

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра агроінжинірингу**

# **ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ**

**Конспект лекцій**

**Суми - 2023**

**УДК 631.3**  
**Н 34**

**Укладачі: Подригало М.А.,** – професор, доктор технічних наук  
**Шуляк М.Л.,** професор, доктор технічних наук  
**Лебедєв А.Т.,** професор, доктор технічних наук

**Н 34 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :**  
Конспект лекцій з дисципліни «Випробування автотракторної техніки» для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії) рівня вищої освіти спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" курс 2 [Текст]/ укл.: М.А. Подригало, М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв. – СНАУ.- Суми.- 2023. – 50 с.

В конспекті лекцій наведений зміст і послідовність викладення курсу лекцій з дисципліни «Випробування автотракторної техніки».

**Рецензенти:**

**Зубко В.М.,** доктор технічних наук, професор кафедри агроінжинірингу Сумського національного аграрного університету  
**Алфьоров О.І,** доктор технічних наук, професор кафедри проектування технічних систем Сумського національного аграрного університету

**Відповідальний за випуск:** Шуляк М.Л., доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 3 від «28» 11. 2023 року

© Подригало М.А., М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв.– 2023

© Сумський національний аграрний університет, 2023

## ЗМІСТ

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Вступна лекція .....                                                               | 3  |
| 2. Види і умови випробувань автомобілів і тракторів .....                             | 5  |
| 3. Тягові випробування тракторів і тягово-швидкісні<br>випробування автомобілів ..... | 9  |
| 4. Випробування на паливну економічність .....                                        | 13 |
| 5. Випробування автомобілів і тракторів на гальмівні властивості .....                | 17 |
| 6. Випробування на плавність ходу .....                                               | 24 |
| 7. Випробування на керованість і стійкість .....                                      | 26 |
| 8. Випробування на прохідність .....                                                  | 31 |
| 9. Випробування на пасивну безпеку .....                                              | 33 |
| 10. Випробування на надійність .....                                                  | 38 |
| 11. Планування і обробка результатів експериментів .....                              | 41 |

## Вступна лекція

Шановні колеги! Сьогодні ми з вами починаємо читання нового курсу «Випробування автотракторної техніки». Лекційний курс розрахований на 20 годин. Практичні завдання розраховані на 30 годин.

Для вивчення дисципліни знадобляться наступні літературні джерела:

1. Лебедев А. Т, Лебедев С. А., Коробко А. І. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів. Харків : Міськдрук, 2018. 394 с.
2. Автомобіль вантажний / Сучасні конструкції: підручник. А. Т. Лебедев, В. Д. Мигаль, І. О. Шевченко, М. Л. Шуляк; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Х.: ХНТУСГ; Вид-во «Майдан», 2020. – 363 с. ISBN 978-966-372-729-5.
3. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник. Р. В. Антощенко, О. В. Нанка, А. Т. Лебедев, В. М. Антощенко, В. М. Кісь, І. В. Галич. Харків: ХНТУСГ, 2020 р. 248 с.
4. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згоряння: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.
5. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедев, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.
6. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.
7. Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч. 3.Шасі: Навч. посібник / А.Т. Лебедев, В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. К.: Вища освіта, 2004. 336 с.
8. Антощенко В.М. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання // Навчальний посібник / В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев та інш.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Харків, 2006. 164 с
9. Самородов В. Б., Бондаренко А. І., Кожучко А. П., Пелипенко Є. С., Мітцель М. О. Перспективні трансмісії колісних тракторів. Харків : Вісник НТУ «ХП». № 10 (1053). 2014. С. 3-10
- 10.ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
- 11.Джонсон Н., Ліон Ф., статистики та планування експерименту в техніці та науці. Методи планування експерименту. Пер. з англ. під ред. Е.К.Лецкого, Е.В. Марковий.- М.: Мир, 1981. – 520 с.

При створенні нових і вдосконаленні старих конструкцій автомобілів і тракторів велике значення мають випробування. За результатами випробувань визначають техніко-економічні показники роботи, відповідність вимогам стандартів, технічних умов, нормалей і регламентів. При випробуваннях

визначають тягові (для тракторів), тягово-швидкісні (для автомобілів) властивості, паливну економічність, керованість і стійкість машин, показники коливань, вібрацій і шумності, гальмівні характеристики, параметри прохідності, довговічності, надійності автомобілів, тракторів і їх вузлів.

Розвиток методів випробувань нерозривно пов'язаний з вдосконаленням вимірювальної і реєструючої апаратури, пристроїв, призначених для обробки дослідних даних, і створенням необхідних режимів досліджень. Сучасні магнітографи, осцилографи, телеметричні системи дозволяють ефективно проводити дослідження робочих процесів автомобілів і тракторів в дорожніх, польових і лабораторних умовах.

Стандарти і нормалі на методи і умови проведення випробувань на стенді, на полігоні і в процесі експлуатації широко використовуються при організації та плануванні випробувань.

Важливою складовою частиною від загального обсягу випробувань автомобілів і тракторів є випробування на надійність. Це пов'язано, в першу чергу з тим, що розрахункові методи оцінки надійності розроблені поки не за усіма критеріями і не для усіх категорій деталей машин. Тому надійність машин в цілому в даний час оцінюють за результатами випробувань.

Експериментальні методи оцінки надійності вимагають випробувань значного числа виробів, напрацювання за, тривалий час і значних витрат, тобто більшого обсягу випробувань. Тому при оцінках і контролі надійності машин актуально використання можливих способів скорочень обсягу випробувань. Прискорені випробування виробів, як окремий науковий напрямок, отримали розвиток в останні десятиліття.

Розвиток мехатроніки, що включає в себе нові інформаційні технології, застосування сучасної вимірювально-реєструючої апаратури дозволяє значно автоматизувати процеси проведення випробувань автомобілів і тракторів.

## **Лекція 1 Види і умови випробувань автомобілів і тракторів**

### **1.1 Види випробувань автомобілів**

Випробування автомобілів розрізняють по випробовуваним об'єктам, призначенням, способам проведення і т.д. Проводять випробування дослідних і макетних зразків нових або модернізованих автомобілів і їх модифікацій, зразків установчої серії нових автомобілів, базових моделей або модифікацій, автомобілів поточного виробництва і тих, що пройшли капітальний ремонт.

Досвідчені і макетні зразки автомобілів і їх модифікацій піддають доводочним, попереднім і приймальним випробуванням. Автомобілі поточного виробництва проходять контрольні, ресурсні, приймально-здавальні і атестаційні випробування, а також випробування на надійність. Зразки всіх автомобілів на будь-якому етапі їх розробки і виробництва можуть проходити визначальні, експлуатаційні, дослідні та спеціальні випробування. Оскільки в останні роки піднімається питання про необхідність забезпечення та контролю параметричної та функціональної стабільності автомобілів і тракторів в процесі експлуатації, то закономірним є питання організації контрольних випробувань цих машин на стабільність функціонування.

За методами, умовами і місцем проведення випробування можна розділити на стендові (лабораторні), полігонні з використанням різних видів доріг, басейнів, ванн, підйомів, нерівностей і т.д., дорожні з регламентацією якості доріг загального користування, експлуатаційні в екстремально-виробничих і опорних автомобільних господарствах і випробування в північних, тропічних, високогірних та інших особливих умовах.

За тривалістю проведення випробування поділяють на нормальні і прискорені. Нормальні випробування – це випробування автомобіля, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідного обсягу інформації в такий же термін, як і в передбачених умовах і режимах експлуатації. При прискорених випробуваннях необхідну інформацію отримують у більш короткий термін.

Прискорені випробування за ступенем інтенсифікації поділяють на форсовані і скорочені відповідно з інтенсифікацією і без інтенсифікації процесів, що викликають відмови або пошкодження.

Форсовані випробування, проводять при збільшених навантаженнях (температурах, тисках, швидкостях і т.д.) При скорочених випробуваннях результати обробляють з використанням методів екстраполяції і т.д.

За оцінюванням експлуатаційно-технічних властивостей автомобілів поділяють випробування:

- на тягово-швидкісні властивості;

- на паливну економічність;
- гальмівні випробування (на гальмуванні властивості);
- на керованість і стійкість;
- на плавність ходу;
- на прохідність;
- на шум і вібрацію;
- на ергономічні властивості і обтічність;
- на надійність;
- на пасивну безпеку і ін.

Особливістю проведення випробувань тракторів є гальмування двигуна внутрішнього згоряння через вал відбору потужності (ВВП) з використанням спеціального обладнання та приладів. Крім того, проводяться тягові випробування тракторів. Трактори та тракторні агрегати випробовуються в лабораторно-технологічних умовах.

Крім того, проводять доводочні, попередньо-контрольні випробування дослідних зразків автомобілів і тракторів. Приймальні випробування і періодичні контрольні випробування серійних зразків. Випробування на надійність можуть бути визначальними і контрольними.

Дослідні випробування проводять для досліджень робочих процесів механізмів, агрегатів і систем, експлуатаційно-технічних властивостей, навантажувальних, теплових і швидкісних режимів роботи агрегатів автомобіля, і т.п. За отриманими результатами перевіряють правильність теоретичних розрахунків і досліджень, окреслюють шляхи вдосконалення і розвитку конструкцій, обґрунтовують оптимальні рішення при створенні нових зразків, модернізації автомобілів і тракторів.

### *1.2 Умови проведення випробувань*

Програми проведення випробувань складають відповідно до їх завдань. Ці програми повинні відображати зміст і обсяг всіх етапів, послідовність їх виконання, загальні умови і особливості умов на кожному етапі. У кожній програмі повинні бути вказані перелік апаратури і обладнання, необхідних для проведення робіт, дані про технічний персонал для проведення випробувань з розподілом обов'язків і графік проведення робіт.

Багато видів випробувань стандартизовані і програми їх виконання визначені державними, галузевими стандартами і нормами.

Загальні умови проведення випробувань. Паливо і мастильні матеріали, що використовуються при випробуваннях, повинні відповідати маркам, зазначеним в інструкції з експлуатації автомобіля або трактора. Їх якість перевіряють контрольними аналізами.

Технічне обслуговування машин протягом усього періоду випробувань проводиться згідно заводської інструкції з експлуатації та чинним положенням про технічне обслуговування і ремонт. При зберіганні машин в період випробувань повинні бути виключені зміни технічного стану, порушення комплектності та регулювань, невраховуваних ремонтів, безконтрольна заправка паливом, слив палива і масла і т.д.

Метеорологічні умови показують істотний вплив на стабільність результатів дорожніх і польових випробувань. Визначати більшість експлуатаційно-технічних властивостей рекомендується в суху погоду при температурі повітря 5-25° С. Швидкість вітру не повинна перевищувати 3 м/с. Вимірюану анемометром швидкість вітру і його напрямку фіксують в протоколі випробувань.

Теплові режими агрегатів автомобілів і тракторів визначаються дистанційними термометрами. Тепловий режим двигуна при випробуваннях так само, як і інших агрегатів, повинен бути в межах, передбачених інструкцією по експлуатації автомобіля або трактора, за винятком спеціальних експериментів, що проводяться з метою визначення впливу теплового режиму роботи двигуна на ККД, витрату палива і інші показники. Перед випробуваннями за визначенням показників експлуатаційно-технічних властивостей, а агрегати, тепловий стан яких впливає на ці властивості, повинні бути прогріті при пробігу. Час і умови пробігу укладають в методиці випробувань.

При проведенні випробувань строго обов'язкове дотримання заходів щодо забезпечення безпеки випробувачів і збереження автомобілів і тракторів, а також встановлених на них вимірювальних приладів і пристроїв. Перед випробуваннями автомобілі та трактори ретельно оглядають, перевіряють агрегати, що впливають на безпеку руху (гальма, рульове управління, шини, колеса). Під час виїзду на автомобілі або тракторі може перебувати тільки водій і випробувач, який працює з вимірювальною апаратурою. При випробуваннях автомобілів замість пасажирів слід застосовувати баласт, а в деяких випадках манекенів надійно закріплених в кузові. Водій і випробувач повинні бути в шоломах і пристебнуті ременями безпеки.

Швидкісні випробування автомобілів проводять в денний час з включеними фарами. При проведенні випробувань, пов'язаних з підвищеною небезпекою, поблизу місця випробувань повинні знаходитися пожежний автомобіль з командою, медичний автомобіль з командою і представник служби безпеки руху.

