



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Л.В. Мобіло



Національний університет
водного господарства
та природокористування

**Випробування і
експериментальні
дослідження машин і обладнання**

Навчальний посібник

Рівне 2010



Національний університет

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Л.В. Мобіло

Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчальний посібник

Для студентів напряму підготовки
050503 “Машинобудування”

Рівне 2010



Національний університет

УДК 69.002.5 (075.8)

ББК 38.6 – 5(Я7-6)

М74

Затверджено вченою радою Національного університету водного господарства і природокористування.

Протокол № 10 від 25.09.2009

Рецензенти:

Сухарєв Е.О., к.т.н, професор кафедри експлуатації і ремонту машин;

Медвідь С.Х., к.т.н, доцент НУВГП.

Мобіло Л.В.

М74 Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання: Навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2010. – 153 с.

Навчальний посібник містить теоретичну частину для отримання студентами необхідних знань при виконанні комплексу лабораторних робіт з експериментальних досліджень землерийних машин, методику проведення експериментів, завдань на розрахунково-графічну і контрольну роботу, термінологічний словник, список рекомендованої літератури, які можуть бути корисні при самостійному вивченні навчальної дисципліни в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

УДК 69.002.5 (075.8)

ББК 38.6 – 5(Я7-6)

© Мобіло Л.В., 2010

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2010



Зміст

Передмова	4
Типова програма навчальної дисципліни «Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання»	5
Змістовий модуль 1. Тема 1. Загальні відомості про випробування машин	7
Тема 2. Методи вимірювань, що застосовуються при випробуваннях машин	24
Тема 3. Експлуатаційні і лабораторні випробування	35
Тема 4. Польові і пересувні вимірювальні лабораторії	46
Змістовий модуль 2. Тема 1. Планування експериментів	67
Тема 2. Вимірювання деформацій і напружень при експериментальних дослідженнях машин	79
Тема 3. Апаратно-програмні тензометричні станції	86
Методичне забезпечення лабораторних робіт	102
Завдання на розрахунково–графічну роботу	144
Тестові завдання	150
Самостійна робота	154
Порядок оцінювання знань студентів	155
Термінологічний словник (глосарій)	156
Список літератури	159



Передмова

При створенні нових і вдосконаленні старих конструкцій будівельної техніки велике значення мають випробування та експериментальні дослідження машин, за результатами яких визначають техніко-економічні показники їх роботи, відповідність вимогам сертифікації і стандартів, технічним вимогам і нормам.

Метою експериментальних досліджень є отримання фактичної і достовірної інформації про фізичну суть, якісні і кількісні показники досліджуваних процесів.

Навчальний посібник складається із таких частин: теоретичної, в якій описані основи методики випробувань та експериментальних досліджень, планування експерименту, інформаційно-вимірювальна техніка, її тарування і калібрування, обробка результатів вимірювань та оцінка їхньої точності;

лабораторно-експериментальної, де приводиться повний цикл лабораторних робіт, що виконуються студентами згідно з навчальним планом і містять тему, мету і задачі дослідження фізичних моделей робочих органів машин, порядок проведення експериментів, порядок ведення робочого журналу, способи опрацювання отриманих залежностей, оцінка їх точності;

завдання на самостійну та індивідуальну підготовку студентів, що містить розрахунково-графічну та контрольну роботу.

Виконання студентами лабораторної роботи передбачає отримання функціональних залежностей головних параметрів машини від ряду факторів, що діють з боку робочого середовища. Такі функціональні залежності отримуються як в графічній формі, так і у вигляді формул за допомогою апаратно-програмної тензометричної станції ТС - 8 індивідуально кожним студентом.

Навчальний посібник розраховано на бакалаврів і магістрів денної, заочної, дистанційної форми навчання, екстернатури, післядипломної освіти. Він також буде корисний аспірантам, конструкторам, проектувальникам машин і машинобудівникам.



1. Типова програма навчальної дисципліни «Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання»

1.1 Тематичний план та розподіл навчального часу.

