому ходу. Вимірювання рівня шуму здійснюється на протязі часу роботи двигуна, який складається з короткочасного періоду роботи при постійному числі обертів і всього періоду вповільнення, при цьому

результатом вимірювання враховується величина, яка відповідає максимальному показнику шумоміру.

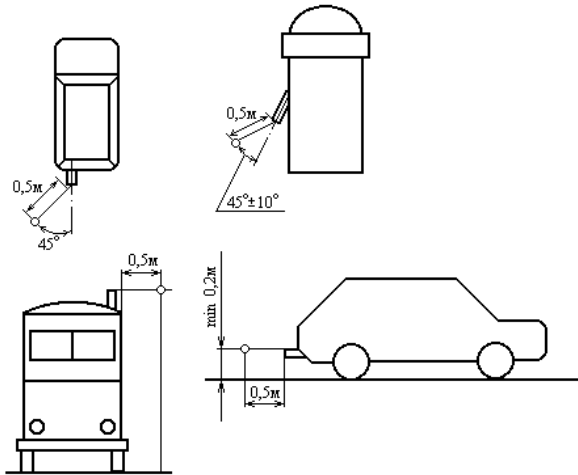


Рисунок 6.2 - Схема розташування мікрофонів при вимірі рівня шуму нерухомого транспортного засобу

Рівень шуму, який здійснюється шинами транспортних засобів не повинен перевищувати межі, вказаних в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Межові рівні шуму

Категорія транспортних засобів	Межові величини, дБ(А)
1	2
Транспортні засоби для перевезень пасажирів, які можуть мати не більше дев'яти сидячих місць, включно місце водія	77
Транспортні засоби для перевезень пасажирів, мають більше дев'яти сидячих місць, включно місце водія, максимальна дозволена вага яких не перевищує 3,5т.: <ul style="list-style-type: none"> <li>- з двигуном потужністю менше 150 кВт (ЄЕК);</li> <li>- з двигуном потужністю 150 кВт (ЄЕК) або більше.</li> </ul>	80 83
Транспортні засоби для перевезень пасажирів, мають більше дев'яти сидячих місць, включно місце водія; транспортні засоби для перевезень вантажів: <ul style="list-style-type: none"> <li>- з максимальною дозволеною вагою, яка не перевищує 2т.;</li> <li>- з максимальною дозволеною вагою, яка перевищує 2т., але не перевищує 3,5т.</li> </ul>	78 79

Продовження таблиці 6.4

1	2
Транспортні засоби для перевезень вантажів, які мають максимальну дозовану масу вище 3,5т.:	
- з двигуном потужністю менше 75 кВт (ЄЕК);	81
- з двигуном потужністю 75 кВт (ЄЕК) або більше, але менше 150 кВт (ЄЕК);	83
- з двигуном потужністю 150 кВт (ЄЕК) або більше.	84

У лабораторній роботі визначаємо рівень шуму, який здійснюється нерухомим транспортним засобом. Результати вимірювань заносимо до протоколу випробувань.

### Протокол результатів випробувань

1. Дата проведення вимірів.
2. Місце проведення випробувань, організація.
3. Атмосферні умови (температура, барометричний тиск, напрямок і швидкість повітря).
4. Коротка технічна характеристика автомобіля:
  - тип автомобіля;
  - рік випуску;
  - пробіг автомобіля до початку випробувань;
  - технічний стан автомобіля;
  - тип і стан дорожнього покриття;
  - максимальна потужність двигуна (брутто) кВт;
  - частота обертання, яка відповідає максимальній потужності, хв<sup>-1</sup>;
  - частота обертання при холостих обертах двигуна, хв<sup>-1</sup>;
  - висота вихлопної труби від поверхні площадки.

Таблиця 6.5 - Результати вимірювань рівня шуму нерухомого транспортного засобу і вимірів внутрішнього шуму автомобіля

№ п/п досліді	Величина шумового фону, дБ(А)	Частота обертання кол. валу $\frac{3}{4}$ від частоти при $N_{\max, 1}$ , хв. <sup>-1</sup>	Рівень шуму при частоті $\frac{3}{4}$ $N_{\max, 1}$ , хв. <sup>-1</sup>	Рівні шуму при сповільненні частоти до обертів холостого ходу			Кінцевий результат виміру рівня шуму, дБ(А)
				замір 1 дБ(А)	замір 2 дБ(А)	замір 3 дБ(А)	
1							
2							
3							