### **Контрольні питання**

1. Види випробувань автомобілів і тракторів.
2. Призначення доводочних випробувань.
3. Випробування на надійність.
4. Прискорені випробування автомобілів і тракторів.
5. Класифікація випробувань автомобілів по оцінюваним експлуатаційно-технічним параметрам.
6. Призначення дослідних випробувань.
7. Програма випробувань автомобілів і тракторів.
8. Загальні умови проведення випробувань автомобілів і тракторів.
9. Вплив метеорологічних умов на результати випробувань.
10. Умови проведення швидкісних випробувань автомобілів.

## Лекція 2 Тягові випробування тракторів і тягово-швидкісні випробування автомобілів

### 2.1 Тягова характеристика трактора

Тяговою характеристикою трактора називають графіки залежності робочих показників трактора (тягової потужності, швидкості, часового і питомої витрат палива, буксування) від навантаження для всіх або основних робочих передач на даному ґрунтовому фоні:  $N_{кр}$ ;  $V$ ;  $G_T$ ;  $g_{кр}$ ;  $\delta = f(P_{кр})$ .

Отримують тягову характеристику експериментально в процесі тягових випробувань трактора на рівній горизонтальній ділянці поля або на трековій доріжці при постійному навантаженні.

Способів оцінки впливу ґрунтового фону на тягово-зчіпні властивості трактора немає, тому тягові характеристики знімають і досліджують окремо для кожного ґрунтового фону (поклад, стерня, пар).

На рис.1.1 наведена тягова характеристика трактора Т-100,що отримана експериментально.

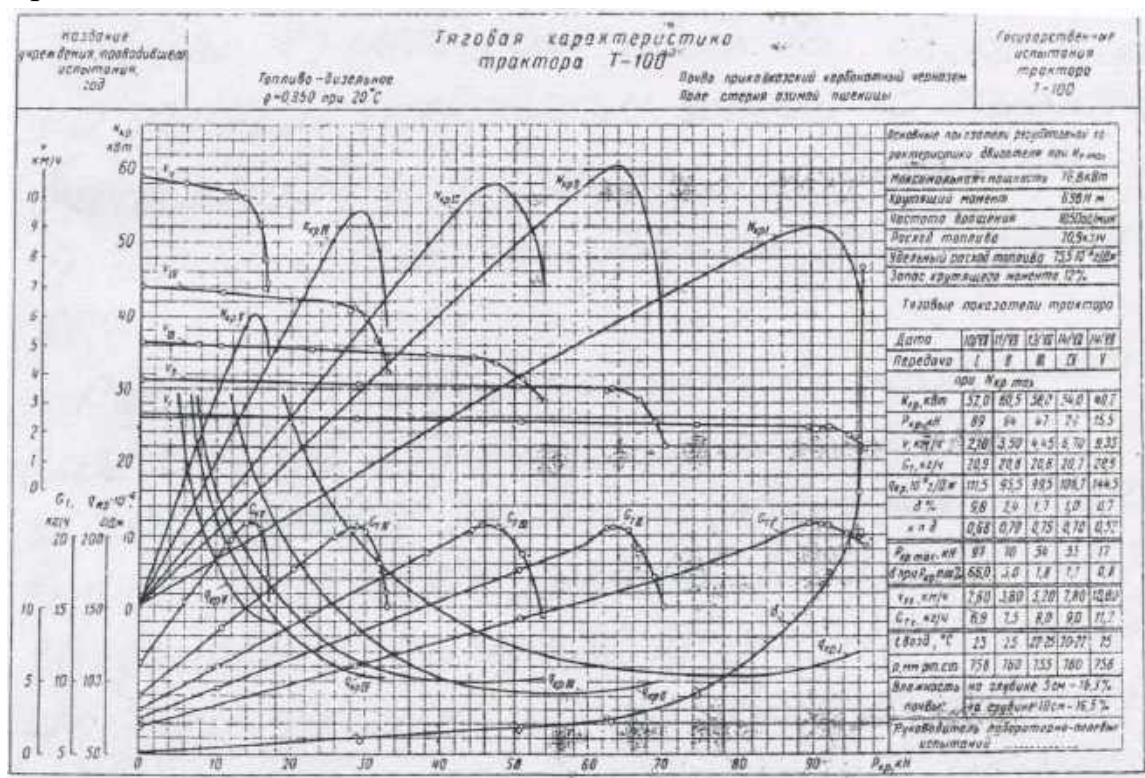


Рис. 1.1 Тяговая характеристика трактора Т-100

За допомогою тягової характеристики оцінюють: 1) тягове зусилля і тягову потужність, яку може розвинути трактор на кожній передачі; 2) поступальну швидкість трактора на кожній передачі при різних навантаженнях і на холостому ході; 3) запас тягового зусилля, який визначає здатність трактора долати тимчасове збільшення навантаження без переходу на знижену передачу; 4) розрахункову продуктивність трактора по тяговій потужності при даному

навантаженні трактора; 5) паливну економічність трактора при даному навантаженні, а отже, розрахункову витрату палива на одиницю обробленої площі; 6) обмеження граничної сили тяги трактора зчепленням рушія з ґрунтом або крутним моментом двигуна; 7) зчіпні властивості трактора на даному ґрунтовому фоні (за характером буксування) і їх вплив на тягові і потужнісні показники; 8) тяговий ККД.

Оцінку тягово-зчіпних і економічних властивостей трактора проводять за показниками тягової характеристики в зоні максимальних потужностей і граничних навантажень. Тому з метою розвантаження графіка на тяговій характеристиці ділянки кривих тягової потужності і питомої витрати палива в області малих навантажень часто не зображують.

## 2.2 Тягово-швидкісні випробування автомобілів

Визначати тягово-швидкісні показники роботи автомобіля (тягову характеристику, максимальну швидкість руху, прискорення, час і шлях розгону) можна як в дорожніх, так і в лабораторних умовах.

Тягова характеристика автомобіля виражає залежність тягової сили  $P_k$  на ведучих колесах осей від швидкості  $V$  руху автомобіля. Її отримують або на всіх, або на якійсь одній передачі. Спрощена тягова характеристика являє залежність вільної тягової сили  $P_d$  на гаку автомобіля від швидкості його руху.

У лабораторних умовах тягова характеристика може бути отримана при випробуваннях на стенді, принципова схема якого наведена на рис.2.1

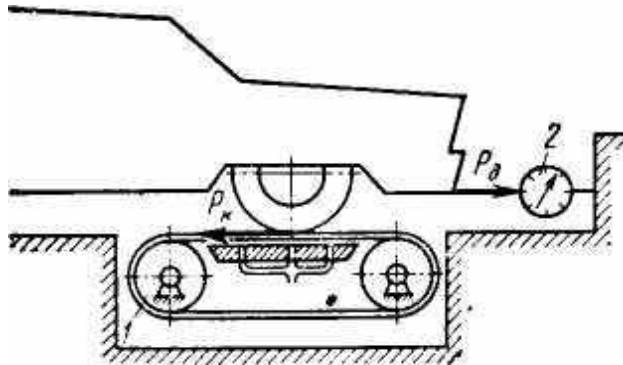


Рис. 2.1 Стенд для визначення тягової характеристики автомобіля

Задні (ведучі) колеса автомобіля спираються на стрічку, перекинуту через два барабана. Для зменшення тертя між стрічкою і її опорною поверхнею створюють повітряну подушку. Барабан 1, з'єднаний з електромотором, за допомогою якого можна плавно змінювати навантаження на ведучих колесах автомобіля.

Вільну тягову силу (силу на гаку) вимірюють безпосередньому динамометром 2. Повна тягова сила на ведучих колесах розраховується за формулою

$$P_k = P_d + P_f, \quad (2.1)$$

де  $P_f$  – сила (сумарна) опору коченню коліс.

У дорожніх умовах тягово-швидкісна характеристика автомобіля найбільш просто може бути отримана за допомогою динамометричного причепа, який буксирується автомобілем, що випробовується. Вимірюючи при випробуваннях за допомогою динамографу силу тяги на гаку, а також швидкість руху автомобіля, можна побудувати криві залежності  $P_k$  від  $V$ . При цьому тягову силу розраховують за формулою

$$P_k = P'_d + P_f + P_w, \quad (2.2)$$

де  $P'_d$  – сила тяги на гаку, виміряна за допомогою динамографу;

$P_f, P_w$  – сили опору коченню коліс і повітря..

Залежність сил опору  $P_f$  і  $P_w$  від швидкості руху автомобіля повинна бути отримана заздалегідь проведеними випробуваннями. Для цього проводять вибіг автомобіля. На нашій кафедрі запропонований метод парціальних прискорень, що дозволяє при вибігу автомобіля або трактора визначати сили опору руху за допомогою лінійних акселерометрів.

Тягова характеристика повністю визначає динамічні властивості автомобілів, проте її отримання пов'язане з великим обсягом випробувань. У більшості випадків, наприклад при проведенні тривалих контрольних випробувань, визначають наступні динамічні властивості автомобіля:

- мінімальну сталу і максимальну швидкість;
- час і шлях розгону;
- максимальні підйоми, які може подолати автомобіль при рівномірному русі.

Дорожні динамічні випробування проводять при рівних навантаженнях автомобіля і без навантаження на горизонтальній прямолінійній ділянці дороги з твердим і рівним покриттям (асфальт або бетон). Всі вимірювання проводять при заїздах автомобіля в двох взаємно протилежних напрямках за сухої безвітряної погоди (швидкість вітру до 3 м / с), причому підйоми долаються 2 рази.

Мінімально сталу швидкість руху автомобіля визначають на прямій передачі. Вимірювання проводять на двох послідовно розташованих ділянках шляхи довжиною 100 м кожен з відстанню між ними рівним 200-300 м. Максимальну швидкість руху визначають на вищій передачі при проходженні автомобілем мірної ділянки довжиною 1 км. Час проходження мірної ділянки фіксують секундоміром або фотоствором.

Час і шлях розгону автомобіля знаходять зазвичай при двох режимах. На першому режимі автомобіль розганяють на прямій передачі від початкової

швидкості 15 км/год. до швидкості, приблизно на рівні 80 % від максимальної на цій передачі. У разі, якщо мінімальна стійка швидкість вище 15 км/год., то розгін починають з мінімальної сталої швидкості. При розгоні педаль подачі палива витискають повністю. У другому режимі автомобіль розганяють з місця, починаючи з першої або другої передачі, зазвичай також до швидкості, приблизно на рівні 80 % від максимальної.

### **Контрольні питання**

1. Які показники оцінюють за допомогою тягової характеристики трактора?
2. У яких умовах визначають тягово-швидкісні показники автомобіля?
3. Як визначається тягова характеристика автомобіля на стенді?
4. Визначення тягової сили автомобіля на стенді.
5. Що визначають при вибігу автомобіля?
6. Визначення мінімально стійкої швидкості руху автомобіля.
7. Визначення максимальної швидкості автомобіля.
8. Визначення часу та шляху розгону автомобіля.

### Лекція 3 Випробування на паливну економічність

#### 3.1 Прилади для вимірювання витрати палива

Типова методика випробувань двигунів внутрішнього згоряння передбачає визначення годинної витрати палива шляхом вимірювання тривалості витрачання заданої для дослідження порції палива. Якщо витрата палива за дослід вимірюють ваговим способом, то його розраховують за формулою

$$M_T = 3,6 \frac{M_{оп}}{T_{оп}} \text{ кг / ч} \quad (3.1)$$

де  $M_{оп}$  – маса палива, витраченого за час проведення дослідження;

$T_{оп}$  – тривалість (час проведення) дослідження, с.

Якщо витрата палива за дослід вимірюють об'ємним способом, то

$$M_T = 3,6 \frac{W_{он} \rho_t}{T_{он}} \text{ кг / ч} \quad (3.2)$$

де  $W_{он}$  – об'єм палива, витраченого за дослід,  $\text{см}^3$

$\rho_t$  – щільність палива при температурі проведення дослідження,  $\text{г/см}^3$ .