Відповідно до «Освітньо-професійної програми вищої освіти» підготовки бакалавра за напрямом 050503 «Машинобудування» за професійним спрямуванням: 6.050503 «Підйомно-транспортні, будівельні, меліоративні машини і обладнання», 6.050503 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», 6.050503 «Обладнання лісового комплексу» передбачено 81 годину (2,25 кредити, 2 змістових модулі) табл. 1.1

Таблиця 1.1

Тематичний план та структура навчальної дисципліни

Назва змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	Усьо-го	у тому числі					Усьо-го	у тому числі				
		л	лаб	пр	інд	с.р		л	лаб	пр	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модуль 1												
Змістовий модуль 1. Випробування машин												
Тема 1. Загальні відомості і класифікація випробувань.	9	2	2			5	10	2				8
Тема 2. Методи вимірювань при випробуваннях машин і обладнання.	10	2	2			6	10					10
Тема 3. Експлуатаційні і лабораторні випробування.	9	2	2			5	12		2			10
Тема 4. Польові і пересувні вимірювальні лабораторії. Сертифікація машин.	10	2	2			6	10					10

Разом – зм. модуль 1	38	8	8			2	42	2				3
						2						8

продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 2. Експериментальне дослідження машин і обладнання												
Тема 1. Планування експерименту.	11	2	2	2		5	8					8
Тема 2. Вимірювання деформацій і напружень при дослідженнях	11	2	2	2		5	10			2		8
Тема 3. Апаратно-програмні тензометричні станції.	9	2	2	2		3	9		2			7
Розрахунково-графічна робота.	12				12		12				12	
Разом – зм. модуль 2	43	6	6	6	12	13	39		2	2	12	23
Усього годин	81	14	14	6	12	35	81	2	4	2	12	61

Програмний матеріал змістових модулів

Змістовий модуль 1. Випробування машин

Тема 1. Загальні відомості і класифікація випробувань.

Вступ. Класифікація і основні види випробувань. Особливості випробувань машин на надійність.

Тема 2. Методи вимірювань при випробуваннях машин і обладнання.

Класифікація методів вимірювання, приладів і устаткування. Вимірювання переміщень і швидкостей. Вимірювання тиску і розрідження, сили і ваги. Методи вимірювання деформацій і напружень. Обробка результатів вимірювань.

Тема 3. Експлуатаційні і лабораторні випробування.

Загальні технічні умови випробувань. Методи проведення випробувань. Технічна експертиза. Системний аналіз випробувань. Характеристика зовнішніх дій та умов при випробуваннях.

Тема 4. Польові і пересувні вимірювальні лабораторії.

Класифікація польового вимірювального устаткування. Динамометричні польові лабораторії. Пересувні тензометричні



лабораторії, їх вимірювальне обладнання. Сертифікація машин.

Змістовий модуль 2. Експериментальні дослідження машин і обладнання

Тема 1. Планування експериментів.

Основи методики експериментального дослідження. Планування експериментів. Інформаційно-вимірювальна техніка.

Тема 2. Вимірювання деформацій і напружень при дослідженнях.

Класифікація вимірювальних перетворювачів. Види тензорезисторів. Схеми з'єднання тензорезисторів при вимірюванні деформацій і напружень.

Тема 3. Апаратно-програмні тензометричні станції.

Призначення і характеристика апаратно-програмної тензометричної станції ТС-8 конструкції НУВГП. Будова тензостанції ТС-8. Підготовка до роботи і робота на тензостанції ТС-8.

3. Методичні матеріали до вивчення окремих модулів і тем

Тема 1. Загальні відомості про випробування машин



та призначення

Вступ

Головною метою випробувань є покращення конструктивних, технологічних і техніко-економічних показників машин і обладнання.

При створенні нових і вдосконаленні старих конструкцій будівельно-дорожньої техніки і базових машин велике значення мають випробування машин, за результатами яких визначають техніко-економічні показники роботи, відповідність вимогам стандартів, технічним вимогам і нормам. При випробуваннях визначають тягово-швидкісні властивості, паливну економічність, керованість і стійкість, показники коливань, вібрацій і шумності, гальмівні характеристики, параметри прохідності довготривалості, надійності машин і їх вузлів.

Випробування машин розрізняють по призначенню, об'єктах, що випробовуються, способах проведення тощо.

Виконують випробування дослідних і макетних зразків нових або модернізованих машин і їх модифікацій, зразків установчої серії нових машин, базових моделей або їх модифікацій, машин поточно-



го виробництва і тих, що пройшли ремонт.