### **Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи**

1. Що розуміється під шумом?
2. Який вплив робить шум на організм людини?
3. Якими документами регламентуються максимально припустимі рівні шуму?
4. Основні джерела шуму транспортного засобу.
5. Які фізичні величини прийняті для оцінки шумових характеристик?
6. Що таке крива №80?
7. На які групи підрозділяються джерела шуму на транспортному засобі?
8. Які види випробувань розрізняють при акустичних випробуваннях транспортного засобу?
9. Які задачі ставляться при випробуванні транспортного засобу на зовнішній шум?
10. На яких швидкісних режимах проводяться випробування на зовнішній шум?
11. У яких точках установлюють мікрофон шумоміра при випробуваннях на зовнішній шум?
12. Як враховується вплив шумового фону на результати вимірів?
13. Які прилади застосовуються для оцінки звукового тиску й аналізу частотного складу шуму?
14. На яких режимах проводяться випробування нерухомого транспортного засобу?

### **Матеріали, інструмент, пристосування, устаткування**

1. Випробовуваний автомобіль.
2. Шумомір Ш-71 з мікрофоном МД-68.
3. Термометр.
4. Барометр.
5. Анемометр.
6. Мірний інструмент.
7. Технічний довідник до характеристик транспортних засобів.

## 6.4 Порядок виконання лабораторної роботи

6.4.1 Використовуючи технічний довідник визначити частоту колінчатого валу при  $\frac{3}{4} N_{max}$ .

6.4.2 Привести шумомір Ш-71 у стан готовності до роботи, для цього:

- забезпечити прилад живлячою напругою;
- уключити прилад і натиснути кнопку «Бат», переконавшись, що стрілка приладу знаходиться в межах контрольного сектора;
- натиснути кнопку «Пр» і перевірити положення стрілки на шкалі приладу, вона повинна знаходитися на контрольній мітці;
- установити мікрофон, маючи на увазі, що приєднувальний роз'єм нерухомо закріплене до корпусу приладу;
- натиснути кнопку частотного коректора «А»;
- установити межі виміру, відповідно величині очікуваного сигналу; після чого прилад готовий до роботи.

6.4.3 Установити шумомір у точку виміру і замірити шумовий фон. Результати вимірів занести в таблицю.

6.4.4 По команді керівника занять водій починає запуск двигуна, прогріває його до робочої температури і встановлює частоту обертання колінчатого валу при  $\frac{3}{4} N_{max}$ . Після встановлення постійної частоти здійснюється замір рівня шуму, потім дросельна заслінка швидко повертається в положення, яке відповідає холостому ходу. В цей період здійснюється не менше трьох вимірів. Результати вимірювань заносяться в таблицю.

Кількість дослідів, при яких здійснюються вимірювання не менше трьох.

По закінченню вимірів живлення шумоміру вимикається.

## 6.5 Зміст звіту

У звіті за результатами роботи повинні бути приведені наступні дані:

- найменування роботи, мета і задачі;
- короткі теоретичні зведення;
- результати випробувань і обчислень;
- висновки.

**Література:** [1], с.49-54; [13], с.301-311; [15], с.2-41; [16], ДСТУ.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобили: Испытания: Учебное пособие для вузов / В.М. Беляев, М.С. Высоцкий, Л.Х. Чилелес и др./ Под ред. А.И. Гришкевича, М.С. Высоцкого. – Мн.: Выш. Шк., 1991.-187с., ил.
2. Цимбалин В.Б., И.Н. Успенский, В.Н. Кравец и др. Испытания автомобилей. – М.: Машиностроение, 1978.-199с.
3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи): Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отделение, 1983.-320с.
4. Макаров Р.А. и др. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975.-288с.
5. Лихачев В.С. Испытание тракторов: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1974.-288с.
6. Ю.П. Чижков, С.В. Акимов. Электрооборудование автомобилей: Учебник для вузов. – М.: «За рулем», 1999.-384с., ил.
7. Ю.И. Боровских. Электрооборудование автомобилей: Справочник инженера-механика. – М.: Издательство «Транспорт», 1991.-192с., ил.
8. Привод испытательного стенда с динамометром постоянного тока DS 736-4/V г. Всетин, Чехословакия, 1978.
9. И.В. Балабин, Б.А. Куров, С.А. Испытания автомобилей: Ученик для машиностроительных техникумов по специальности «Автомобилестроение»/ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988.-192с., ил.
10. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1975.-220с., ил.
11. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ Под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.-372с., ил.
12. А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989.-242с., ил.

13. В.Н. Кравец, Е.В. Горынин. Законодательные и потребительские требования к автомобилям: Учебное пособие Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2000.-400с., ил.

14. Правила ЕЭК ООН №№ 15, 84, 101.

15. Шумомер Ш-71. Техническое описание, инструкция по эксплуатации. Ленинград, ВНИИ им. Попова.

16. ДСТУ UN/ECE R51-01:2002.