Для вимірювання витрати палива на вагах потрібні ваги вантажопідйомністю 10 кг і банку ємністю 5-8 л. Поріг чутливості ваг повинен бути близько 2-3 г. При більш високій чутливості ускладнюється спостереження, особливо при великих витратах палива, а більш низька чутливість створює незручності при роботі двигуна з малою витратою палива.

Щоб уникнути помилок при вимірах, банка на вагах не повинна стикатися з будь-якими предметами (трубками, шлангами і т.д.). Для надійної роботи системи ваги повинні бути встановлені трохи вище паливного насоса. Схема установки для вимірювання витрати палива показана на рис.2.1.

Щоб уникнути розливу палива з ваг на підлогу, на краю чашки ваг напаяють ободок заввишки 10 мм, а в кутку чашки просвердлюють отвір діаметром 4-5 мм. Паливо, що потрапило на шальку терезів при переливі, стікає в воронку під чашкою і по трубці відводиться в ємність.

Для вимірювання витрати палива за об'ємом застосовують мірні колби і вимірювальні циліндри (рис.2.2). Їх використовують при випробуванні бензинових двигунів, так як користування відкритими ємностями на вагах при роботі з бензином забороняється за умовами пожежної безпеки.

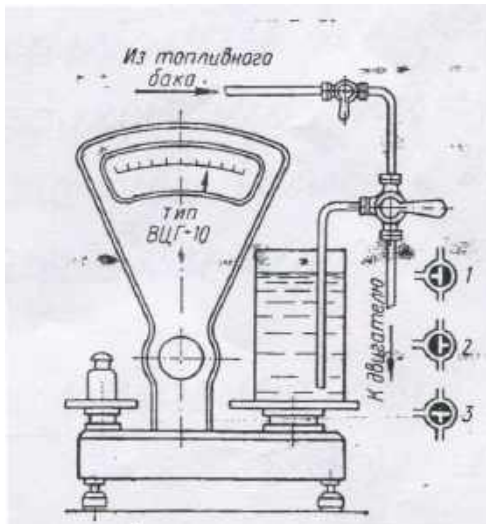


Рис. 2.1 Установка для вимірювання витрати палива по масі. Положення триходового крана: 1 – наповнення банки; 2 – робота з подачею палива з бака; 3 – робота з подачею палива з банки під час дослідів

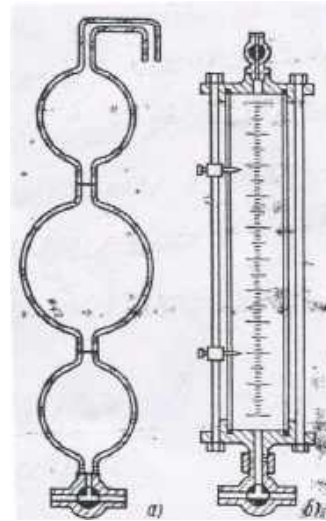


Рис. 2.2 Прилади для вимірювання витрати палива за об'ємом: а – мірні колби; б – мірний циліндр

### 3.2 Випробування автомобілів на паливну економічність

Паливну характеристику автомобілів знаходять при сталих режимах руху на вищій передачі зі зміною швидкостей від максимуму до мінімуму з заданими інтервалами (10 і 20 км/год.). Крім того, паливну характеристику визначають на дорозі зі змінним поздовжнім профілем при несталому режимі роботи. У програму випробувань включають вимір витрат палива при двох швидкостях руху з усталеними режимами роботи і при русі по місту з розгону, зміною швидкостей руху і зупинками.

Витрата при міському русі характеризує економічність при змінних навантаженнях двигуна і різної інтенсивності наростання частоти обертання валу і навантаження. Контрольну витрату палива (в л/100 км) визначають як середнє арифметичне при русі автомобіля по ділянці дороги довжиною 3-5 км (в деяких випадках 1 км) в прямому і зворотному напрямках.

Економічна характеристика, отримана в дорожніх випробуваннях, виражає залежність витрати палива від швидкості руху автомобіля (рис.3.3). Вимірюють витрату палива через кожні 10 км для вантажного автомобіля і через 20 км – для легкового.

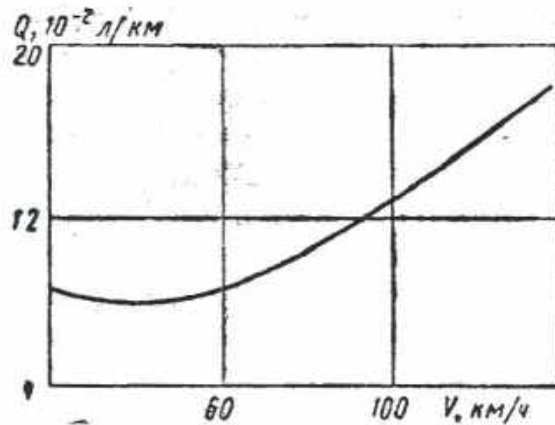


Рис. 3.3 Економічна характеристика легкового автомобіля, отримана в дорожніх випробуваннях

При визначенні контрольної витрати палива і зняття дорожньої економічної характеристики автомобіля витрата рідкого палива вимірюють за допомогою мірних циліндрів зі шкалою поділки не більше  $2,5 \text{ см}^3$  або лічильників-витратомірів. Прилад встановлюють в систему живлення двигуна між паливним баком і насосом.

Витрата газоподібного палива вимірюють газовим лічильником з ціною поділки не більше 1 л, а потім перераховують на нормальні умови ( $20^\circ\text{C}$  і 760 мм рт.ст.). Газовий лічильник включають в систему живлення двигуна між редуктором і змішувачем.

Експлуатаційні витрати палива, визначають об'ємним лічильником-паливоміром або за допомогою знімного мірного бачка на дорогах загального користування великої протяжності (50-100 км і більше) зі швидкостями, які допускають умови руху. Швидкісний режим руху реєструють автометром, шлях, пройдений автомобілем, – лічильником шляху. Одночасно з витратою палива знаходять витрату масла двигуна методом доливання його в картер. В експлуатаційних випробуваннях іноді витрату палива вимірюють на найбільш характерних ділянках шляху.

Умови роботи деяких типів автомобілів, наприклад автобусів, характеризуються циклічним рухом. При випробуванні цих типів автомобілів на паливну економічність витрата палива визначають на заданій дистанції, наприклад на автобусному маршруті, яка може складатися з декількох десятків окремих циклів руху. За цими даними розраховують витрату палива на одиницю шляху та середню швидкість руху автомобіля. При випробуваннях на паливну економічність не повинно бути підвищених опорів, пов'язаних з регулюваннями (наприклад, гальмівної системи), установкою коліс і величиною тиску в шинах. Безпосередньо перед випробуваннями автомобіль повинен мати пробіг не менше 50 км, щоб його агрегати і деталі були прогріті.

### **Контрольні питання**

1. Пояснити спосіб вагового визначення витрати палива.
2. Об'ємний спосіб визначення витрати палива.
3. Установка для вимірювання витрати палива по масі.
4. Прилади для вимірювання витрати палива за об'ємом.
5. Паливна характеристика автомобіля.
6. Економічна характеристика автомобіля.
7. Особливості випробувань автобусів на паливну економічність.

## **Лекція 4 Випробування автомобілів і тракторів на гальмівні властивості**

Безпека автомобілів і тракторів в значній мірі визначається їх гальмівні властивості. Розроблено правила, що регламентують методики проведення випробувань гальм в дорожніх умовах і на стенді, вимоги, що пред'являються до гальмівних властивостей автомобілів і тракторів.

### **4.1 Визначення гальмівних властивостей автомобілів в дорожніх умовах**

Метою випробувань автотранспортних засобів (АТЗ) на гальмівні властивості є визначення ефективності гальмівних систем: робочої, запасної, стоянкової і допоміжної. Крім того, при випробуваннях визначають вплив на працездатність і ефективність гальм їх нагрівання, а також потрапляння води на робочі поверхні фрикційних елементів.

При оцінці гальмівних властивостей враховують категорію транспортного засобу (див. таблицю 4.1). Залежно від призначення АТЗ поділяють на три категорії: М – для перевезення людей; N – для перевезення вантажів; О – причіпні і напівпричіпні. Залежно від повної маси або кількості місць для сидіння кожна категорія має підкатегорії. Технічні вимоги до гальмівних систем і нормативи ефективності гальмування залежать від типу (призначення) випробовуваного автомобіля або автопоїзда і його категорії, що визначає повну масу, а, отже, кількість енергії, яку повинні поглинути і розсіяти гальма.

З метою однаковості проведення випробувань і забезпечення порівнянності одержуваних результатів умови і методи виконання їх строго регламентуються як міжнародними, так і вітчизняними документами [1]. Основними нормованими параметрами є початкова швидкість гальмування і зусилля на органі керування гальмовою системою (педаль, важіль). Для різних категорій і підкатегорій АТЗ встановлені певні значення цих параметрів [1].

Перед проведенням випробувань перевіряють технічний стан автомобіля, зокрема, його гальмівних систем і в разі необхідності проводять його регулювання. Для отримання показників, відповідних гальмівним властивостям автомобілів в експлуатації, елементи гальм, які труться нового автомобіля повинні перед випробуваннями пройти обкатку (припрацювання), режим якої встановлюється методикою конкретного випробування.

Таблиця 4.1 - Класифікація автотранспортних засобів

| Категорія | Підкатегорія   | Тип                                                                                                                                                                                                                                                       | Повна маса, т     | Примітка                                                                                                      |
|-----------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| М         |                | Автотранспортні засоби з двигуном, призначені для перевезення пасажирів.                                                                                                                                                                                  | До 5              | До цієї категорії входять легкові автомобілі, автобуси і автопоїзда.                                          |
|           | М <sub>1</sub> | Автотранспортні засоби з двигуном, призначені для перевезення пасажирів і мають не більше 8 місць для сидіння, крім місця водія, а також для перевезення дрібних вантажів при повній масі, що відповідає повній масі базової моделі легкового автомобіля. |                   | До цієї підкатегорії включаються створені на базі легкових автомобілів модифікації: пікапи, універсали і т.п. |
|           | М <sub>2</sub> | Автотранспортні засоби з двигуном, призначені для перевезення пасажирів і мають більше 8 місць для сидіння, крім місця водія.                                                                                                                             |                   |                                                                                                               |
|           | М <sub>3</sub> | То же                                                                                                                                                                                                                                                     | Понад 5           |                                                                                                               |
| N         |                | Автотранспортні засоби з двигуном, призначені для перевезення вантажів.                                                                                                                                                                                   |                   | До цієї категорії входять вантажні автомобілі, автомобілі-тягачі і автопоїзда                                 |
|           | N <sub>1</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | До 3,5            |                                                                                                               |
|           | N <sub>2</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | Понад 3,5 до 12   |                                                                                                               |
|           | N <sub>3</sub> | То же                                                                                                                                                                                                                                                     | Понад 12          |                                                                                                               |
| O         |                | Причепи та напівпричепи                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                                                               |
|           | O <sub>1</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | До 0,75           |                                                                                                               |
|           | O <sub>2</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | Понад 0,75 до 3,5 |                                                                                                               |
|           | O <sub>3</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | Понад 3,5 до 10   |                                                                                                               |
|           | O <sub>4</sub> | Те ж                                                                                                                                                                                                                                                      | Понад 10          |                                                                                                               |

Після цього, під час випробування нової моделі автомобіля, визначають залежність між зусиллям гальмівної педалі і тиском рідини в системі приводу гальм, а при пневматичному приводі – залежність між ходом педалі і тиском повітря в гальмових камерах або циліндрах, а також залежність між цими

параметрами і гальмівними зусиллями на колесах (вимірюваними на випробувальному роликовому стенді).

4.1.1 Визначення ефективності робочої гальмівної системи. Ефективність робочої гальмівної системи оцінюється в процесі дорожніх випробувань величинами гальмівного шляху і усталеного уповільнення (негативного прискорення), а також сумарної гальмівної сили і часом спрацювання (для АТЗ без двигуна).

Випробування, в залежності від умов руху і гальмування АТЗ і, відповідно, теплового стану гальм, підрозділяють на три типи, встановлені міжнародними організаціями ЄЕК ООН: випробування «нуль», випробування I і випробування II.

Випробування «нуль» мають на меті визначення ефективності гальмівної системи і її окремих контурів при «холодних» гальмах. Холодними прийняти вважати гальмівні механізми, у яких температура на зовнішніх поверхнях барабанів або дисків перебувати в межах 50-100°C.

Випробування I проводять для визначення ефективності робочої гальмівної системи АТЗ при нагрітих гальмівних механізмах. Нагрівання гальм одиночних автомобілів проводять шляхом послідовних гальмувань, а АТЗ без двигуна (причепів) – буксируванням загальмованого причепа автомобілем-тягачем з нормованим зусиллям в зчіпному пристрої на задану дистанцію, при заданій швидкості.

Нагрівання гальм одиночних автомобілів досягається багаторазовим гальмуванням від швидкості  $0,8V_{\max}$  до швидкості  $0,4V_{\max}$  ( $V_{\max}$  – максимальна швидкість автомобіля) при сталому уповільненні  $3 \text{ м/с}^2$ . Час між гальмуваннями коливається в межах 45-60 с, а число гальмувань становить 15-20 в залежності від категорії і підкатегорії автомобілів. На попередньому етапі гальмівні механізми нагріваються значно (в легковому автомобілі до 250-270 °С, в вантажному середньої вантажопідйомності до 140-150 °С, у важкому вантажному – до 170-200 °С). Цей етап можна проводити гальмуванням на спуску крутизною 7 % і довжиною 1,7 км для підтримки постійної швидкості 40 км/год.

Основний етап випробувань I проводять контрольним гальмуванням, як і у випробуваннях «нуль» не пізніше, ніж через 45 секунд після попереднього етапу.

Випробування II проводять при тривалому гальмуванні на затяжному спуску. Як і в разі випробування I, в процесі попереднього етапу випробування II нагрівають гальма, а потім проводять контрольні гальмування за методикою випробування «нуль». Гальма нагрівають способом безперервного гальмування при швидкості 30 км/год. на спуску крутизною 6% і протяжністю 6 км.

Еквівалентним варіантом є буксирування загальмованого АТЗ тягачем із заданими швидкістю і зусиллям в зчіпному пристрої. При цьому в трансмісії повинна бути включена така передача, щоб забезпечувалася максимально можлива в даних умовах ефективність гальмування двигуном, частота обертання якого не повинна перевищувати частоту обертання, що відповідає максимальній потужності двигуна.

4.1.2 Випробування запасної гальмової системи проводять при різних варіантах навмисного виключення гальм одного або двох коліс, за методикою випробувань «нуль» з відключеним двигуном. Залишкову ефективність оцінюють за критеріями, встановленими міжнародними та вітчизняними нормативними документами [1].

4.1.3 Ефективність гальмівної системи визначають за сумарною гальмівної сили, що розвивається гальмівними механізмами системи і опором руху. Випробування проводять на ділянці дороги, що має поздовжній ухил, заданий технічними умовами на даний АТЗ з повним (номінальним) навантаженням встановлюють на випробувальному ділянці послідовно в двох напрямках (тобто вгору і вниз по ухилу). Стоянкове гальмо повинно надійно утримувати транспортний засіб (при заданому зусиллі на органі управління) на зазначеному ухилі протягом не менше 5 хв.

Допускається визначати ефективність гальмівної системи також на гальмівному випробувальній стенді або шляхом, буксирування загальмованого АТЗ на горизонтальній ділянці дороги з визначенням необхідного зусилля поздовжнього зсуву.

4.1.4 Ефективність допоміжної гальмівної системи визначають за величиною сумарної гальмівної сили, що розвивається механізмами цієї системи і опором руху.

#### 4.2 Визначення гальмівних властивостей тракторів і тракторних поїздів

Методика проведення гальмівних випробувань аналогічна методиці випробувань АТЗ [2,3]. У нормативному документі [3] наводиться вимога до робочої гальмівної системи, яка повинна забезпечувати таку ефективність, гальмування, при якій від початкової швидкості гальмування  $V_0 = 25$  км/год. гальмівний шлях повинен складати: для тракторів і тракторних поїздів не більше 9,4 м; для самохідних сільськогосподарських машин – не більше 11,4 м. Для контролю робочої гальмівної системи виконують гальмування тип «0» (методика випробувань регламентується національним стандартом України [2]). При проведенні випробувань «холодних» гальм (тип «0») поверхня дороги повинна мати поздовжній ухил не більше 1%, і поперечний ухил не більше 3%. Транспортний засіб повинен мати повну масу.

Допускається досліджувати альтернативний показник ефективності гальмування – усталене уповільнення. Для тракторів і тракторних поїздів, все колеса яких обладнані гальмами, величина прискорення повинна становити не менше  $5,0 \text{ м/с}^2$ , а для тракторних поїздів, що мають гальма на одній осі причепа (напівпричепа) – не менше  $4,5 \text{ м/с}^2$ .

При випробуваннях Тип 1 методика передбачає особливості проведення випробувань для тракторів з максимальною швидкістю  $V_{\max} < 35 \text{ км/год.}$  і з максимальною швидкістю  $V_{\max} > 35 \text{ км/год.}$

#### 4.3 Гальмівні випробування автомобілів, тракторів і їх агрегатів на стенді

Гальмівні властивості автомобілів і тракторів в дорожніх умовах визначають для всебічної оцінки ефективності дії всіх гальмівних систем. Такі випробування вимагають спеціальної підготовки машин, особливої ділянки дороги і значних витрат часу. В процесі експлуатації, а також при проведенні будь-яких дорожніх випробувань періодично виникає необхідність до швидкої оцінки дії гальм. Для цього широко використовують гальмівні стенди, на яких, крім того, вимірюють гальмівні сили, що діють на кожне колесо, що дає можливість визначити нерівномірність зусиль, що припадають на ліві і праві колеса (допускається нерівномірність 10-15%), і розподіл гальмівних сил по осях. За сумою гальмівних сил  $\Sigma P_T$ , створюваних дією гальмівної системи, можна визначити ефективність роботи цієї системи за умови, що

$$\Sigma P_T \geq 0.246 G_a, \quad (4.1)$$

де  $G_a$  – вага автомобіля.

Залежно від принципу роботи гальмівні стенди можуть бути майданчикові, а також роликові або барабанні. На рис.4.1 приведена схема роликового стенда.

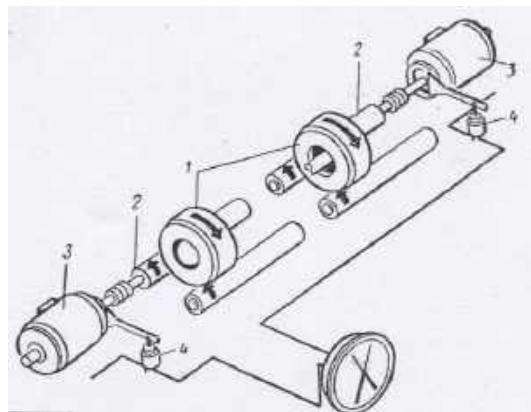


Рис. 4.1 Схема роликового стенда для випробувань гальм

На стенді ролики 2, що приводяться в дію електродвигунами 3, обертають колеса 1 автомобіля. При натисканні на педаль гальма колеса перешкоджають обертанню роликів, створюючи реактивний момент, який підсумовують за

допомогою динамометрів 4. Для отримання більш точних результатів поверхню роликів роблять рифленою, щоб забезпечити коефіцієнт зчеплення з шиною не менше 0,65-0,70.

Для випробувань окремого гальмівного механізму використовують спеціальні стенди. Стенд інерційного типу (рис.4.2) дозволяє імітувати дорожні умови за рахунок еквівалентності роботи тертя в гальмівному механізмі.

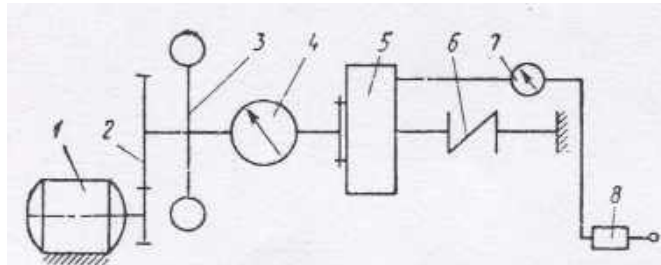


Рис. 4.2 Схема інерційного стенду для випробувань гальмівного механізму:

1 – електродвигун; 2 – передача; 3 – маховик; 4 – пристрій для вимірювання моменту;  
5 – гальмівний механізм; 6 – пружна муфта; 7 – манометр приводу гальм; 8 – головний циліндр

#### 4.4 Апаратура для випробувань гальм

Застосовувана при випробуваннях гальм апаратура повинна забезпечувати можливість вимірювати і записувати основні величини, що характеризують процес гальмування автомобіля, а саме гальмівний шлях, час гальмування, уповільнення, швидкість початку гальмування, криву швидкості в функції шляху або часу, зусилля на органі управління, температури гальмівних механізмів.

Для реєстрації швидкості автомобіля в функції шляху або часу, а також для запису гальмівного шляху застосовується «п'яте колесо» з реєструючим приладом (рис.4.3).

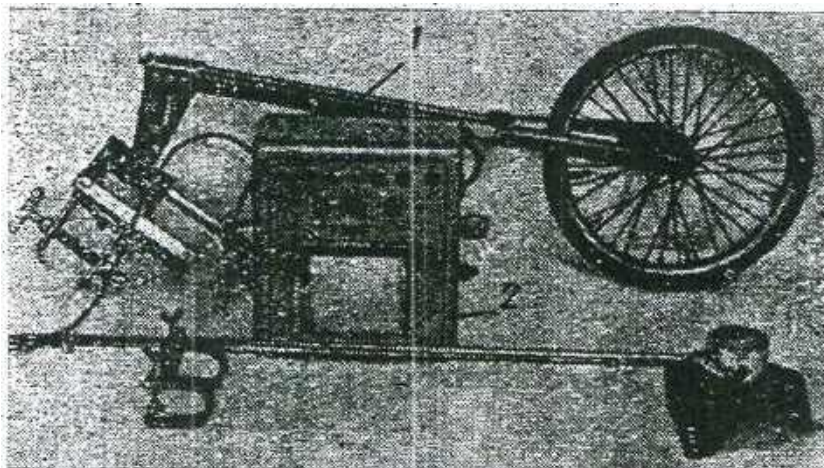


Рис. 4.3 Апаратура для запису параметрів процесу гальмування автомобіля

В останні роки для проведення динамічних (в тому числі і гальмівні) випробувань автомобілів використовують мобільні реєстраційно-вимірювальні комплекси на основі лінійних акселерометрів і комп'ютера (рис.4.4).



Рис. 4.4 Мобільний вимірювальний комплекс:

- 1 – комп'ютер для зняття і архівації даних; 2 – датчик прискорення MMA7260QT # 445;  
3 – датчик прискорення MMA7260QT # 446

### **Контрольні питання**

1. Мета випробувань АТЗ на гальмівні властивості.
2. Категорії автотранспортних засобів.
3. Нормовані параметри при гальмівних випробувань.
4. Методика визначення ефективності робочої гальмівної системи АТЗ.
5. Оцінка ефективності запасної і стоянкової гальмівних систем.
6. Особливості оцінки показників гальмівних властивостей тракторів і тракторних поїздів.
7. Методика гальмівних випробувань автомобілів і тракторів на стенді.
8. Схема інерційного стенду для випробувань гальмівних механізмів.

### **Додаткова література до лекції 4**

1. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій М, N і О стосовно гальмування. (правила ЕЭК ООН №13-07,08:1996, IDT) ДСТУ UN/ECER 13-07, 08:2002. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 180 с
2. Засоби транспортні сільськогосподарські та лісгосподарські. Визначення гальмівних характеристик. (ISO 5697:1982, IDT) ДСТУ ISO 5697:2005. - К: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с.
3. Вимоги до технічного стану тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожно-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки інших механізмів. Наказ Міністерства аграрної політики України 06.05.2009 № 316. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 26 травня 2009р. за № 462/16478.
4. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянський, Д.М. Клец, А.И. Коробко, В.В. Задорожня. –Харьков: Міськдруку, 2012. – 220 с.

## **Лекція 5 Випробування на плавність ходу**

Плавність ходу визначає загальну комфортабельність, збереження вантажів, а також можливу швидкість руху автомобілів і тракторів з нерівним твердим покриттям або вибоїстих ґрунтових дорогах. Основним параметром плавності ходу автомобілів і тракторів є середньоквадратичне значення вертикальних прискорень  $\sigma$  / або частки прискорення сили тяжіння  $g$ ,  $m/s^2$ ), виміряних в встановлених методикою характерних точках автомобіля.

В якості додаткових вимірювачів плавності ходу приймають максимальні прискорення  $j_{\max}$ , спрямовані вгору і вниз, і середньоквадратичне значення горизонтальних поздовжніх прискорень, що діють в кабіні водія (тракториста) на рівні його шиї.

Максимальні прискорення необхідно визначати на дорогах, що викликають сильні коливання автомобіля або трактора. Горизонтальні прискорення, що створюють значний дискомфорт водієві, потрібно обов'язково вимірювати на вантажних автомобілях, експлуатованих з причепами, тракторних поїздів, сідельних тягачів з напівпричепами. Ці прискорення можуть супроводжуватися поздовжніми ривками і поштовхами.

### **5.1 Умови випробувань**

Автомобіль повиненно бути повністю укомплектовано, обкатано, тиск в шинах має відповідати тиску, зазначеному в інструкції заводу-виробника; характеристики амортизаторів повинні бути перевірені (на випробувальному стенді). Автомобіль повинен бути завантажений баластом, щоб розподілення ваги в плані і по висоті кузова автомобіля відповідало проектному. Баласт потрібно надійно закріпити.

Випробування проводяться на наступних типах доріг:

I. з асфальтобетонним покриттям в хорошому стані (середня квадратична висота нерівностей 0,7-1,2 см);

II. бруківка в задовільному стані (середня квадратична висота нерівностей 1,5-1,9 см);

III. бруківка в розбитому стані (середня квадратична висота нерівностей 2,5-3,2 см).

Легкові автомобілі випробовують тільки на дорогах типу I і II; вантажні автомобілі на дорогах типу I тільки при наявності підвищеного рівня поздовжніх вібрацій.

На кожному типі доріг випробування проводяться не менше, ніж при трьох значеннях швидкості руху (заданої стандартами). У разі виникнення інтенсивних резонансних коливань автомобіля на іншій швидкості випробування проводять додатково на цій швидкості.

Прискорення вимірюють за допомогою датчиків, що встановлюються в характерних місцях автомобілів. Для проведення випробувань може використовуватися мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс на основі лінійних акселерометрів і комп'ютера. Датчики вертикальних прискорень встановлюють:

- в легкових автомобілях на передньому лівому та задньому правому сидіннях;
- в автобусах на лівих сидіннях, розташованих над передньою і задньою осями, і на сидінні водія; у автобусів з заднім звісом довжиною 1,5 м і більше закріплюють в цій частині кузова додатковий датчик на відстані 20 см від задньої стінки;
- на вантажних автомобілях і автомобілях тягачах – в кабіні на сидінні водія і в геометричному центрі підлоги платформи;
- на причепах і напівпричепах на підлозі, по осі платформи, над задньою віссю;
- на напівпричепах, крім того, над сидельно-зчіпним пристроєм.

Для кріплення датчиків, розміщених на сидіннях, використовують спеціальне сидло, на яке сідати експериментатор. Для кріплення інших датчиків застосовують жорсткі кронштейни.

Обробка результатів випробувань повинна забезпечити визначення середніх квадратних і максимальних значень прискорень з похибкою не більше 5%. При цьому будують криві залежності середніх квадратичних значень вертикальних (або поздовжніх) прискорень від швидкості руху для обраних типів доріг в двох частотних діапазонах і складають таблицю значень максимальних прискорень.

Випробування тракторів на плавність ходу проводять в рамках випробувань на міцність (при проведенні ресурсних випробувань в умовах експлуатації).

У практиці використовують або треки з штучними перешкодами, або вібраційні стенди.

Мінімальний інтервал між перешкодами визначається часом загасання деформації. При швидкостях 5-7 км/год. таке відстань відповідає 1,1-1,5 бази трактора.

### **Контрольні питання**

1. Контрольні параметри при проведенні випробувань АТЗ на плавність ходу.
2. На яких типах доріг проводяться випробування на плавність ходу?
3. В яких точках автомобіля встановлюють акселерометри?

## **Лекція 6 Випробування на керованість і стійкість**

Під керованістю автомобіля і трактора (точніше, системи «Машина – водій – дорожнє середовище») мається на увазі сукупність властивостей, які обумовлюють можливість змінювати відповідно до бажання водія напрямок руху автомобіля при підтримці можливо високій швидкості руху.

Керованість автомобіля можна оцінювати за ступенем наближення фактичної траєкторії (в плані) його руху до бажаної (з урахуванням швидкості руху). До основних кількісних показників керованості можна віднести:

- 1) граничні значення кривизни траєкторії автомобіля і трактора при круговому русі (мінімальні радіуси кривизни);
- 2) граничні швидкості зміни кривизни траєкторій різних точок автомобіля або трактора;
- 3) значення відхилень траєкторії і напрямки фактичного руху від заданих і частота повторюваності відхилень.

До показників керованості відносять також кількість енергії, що витрачається, водієм на керування автомобілем і тракторів при заданій траєкторії руху («легкість управління»).

На більшість показників, що характеризують керованість системи «Машина – водій – дорожнє середовище», впливають як конструкційні параметри автомобіля (трактора), так і дані водія як керівної ланки. Тому в сучасному трактуванні розглядається керованість системи «Машина – водій – дорожня середовище».

При русі автомобілів і тракторів в різних дорожніх умовах на їх керованість впливають зовнішні впливи («збурення»), що надаються дорогою (наприклад, дорожніми нерівностями) та повітряним середовищем (пориви бокового вітру і т.п.). Залежно від того, як реагує машина на ці збурення, її рух може бути стійким або нестійким. При русі на повороті стійкість є однією з властивостей більш загальної властивості – керованості. При русі по прямій, навпаки керованість є однією з властивостей курсової стійкості.

Розрізняють стійкість положення машини, курсову, бічну і траєкторну стійкість автомобілів і тракторів. Стійкість положення (стійкість проти перекидання) розглядаються в подовжній і поперечній площинах (подовжня і поперечна стійкість). Крім того, розрізняють статичну і динамічну стійкість.

Статистична стійкість забезпечується при відсутності збурюючого руху, а динамічна супроводжується відхиленнями параметрів і траєкторії руху машини від заданих з подальшим їх зникненням.

Дорожні умови (дороги та майданчики для випробувань) визначаються програмою і методикою випробувань (рівне асфальтобетонне, цементобетонне,

брукову покриття, засніжена дорога, гладкий лід). Метеорологічні умови: температура повітря від +3 °С до + 30 °С, при випробуваннях на засніженій дорозі і на льоду від – 2 °С до – 15 °С; швидкість вітру не перевищує 3 м/с; відсутність опадів.

Проводять такі види випробувань:

- випробування «пробіг»
- випробування «курсова стійкість»
- випробування «переставка»
- випробування «вхід в поворот»

Випробування «пробіг» проводять в нормальному експлуатаційному режимі. Метою його є суб'єктивна оцінка автомобіля двома водіями, які пройшли спеціальну підготовку. Пробіг 300-600 км виконується на дорогах автомобільного полігону. Водії оцінюють автомобіль як об'єкт управління і якість рульового управління випробуваного автомобіля.

В процесі пробігу визначають керованість автомобіля на ділянках доріг з рівним і хвилястим мікропрофілю при різних швидкостях руху: від 20-30 км/год. до швидкості, максимально можливої в цих умовах. Суб'єктивну оцінку проводять за шкалою з чотирьох або п'ятибальною градацією. За аналогічною системі оцінюють коливання курсового кута і їх демпфірування (загасання), крен автомобіля, його коливання і демпфірування, чутливість автомобіля до управління, стабілізацію становища керованих коліс і зусилля на рульовому колесі.

По комплексу перерахованих спостережень і оцінок дають загальний висновок про керованість автомобіля при випробуванні «пробіг».

Випробування «курсова стійкість» проводять на прямолінійній ділянці дороги з шириною проїзної частини не менше 3,5 м. Поперечний ухил полотна дороги не повинен перевищувати 0,5%, поздовжній ухил 1%. Види доріг: з асфальтобетонним або цементобетонним покриттям в сухому і мокрому стані з нормованою величиною нерівностей (в тому числі з штучними нерівностями заданого профілю); брукову шосе хорошої якості в сухому стані; укочена засніжена дорога. Довжина мірної ділянки повинна бути не менше 800 м.

Вимірювальна апаратура повинна забезпечувати безперервне вимірювання кутів повороту рульового колеса, поздовжньої осі автомобіля і часу з відмітками початку і кінця проходження ділянки виміру.

Під час випробувань виконують задане число заїздів в даному напрямку (число залікових заїздів не менше восьми). Перед виїздом на вимірювальну ділянку встановлюють задану швидкість, витримувати з точністю  $\pm 3$  км/год. Досліди проводять при швидкості 60 км/год. і 100 км/год. Застосовують і інші значення швидкостей, наприклад граничну на даній дорозі (за умовами безпеки

руху) і швидкість на 20-25% менше її. Записи обробляють для отримання середніх інтегральних значень кутів повороту рульового колеса.

Роботу водія з підтримки заданого напрямку руху оцінюють за допомогою середньої інтегральної кутової швидкості повороту рульового колеса на ділянці виміру. Кращої керованості відповідають менші значення зазначеного оціночного параметру.

Отримання за цим методом результати («інструментальна оцінка») зіставляють з суб'єктивною оцінкою, зафіксованою в протоколах випробувань. Заключна оцінка дається при їх достатньому збігу. В іншому випадку досліди необхідно повторити, проаналізувавши можливі причини розбіжності оцінок.

Випробування «перестроювання» (рис. 6.1) полягає в переведенні автомобіля з однієї смуги руху на іншу, паралельну їй (бічний зсув 3,5 м).

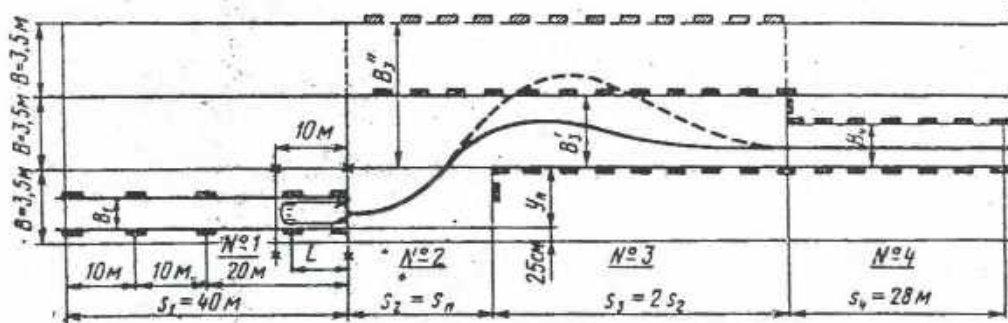


Рис. 6.1 Схема розмітки майданчика для випробувань «переставка»:

× – місця установки фотостворів;  $B_a$  – ширина автомобіля;  $y_n$  – ширина перешкоди («зсув»);  $L$  – база автомобіля; №1 – ділянка «Вхід»; №2 – ділянка «Переставка»; №3 – ділянка «Установка»; №4 – ділянка «Вихід». Для випробувань типу I на дорозі з двома смугами руху  $B'_3 = 3,5$  м; для випробувань типу II на дорозі з трьома смугами  $B''_3 = 7,0$  м. При  $B_a = 1,46$ -

1,55 м,  $B_1 = 1,90$  м,  $B_4 = 2,20$  м, при  $B_a = 2,46$ -2,55 м,  $B_1 = 3$  м,  $B_4 = 3,50$  м

Необхідність виконання такого маневру виникає при аварійній ситуації, пов'язаній з появою на смузі руху несподіваної перешкоди в безпосередній близькості від автомобіля. Довжина шляху, на якому повинна бути виконана «переставка», прийнята рівною 12 м і 20 м. Випробування виконують на дорозі з асфальтобетонним або цементобетонним покриттям в сухому стані, на мокрому асфальтобетонне покриття та на засніженій укоченій дорозі.

За допомогою серії попередніх заїздів визначають найбільшу швидкість, при якій автомобіль може здійснювати маневр «перестроювання» на заданій ділянці шляху (12 м і 20 м). При близькою до неї швидкості здійснюють встановлене методикою кількість залікових заїздів. Заліковими вважаються заїзди, при яких автомобіль не виходить за габарити смуг руху, обмежені гумовими конусами (тобто не зачіпає і не збиває конуса).

Оціночним параметром є швидкість автомобіля в момент сходу в «переставку». Швидкість визначають за допомогою двох фотостворів

встановлених на відстані (базі) 10 м один від іншого, і хронографа з точністю вимірювання до 0,001 с.

У кожному заїзді водій фіксує знесення автомобіля, виникнення коливань курсового кута, бічного відхилення, кута крену і оцінюють за шкалою суб'єктивної оцінки їх демпфірування, а також чутливість автомобіля до управління і зусилля на кермовому колесі, необхідну для виконання маневру.

При проведенні випробувань крім суб'єктивної оцінки поведінки автомобіля можуть бути зафіксовані за допомогою відповідної апаратури зміни кутів повороту поздовжньої осі автомобіля і рульового колеса по часу.

Випробування «вхід в поворот» має на меті встановлення граничної швидкості, з якою автомобіль може рухатися, зберігаючи керованість, на поворотах постійного радіуса дороги з високим коефіцієнтом зчеплення.

Випробування проводять на горизонтальному майданчику діаметром не менше 120 м з рівним асфальтобетонним або цементобетонним покриттям в сухому стані. На майданчику (рис. 6.2) наносять лінії (або встановлюють віхи у вигляді гумових конусів), що визначають виїзний «коридор» шириною 3 м і окружності повороту з радіусами 30 м і 60 м (по внутрішній бровці повороту).

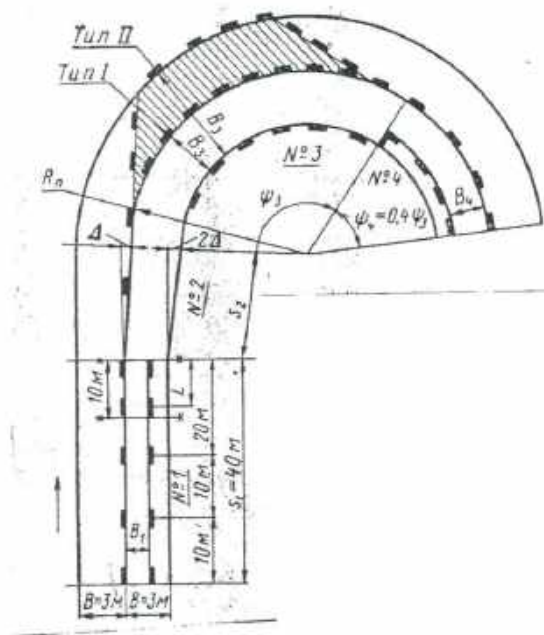


Рис. 6.2 Схема розмітки майданчика для випробування «вхід в поворот»:

№1 – ділянка «Вхід»; №2 – ділянка «Початок повороту»; №3 – ділянка «Поворот»; №4 – ділянка «Вихід». При  $B_a = 1,46-1,55$  м,  $B_1 = 1,90$  м,  $B_4 = 2,60$  м, при  $B_a = 2,46-2,55$  м,  $B_1 = 3$  м,  $B_4 = 3,90$  м. Для  $R_n = 35$  м,  $S_2 = 15$  м; для  $R_n = 50$  м,  $S_2 = 17,5$  м

Випробовуваний автомобіль обладнають одним або двома страхувальними пристосуваннями – навісними колесами на спеціальних кронштейнах, що обмежують нахил автомобіля на повороті (з відривом коліс одного боку від поверхні майданчика) кутом не більше 25-30°. Легкові автомобілі

рекомендується обладнати двома страхувальними колесами, що встановлюються на кронштейнах біля переднього і заднього буферів. Вага страхувальних пристосувань повинна бути врахована при баластуванні автомобіля.

Шляхом послідовних заїздів (при кожному з двох зазначених вище радіусах повороту) з поступовим збільшенням швидкості на 1-2 км/год. знаходять граничну швидкість по тракторній керованості на повороті. Після цього проводять п'ять-шість залікових заїздів з граничною швидкістю. Оціночним параметром є середня гранична швидкість у всіх залікових заїздах.

У кожному заїзді водій і спостерігач, що знаходяться поза машиною, фіксують знос, коливання курсового кута, кута крену, вихід машини з смуги руху, занос, перекидання (по опорі на страхувальне колесо).

Оцінка стійкості положення автомобілів і тракторів здійснюється на спеціальних стендах з перекидачами (в подовжній і поперечній площині). Кути стійкості автомобілів і тракторів в подовжній і поперечній площинах рівні кутам нахилу опорної площини, при якій починається відрив коліс однієї осі або одного борта від опорної поверхні.

### **Контрольні питання**

1. Дати визначення поняття «керованість».
2. Основні кількісні показники керованості.
3. Як визначається легкість керування автомобілем або трактором?
4. Визначити взаємозв'язок понять «стійкість» і «керованість» автомобілів і тракторів.
5. Статична і динамічна стійкість автомобілів і тракторів.
6. Стійкість положення автомобілів і тракторів.
7. Види випробувань автомобілів на стійкість і керованість.
8. Методика проведення випробування «пробіг» автомобілів на керованість.
9. Методика проведення випробування «курсова стійкість» автомобіля.
10. Методика проведення випробування «переставка»
11. Методика проведення випробування «вхід в поворот».

### **Додаткова література до лекції 6**

1. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробування. ДСТУ 3310-96. – К.: Держспоживстандарт, 1996.

## **Лекція 7 Випробування на прохідність**

У випробуваннях на прохідність визначають показники роботи автомобіля на дорогах з твердої нерівною поверхнею, на ділянках, покритих снігом, по бруду, по піску і заболоченій місцевості. Для автомобілів підвищеної і високої прохідності розглядають додатково можливість подолання вертикальних перешкод і заданих технічними умовами підйомів і водних перешкод. При цих випробуваннях мають велике значення такі показники: швидкості руху, можлива вантажопідйомність, витрата палива на одиницю шляху та робота автомобіля в тонно або пасажиро-кілометрів.

На прохідність автомобіля впливають геометричні параметри, колісна формула, тягові, опорно-зчіпні властивості, тип диференціала і можливість його блокування. До геометричних параметрів відносяться дорожні просвіти, кути звису, радіуси поздовжньої і поперечної прохідності.

Вимірюють величини  $p_{об}$  на сухій дорозі з твердим покриттям при відсутності буксування.

Комплексним показником прохідності є глибина подоланої сніжної цілини, так як вона залежить і від геометричних і від тягово-зчіпних властивостей автомобіля. Для проведення випробувань вибирають рівну за профілем ділянку дороги довжиною 100-200 м з поступово збільшується товщиною снігу або кілька ділянок, що мають різну товщину шару снігу.

Автомобіль рухається на нижній передачі (при наявності механізмів блокування диференціалів вони повинні бути включені) спочатку по ділянках з малою товщиною снігового покриву, а потім довше аж до його зупинки внаслідок повного буксування. У цей момент фіксують стан і глибину снігового покриву і колії, довжину пройденого шляху, можливість самостійного виїзду автомобіля заднім ходом. Дослід повторюють 2-3 рази при кожному з встановлених програмою випробувань значень тиску повітря в шинах.

Глибину подоланого броду визначають при випробуваннях в спеціальних басейнах або природних водоймах. Брід довжиною не менше трикратної довжини автомобіля повинен мати щільне нев'язке дно.

У випробуваннях на прохідність знаходять також найбільший кут підйому, який може здолати автомобілем. На полігонах є комплекс підйомів великої крутості (30, 40, 50, 60% і більше). Підйоми мають шорсткувате тверде покриття. Автомобілі високої прохідності відчують на подолання поперечно розташованого рову і вертикальної стінки. Початкова ширина рову становить 0,5 м, а початкова висота вертикальної стінки 0,4 м.

Для визначення показників прохідності автомобілів проводять також пробігові випробування. Переміщення коліс до упору в буфери, взаємні

відносні перекося мостів. Ці показники визначають можливість переїзду нерівностей, руху по ділянках з канавами, буграми і ямами.

Дорожній просвіт вимірюють від опорної площини до характерних низьких точок автомобіля, наприклад, до балки заднього моста при повному навантаженні автомобіля.

Кути свеса між опорною площиною і дотичними до шин і до крайніх нижніх точках контуру автомобіля визначають приладами вимірювання кутів.

Прохідність автомобіля оцінюють за допомогою наступних тягових характеристик: питомої сили тяги на ведучих колесах і на гаку, коефіцієнтів опору руху автомобіля, зчеплення коліс і ґрунтом і буксування. Всі ці характеристики по ґрунтовій дорозі, піску, оранці, заболоченому лузі, сніжній цілині, льоду.

У протоколах випробувань фіксують фізико-механічні властивості ґрунтів: площину, вологість, опір вдавненню, опір зрізу, товщину розпушеного (або перезволоженого) шару.

Питома сила тяги на гаку.

$$P_{кр} = P_d / G_a,$$

де  $G_a$  - вага автомобіля

$P_d$  - сила на динамометрі

Зусилля  $P_d$  в розумних умовах руху з використанням динамометричного причепа точно також, як при дослідженні тягово-швидкісних властивостей автомобіля.

Коефіцієнт зчеплення коліс з ґрунтом

$$\varphi = P_{\varphi} / G_a,$$

де  $P_{\varphi}$  - максимальна сила зчеплення коліс з ґрунтом.

Коефіцієнт буксування при різних умовах руху.

$$\delta_{\sigma} = \frac{n_{\sigma} - n_{об}}{n_{\sigma}} \cdot 100\%,$$

де  $n_{\sigma}$  і  $n_{об}$  - сума оборотів провідних коліс при русі на заданій ділянці шляху відповідно з буксируванням і без буксирування.

### Контрольні питання

1. Оціночні показники прохідності.
2. Фактори, що впливають на прохідність автомобіля.
3. Спосіб визначення дорожнього просвіту.
4. Комплексний показник прохідності.
5. Спосіб визначення кута схилу.
6. Тягові характеристики автомобіля, використовувані при випробуваннях на прохідність.

## **Лекція 8 Випробування на пасивну безпеку**

### **8.1 Основні поняття і види безпеки**

Розрізняють активну і пасивну безпеку автомобіля, а також поняття «після аварійна безпека» (в тому числі «пожежна безпека»).

До пасивної безпеки відносять властивості автомобіля (трактора), що визначають ймовірність, характер і тяжкість травмування людей, що знаходяться в автомобілі або поза ним, в разі ДТП. Пасивну безпеку поділяють на зовнішню та внутрішню. Забезпечення зовнішньої безпеки досягається таким конструктивним виконанням зовнішніх поверхонь і інших елементів автомобіля (трактора), при якому ймовірність і ступінь пошкоджень людини (пішохода) при зіткненні з рухомим автомобілем були б мінімальними. До внутрішньої пасивної безпеки відносяться фактори та заходи, що запобігають або зводять до мінімуму можливість і ступінь травмування водія і пасажирів при ДТП.

Мета випробувань на пасивну безпеку – визначення відповідності автомобілів в цілому і їх окремих елементів узаконеним приписами по пасивної безпеки.

Крім того, в завдання випробувань досліджень, а також дослідно-конструкторських робіт по цій проблемі входять пошук надійних, технічно і економічно обґрунтованих шляхів подальшого підвищення пасивної безпеки. Оскільки більшість приписів стосується автомобілів, подальший виклад буде ставитися в основному до випробувань легкових автомобілів, при яких імітується різні ДТП.

Проводяться наступні випробування легкових автомобілів на пасивну безпеку:

- випробування методом зіткнення з нерухомою перешкодою;
- випробування методом наїзду ззаду;
- випробування методом бічного удару;
- випробування методом поперечного перекидання.

### **8.2 Випробування методом зіткнення з нерухомою перешкодою**

Перешкода є бетонний або залізобетонний паралелепіпед, лицьова сторона якого має ширину не менше 3 м, висоту не менше 1,5 м, облицьована сталевим листом завтовшки 25 мм і покрита фанерою товщиною 20 мм. Маса і кріплення перешкоди до майданчика повинні бути такими, щоб виключалося зміщення або руйнування перешкоди в момент випробування, тобто удару автомобіля (маса – не менше 70 т і зазвичай не більше 75-100 т).

Досліджуваний автомобіль (рис. 8.1) Розганяють за допомогою автомобіля-буксирувальника, лебідки або іншого розгінного пристосування.



Рис. 8.1 Випробування автомобіля методом фронтального зіткнення з нерухомою перешкодою

Перед зіткненням автомобіль повинен рухатися по смузі розгону в напрямку, перпендикулярному лицьовій стороні перешкоди, з відхиленням щодо її центральній поздовжній площині неї більш  $\pm 0,3$  м, що забезпечується дистанційним управлінням або прямою рейкою.

Швидкість автомобіля в момент зіткнення повинна бути в межах 48,3-53,1 км/год. Якщо швидкість не буде витримана в зазначених межах, то при оцінці деформацій елементів автомобіля їх приводять до заданої швидкості. Фактичну швидкість визначають за допомогою системи двох фотостворів, розташованих на відстані 5 м і 10 м від перешкоди.

### 8.3 Випробування методом наїзду ззаду

При наїзді одного автомобіля на інший ззаду, крім відповідних деформацій і пошкоджень співударяючихся частин автомобілів, відбувається небезпечне травмування людей, що знаходяться в салоні, зазвичай виражається в ушкодженні (внаслідок дії великих інерційних сил) шийних хребців і хребців верхніх відділів грудної клітини пасажирів автомобіля, що одержує удар ззаду. Характер пошкодження автомобілів учасників подібного ДТП і величини виникаючих при цьому прискорень, які обумовлюють тяжкість травмування людей, встановлюють експериментом – імітацією наїзду, що здійснюється з використанням спеціального візка з ударною плитою, тобто так званої рухомої перешкоди. Рухома перешкода (рис. 8.2.) являє собою жорстку безресорийний візок масою  $(1100 \pm 20)$  кг з прикріпленою до її рамі недеформованою ударною плитою розміром 2500x800 мм, облицьованою фанерою товщиною 20 мм. Візок, обладнаний напрямним роликовим пристроєм і гальмівною системою з електроприводом, керованою дистанційно.



Рис. 8.2 Випробування автомобіля методом наїзду ззаду рухомої перешкоди

Випробування проводять на горизонтальному майданчику з твердим рівним покриттям, що має смужку розгону рухомої перешкоди і направляючий пристрій у вигляді рейки, покладеного і укріпленого по осі смуги. Розгін і наведення рухомої перешкоди здійснюють методом буксирування і штовхання допоміжним автомобілем. Зіткнення здійснюється при швидкості руху перешкоди, що дорівнює 35-38 км/год.

#### 8.4 Випробування методом бічного удару

Випробування на бічний удар (рис.8.3) проводиться в загальному аналогічно випробуванню на наїзд ззаду з тією ж швидкістю рухомої перешкоди (30-35 км/год.). Розміри ударної поверхні 1300x600 мм з радіусом кривизни в горизонтальній площині 3000 мм. Відстань її нижнього краю осі поверхні майданчика –  $(175 \pm 25)$  мм. У випробувальному автомобілі повинні бути поміщені і закріплені діагонально-поясними ремнями два антропометричних манекена, з них один на передньому, інший на задньому сидінні з боку удару.



Рис. 8.3 Випробування автомобіля методом бічного удару

В процесі експерименту повинні бути виміряні і зафіксовані:

- швидкість візка в момент удару (в правий і лівий боки автомобіля);
- максимальна деформація бічних частин кузова справа і зліва;

- переміщення автомобіля в процесі зіткнення;
- самовідкриття дверей при ударі і можливість їх відкриття після удару;
- працездатність дверних замків;
- стан вітрового і інших стекол;
- стан електрообладнання, двигуна і агрегатів шасі;
- максимальне прискорення грудей манекенів при ударі в кожен з боків автомобіля;
- показник небезпеки травмування голови манекена при ударі;
- пожежна безпека.

#### 8.5 Випробування методом поперечного перекидання

Поперечне перекидання, яке може супроводжуватися одноразовим або багаторазовим переворотом в залежності від обставин події, є одним з поширених, дуже небезпечних видів ДТП. Небезпека для водія і пасажирів автомобіля (автобуса) пов'язана з можливістю їх випадання з салону і потрапляння під автомобіль, що перевертається, з порушенням «життєвого простору» (зминання «надбудови» кузова, верхній частині кабіни), а також з можливістю пожежі при скрутній або неможливій евакуації з перекинутого транспортного засобу. Випробовувані автомобілі можна перекидати одним із таких способів:

- перекидання на горизонтальній площадці;
- перекидання автомобіля на ухилі;
- перекидання шляхом скидання зі спеціального візка.

При перекиданні на горизонтальній площадці випробовувальний автомобіль розганяють (застосовуючи буксирування або штовхання) до певної швидкості і перекидають різким поворотом керованих коліс або спільною дією повороту коліс і зовнішніх зусиль, створюваних похилою площиною, на яку автомобіль наїжджає колесами одного боку.

При перекиданні на ухилі автомобіль встановлюється на горизонтальній площадці на краю укосу, що має ухил  $(30 \pm 2)\%$ . Довжина схилу повинна бути достатньою для здійснення повороту автобуса на  $360^\circ$ . Поверхня укосу повинна бути покрита дерном. Випробування за цим методом можуть піддаватися як легкові, так і (переважно) вантажні автомобілі і автобуси.

В кабіні або салоні автомобіля (автобуса) розміщують манекени, частини яких зміцнюють ремнями безпеки, а іншу частину залишають незакріпленою для отримання порівняльних даних про випадіння і влучень під автобус, а так само про травмування «пасажирів» деталями інтер'єру. Досліджуваний транспортний засіб і манекени оснащують трьохосьовими акселерометрами.

При перекиданні шляхом скидання зі спеціального візка, платформа якої нахилена під кутом  $23^\circ$  до горизонталі результати отримуються кращі.

Нижня сторона платформи має міцний бортик висотою близько 100 мм, який слугує для утримання автомобіля від зісковзування з платформи. Візок з встановленим на його платформі під кутом 90° до напрямку руху автомобілем розганяють за допомогою буксирування автомобілем-тягачем, застосовуючи трос і пристосування для розчеплення в необхідний момент. Після досягнення потрібної швидкості (48 км/год.) візок загальмовують або зупиняють, використовуючи стаціонарне, що гасить швидкість на дорозі не більше 0,91 м пристосування. При цьому не повинен змінюватися напрямок руху візка, а також порушуватися його стійкість. Уповільнення не повинно бути менше 20g протягом не менше 0,04 с. Випробуваний автомобіль, рухаючись далі по інерції, падає з платформи.

### **Контрольні питання**

1. Поясніть значення поняття «пасивна безпека».
2. Мета випробувань на пасивну безпеку.
3. Види випробувань легкових автомобілів на пасивну безпеку.
4. Випробування методом зіштовхування з нерухомою перешкодою.
5. Випробування методом наїзду ззаду.
6. Випробування методом бічного удару.
7. Випробування методом поперечного перекидання.
8. Суть методу перекидання на горизонтальній площадці.
9. Метод випробувань перекидання автомобіля на ухилі.
10. Перекидання автомобіля шляхом скидання зі спеціального візка.

## **Лекція 9 Випробування на надійність**

### **9.1 Параметри оцінки надійності та організації випробувань**

Одна з найважливіших експлуатаційних властивостей автомобіля (трактора) – надійність – визначається комплексом понять, що включають безпеку, довговічність, збереженість і ремонтпридатність. Ці поняття регламентуються державними стандартами.

Безпосередньо в процесі дорожніх випробувань автомобілів і тракторів визначаються показники безвідмовності і довговічності. Показники безвідмовності і довговічності залежать не тільки від якості самого автомобіля, але і більшою мірою від умов, в яких експлуатуються (або в даному випадку – випробовується) автомобіль або трактор.

Застосовуються три основні методи проведення випробувань на надійність (ресурс):

1) в автомобільних господарствах з перевезенням різних (реальних) вантажів (експлуатаційні випробування), в таких випадках:

- дослідна експлуатація, що проводиться кваліфікованим персоналом при регулярному контролі фахівців, точному обліку напрацювання виробу, реєстрації і аналізі всіх порушень за час випробувань;
- підконтрольна експлуатація, супроводжувана контролем стану кожного виробу спеціально підготовленим персоналом;
- звичайна експлуатація у споживачів з можливими відхиленнями від правил використання та обслуговування виробів, без повсякденного спостереження випробувачів;

2) в випробувальних організаціях з проведенням пробігової частини випробувань по дорогах загального користування при завантаженні автомобіля баластом (ресурсні випробування);

3) в умовах випробувального полігону з пробігами за спеціальними дорогами різних типів при завантаженні автомобілів баластом (полігонні ресурсні випробування).

При проведенні випробувань на автомобільному полігоні використовуються спеціальні дороги і споруди. Створювані при цьому більш важкі (форсовані) режими роботи автомобіля дозволяють в кілька разів скоротити пробіг, а, отже, терміни і вартість випробувань. До форсованих або прискореним полігонним випробуванням пред'являється одна найважливіша вимога:

- одержувані відмови і несправності повинні бути типовими, тобто аналогічними тим, що зустрічаються в експлуатації. Цією умовою може

обмежуватися ступінь формування навантажувальних режимів автомобіля при полігонних випробуваннях.

У сформованій практиці для визначення ресурсу автомобілів, відповідного реальним умовам експлуатації автомобільного транспорту, рекомендується використовувати в основному випробування, що проводяться в автомобільних господарствах, тобто експлуатаційні. Випробування ж на автополігоні проводять для підтвердження заданого технічною документацією (НТД) технічного ресурсу у відносно короткі (у порівнянні з експлуатацією) терміни.

Виходячи із завдань, поставлених перед випробуванням, розробляють програму, яка встановлює об'єм і умови випробувань.

Основні з них такі:

- загальний пробіг і пробіги на окремих етапах випробувань;
- число автомобілів, одночасно піддаються випробуванню;
- навантаження і швидкісні режими при проведенні пробігової частини випробувань;
- зберігання, технічне обслуговування, дорожньо-кліматичні умови, число змін і регламентні роботи в межах зміни і т.п.
- зміст періодичних контрольних циклів лабораторно-дорожніх випробувань, що проводяться для перевірки і оцінки змінюється при пробігу технічного стану випробовуваних автомобілів, що змінюється при пробігу;
- об'ємних робіт при початковій, кінцевій і проміжній розбираннях (повних або часткових) автомобіля і його агрегатів виконуються для огляду і вимірювання зносів деталей.

### 9.2 Режими роботи автомобіля і його агрегатів

Режими роботи автомобіля в цілому (як транспортного засобу) характеризуються величиною перевезеного корисного вантажу, тобто розподілом швидкості на окремих ділянках маршруту і середньої швидкості на маршруті. Невід'ємним показником є і витрата палива на тих же ділянках, і середній за пробіг.

Характеристики робочого режиму окремих агрегатів автомобіля складаються в основному з показника навантажувального режиму (напруг, зусиль або моментів в деталях, навантаження двигуна, тобто ступеня використання його потужності або крутного моменту), швидкісного режиму (швидкості руху автомобіля, частот обертання шестерні, підшипників, колінчастого вала двигуна і ін.) і теплового режиму (температури охолоджуючої рідини і масла в двигуні, масла і робочих рідин в агрегатах), а також з ряду кількісних показників, що визначають ступінь використання

окремих механізмів автомобіля (числа пусків двигуна, включень передач, сумарного числа обертів колінчастого вала двигуна, тривалості руху на окремих передачах, числа включень зчеплення, гальм, інтенсивності гальм і ін.).

Загальний режим роботи автомобіля характеризується таким чином, крім названих вище основних показників, ще й комплексом вимірників режимів окремих агрегатів. Для їх реєстрації використовується спеціальна апаратура, яка складається з датчиків, що встановлюються на агрегати, і реєструючих приладів безперервної і дискретної дії.

### **Контрольні питання**

1. Три основні методи проведення випробувань автомобілів на надійність (ресурс).
2. Основна вимога до форсованих або прискорених випробувань.
3. Зміст програми випробувань на надійність.
4. Режим роботи автомобіля і його агрегатів при проведенні випробувань на надійність.

## Лекція 10 Планування і обробка результатів експериментів

### 10.1 Загальні положення багатфакторного аналізу

Планування експерименту дозволяє скоротити об'єм випробувань автомобілів і тракторів. Методи математичної теорії експерименту або планування експерименту є найбільш розробленими і ефективними методами практичної реалізації системного підходу до проведення наукових досліджень. Ці методи являють собою розвиток ідей багатфакторного аналізу.

У загальному вигляді задача дослідження багатфакторних процесів математично формується наступним чином:

Необхідно отримати уявлення про функції

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (10.1)$$

де  $\eta$  – параметр процесу;  $x_1, x_2, \dots, x_k$  – незалежні параметри (фактори), які можна варіювати.

Якщо функція  $\eta$  має вид полінома, а це один з найбільш розроблених способів її подання

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (10.2)$$

де  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}, \dots$  коефіцієнти регресії, то задачу вирішують шляхом отримання так званої функції відгуку  $\hat{y}$  (вибіркової оцінки для  $\eta$ ) в вигляді

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (10.3)$$

тут  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}, \dots$  є оцінками для теоретичних коефіцієнтів регресії  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}, \dots$

Отже, рішення задачі зводиться до визначення коефіцієнтів  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$ , які можна знайти шляхом обробки результатів експерименту методом регресійного аналізу. Зокрема, багатовимірний регресивний аналіз застосовується при обробки результатів експериментів, пов'язаних з дослідженням експлуатаційних властивостей і режимів руху автомобілів, тягових властивостей тракторів.

Однак застосування регресійного аналізу до обробки результатів багатфакторних експериментів часто не приносить успіху з наступних причин:

- важко оцінювати помилку експерименту і не можна строго перевірити гіпотезу про адекватність (тотожності) представлення результатів обраною моделлю, наприклад поліномом;

- неможливо побудувати критерій для відкидання вимірювань, що містять грубі помилки;

- незалежні змінні або їх частину виявляються попарно корельовані, і відповідні ефекти взаємодії важко розділити;

- при варіюванні змінних у вузькому діапазоні, що буває в виробничих процесах, завдання стає нерозв'язним;

- при великій кількості незалежних змінних, навіть за допомогою комп'ютера, завдання не вирішується, а якщо і вирішується, то важко інтерпретується.

Більш ефективними для вирішення багатфакторних задач, тобто для дослідження складних систем, є математичні методи, які отримали загальну назву «планування експерименту», або «теорія експерименту», які на противагу регресійному аналізу дають можливість активно відпочивати (керований, планований) експеримент. Під плануванням експерименту в даному випадку розуміється вибір числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання.

Методи теорії експерименту досить різноманітні і використовуються для пошуку оптимальних умов і оптимізації параметрів моделі, для отримання формул, що відображають механізм явищ, для вибору найбільш істотних гіпотез і чинників, оцінки та уточнення коливань математичних моделей. Вони застосовні до будь-яких простих і складних систем, що володіють властивостями керованості (значення факторів можна змінювати за бажанням експерименту) і необхідним ступенем відтворюваності результату.

Об'єктом дослідження (моделлю об'єкта) в плануванні експерименту є використовуваний у кібернетики «чорний ящик», входи в який є чинники, відповідні способам впливу на об'єкт, а виходи – параметри процесу (оптимізації). Кожен з факторів (в тому числі якісні) повинен мати кількісну оцінку, а їх сукупність повинна задовольняти вимогам сумісності і незалежності (фактори повинні бути здійсненні, безпечні і визначатися незалежно один від одного).

### 10.2 Вибір факторів і їх обґрунтування. Параметри оптимізації

Вибір факторів при плануванні експерименту, тобто змінних, що впливають на об'єкт дослідження, є одним із важливих завдань. Фактори повинні бути керованими та однозначні. Під керованістю фактора розуміється можливість встановлювати його потрібні значення при даному досліді або змінювати по заданому плану.

Фактори повинні безпосередньо впливати на об'єкт дослідження. Їх потрібно визначати операційно (повинен бути відомий спосіб додання фактору

будь-якого можливого значення). Крім того, фактори не повинні бути коригувати між собою, тобто кожен фактор слід встановлювати на будь-який рівень незалежно від інших. Сукупність факторів повинна бути сумісною, тобто всі комбінації значень факторів повинні бути здійсненні.

### 10.3 Повний факторний експеримент

Традиційним і до цих пір панівним способом випробувань є однопараметричний експеримент, при якому всі змінні, крім досліджуваної, фіксуються на постійних рівнях. По черзі варіюючи змінними, отримують залежності, важко порівнянні і не відображають взаємодії змінних. Разом з чим почергове варіювання змінними вимагає багато праці, часу і витрат. Факторне планування експерименту якраз і призначене для усунення цих недоліків.

При факторному плануванні число умов для кожного з факторів не може бути менше двох. Але і так як вибір числа рівнів визначає число різних станів «чорного ящика» і, отже, складність експерименту, то число рівнів рідко буває більше трьох. Експериментальні плани, в яких всі фактори варіюються на двох рівнях, називаються планами типу  $2^k$ , де  $k$  – кількість факторів.

Експеримент, в якому реалізуються всі можливі комбінації рівнів всіх факторів, називають повним факторним експериментом.

Основою для матриці планування повного факторного експерименту служать факторні плани типу  $2^k$ . Це означає, що кожен з факторів, включених в експеримент, розглядається в деякому інтервалі і в експерименті варіює двома його значеннями, відповідними межами інтервалу. Таким чином, в експерименті використовують значення, відповідні верхньої і нижньої меж інтервалу варіювання. Їх зазвичай називають верхнім і нижнім рівнями і позначають відповідно «+1» і «-1» або просто «+» і «-». Для переходу від дійсних значень факторів до значень  $\pm 1$  проводиться кодування факторів. Кодування визначаються співвідношенням

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - \tilde{X}_{i0}}{J_i}, \quad (10.4)$$

де  $X_i$  – кодування поточного значення фактора;

$\tilde{X}_{i0}$  – натуральне значення нульового рівня;

$\tilde{X}_i$  – натуральне поточне значення фактора;

$J_i$  – натуральне значення інтервалу варіювання.

Кодування являє собою лінійне перетворення факторного простору, а саме перенесення початку координат в нульову точку і вибір масштабів по осях в одиницях інтервалів варіювання.

Запис значення меж інтервалів в відносних одиницях  $\pm 1$  призводить до стандартної форми запису матриці планування, що використовує тільки знаки. Припустимо, що ми маємо справу з двома незалежними змінними  $x_1$  і  $x_2$ , кожен з яких варіюємо на двох рівнях  $\pm 1$ . План факторного експерименту для двох незалежних чинників, що варіюються, на двох рівнях представлений в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – План експерименту  $2^2$

| № дослідів | Змінні |       | Вихід $y_i$ |
|------------|--------|-------|-------------|
|            | $X_1$  | $X_2$ |             |
| 1          | –      | –     | $y_1$       |
| 2          | +      | –     | $y_2$       |
| 3          | –      | +     | $y_3$       |
| 4          | +      | +     | $y_4$       |

Беручи в координатах  $x_1$  і  $x_2$  деяку точку за основну (нульовий рівень факторів) і маючи на увазі, що значення  $x_1$  і  $x_2$  можуть бути представлені у відносних одиницях, отримуємо геометричне зображення плану у вигляді квадрата, вершини якого відповідають номерам і умовам експерименту (рис. 10.1)

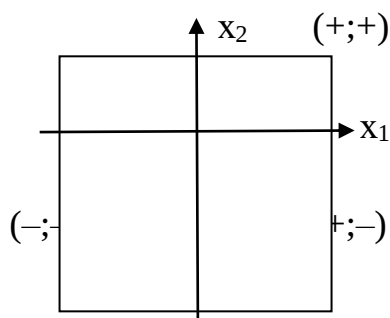


Рис.10.1 Геометричне зображення двохфакторного експерименту

Розглянемо експеримент з трьома незалежними змінними  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , що варіюються, на двох рівнях. Щоб вичерпати всі комбінації трьох факторів на двох рівнях потрібно поставити вісім дослідів ( $2^3 = 8$ ). Матриця планування наведена в табл.10.2, а геометричне подання цього плану показано на рис.10.2

Таблиця 10.2 – План експерименту  $2^3$ 

| № досліджу | Змінні |       |       | Вихід |
|------------|--------|-------|-------|-------|
|            | $X_1$  | $X_2$ | $X_3$ | $y_i$ |
| 1          | –      | –     | –     | $y_1$ |
| 2          | +      | –     | –     | $y_2$ |
| 3          | –      | +     | –     | $y_3$ |
| 4          | +      | +     | –     | $y_4$ |
| 5          | –      | –     | +     | $y_5$ |
| 6          | +      | –     | +     | $y_6$ |
| 7          | –      | +     | +     | $y_7$ |
| 8          | +      | +     | +     | $y_8$ |

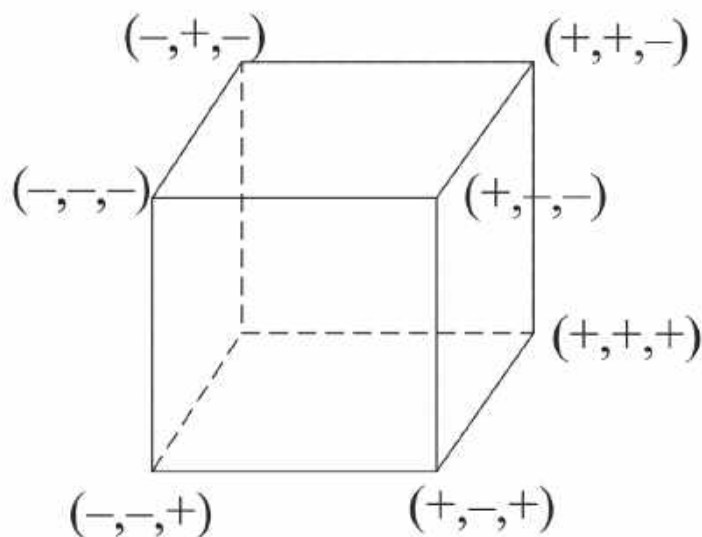


Рис. 10.2 Геометричне зображення трьохфакторного експерименту

Матриці планування повних факторних експериментів мають властивість ортогональності, завдяки чому коефіцієнт регресії певної моделі визначаються за простою формулою

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} y_i}{n}, \quad j = 0, 1, \dots, k, \quad (10.5)$$

де  $y_i$  – значення параметра оптимізації в  $i$ -ому досліді (рядку);

$x_{ij}$  – значення  $j$ -го фактору в  $i$ -ому досліді.

Для того, щоб обчислити коефіцієнт моделі  $b_0$  по тій же формулі (10.5), в матриці планування вводять стовпець з фіктивної змінної  $x_0$  якій у всіх дослідіх

надається значення  $\pm 1$ . Тоді  $b_0$  визначається як середнє арифметичне значення у.

### **Контрольні питання**

1. Загальні положення багатофакторного аналізу.
2. Вибір факторів і їх відсіювання.
3. Параметри оптимізації.
4. Повний факторний експеримент. Кодування факторів.
5. Повний факторний експеримент. План експерименту  $2^2$  і його геометричне зображення.
6. Повний факторний експеримент. План експерименту  $2^3$  і його геометричне зображення.
7. Визначення коефіцієнтів регресії.

### **Додаткова література до лекції 10**

1. Джонсон Н., Ліон Ф., статистики та планування експерименту в техніці та науці. Методи планування експерименту. Пер. з англ. під ред. Е.К.Лецького, Е.В. Марковий.- М.: Мир, 1981. – 520 с.

## ДОДАТКИ

[illegible]

Подригало Михайло Абович

Шуляк Михайло Леонідович

Лебедєв Анатолій Тихонович

# **ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ**

## **Конспект лекцій**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,  
вул.Г.Кондратьєва,160

---

Підписано до друку: червень, 2023 р.      Формат А5:      Гарнітура Times New Roman

Тираж: 100 примірників      Замовлення \_\_\_\_\_      Ум. друк. арк.

---