Досліди і макетні зразки машин і їх модифікацій піддають доводочним, попереднім і приймальним випробуванням. Машини поточного виробництва проходять контрольні, ресурсні, приймально-здавальні і атестаційні випробування також випробування на надійність. Зразки всіх машин на будь-якому етапі їх розроблення і виробництва можуть проходити визначальні, експлуатаційні, дослідні спеціальні, а також періодичні (контрольні) випробування.

Розвиток методів випробувань пов'язаний з вдосконаленням вимірювальної і реєструючої апаратури, пристосувань, призначених для обробки дослідних даних і створенням необхідних режимів досліджень.

Сучасні магнітографи, осцилографи, телеметричні і комп'ютерні системи (ІТ) дозволяють ефективно проводити дослідження робочих процесів машин в польових і лабораторних умовах.

Електронні автоматичні пристосування застосовують для реалізації програм навантажувальних режимів на стендах, а за допомогою частотних аналізаторів, кореляторів, комп'ютерів і ІТ-технологій можна значно прискорити обробку результатів випробувань, отримати кореляційні функції і наглядні графіки залежностей тих чи інших параметрів.

Експериментальні дослідження є складовою частиною випробувань машин. Метою експериментальних досліджень є отримання фактичної і достовірної інформації про фізичну суть, якісні і кількісні показники досліджуваних процесів. Існує така послідовність експериментальних досліджень: визначення мети та завдання експерименту, вибір об'єкту дослідження; визначення предмету дослідження; визначення обладнання і вимірювальних приладів для проведення експериментальних досліджень; визначення критерію оцінки процесу; вибір факторів, що змінюються; обґрунтування потрібної кількості вимірювань; порядок проведення експериментальних досліджень; обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

1.1 Класифікація і основні види випробувань машин

Випробування машин можна класифікувати по наступних ознаках:

- по місцю випробовуваного об'єкта в загальному циклі створення нового зразка чи моделі або модернізації старої;



- по цільовому призначенню;
- по місцю й умовах проведення;
- по тому, яка організація проводить випробування;
- по видах і конструктивних особливостях об'єкта випробувань.

У процесі освоєння виробництва нових і модернізованих моделей послідовно виготовляють і піддають випробуванням дослідні зразки, зразки установочної чи головної партії і машини поточного виробництва.

Випробування дослідних зразків проводяться з метою визначення конструктивних параметрів і експлуатаційних якостей, перевірки їхньої відповідності проектному завданню чи технічним умовам.

При проведенні випробування дослідних зразків виявляють недоліки конструкції, уживають заходів для їхнього усунення, встановлюють правильність обраних конструктивних і експлуатаційних матеріалів, визначають оптимальні регулювання механізмів, розміри зазорів і доводять експлуатаційні показники до проектних значень.

Основним випробуванням дослідних зразків машини можуть передувати випробування їх агрегатів і вузлів.

Установка попередньо випробуваних агрегатів на дослідні зразки машини істотно скорочують обсяг доводочних робіт у процесі випробувань і визначення експлуатаційних якостей машини в цілому.

Зразки головної чи установчої партії піддають випробуванням з метою перевірки результатів робіт по доведенню експлуатаційних показників до проектних значень і попередньої перевірки якості виробничого виконання машини на міцність, надійність, зносостійкість т.д.

При одержанні позитивних результатів випробування заводвиготовлювач представляє головну партію машин для проведення приймальних випробувань спеціальної комісії.

На підставі загальної, всебічної оцінки машини в період приймальних випробувань комісія дає рекомендації про прийняття нової чи модернізованої моделі машини до виробництва з внесенням необхідних змін у технічну характеристику, конструкцію і технологію виготовлення даної моделі.

Машини поточного виробництва звичайно піддають одиночним



контрольним випробуванням на довговічність, надійність і експлуатаційні якості при їх використанні.

Прийомно-здавальні випробування проводять для забезпечення висококваліфікованого приймання машин при введенні їх в експлуатацію.

Ці випробування проводять у відповідності з затвердженими інструкціями.

Випробування машин на заводі-виготовлювачі звичайно не проводяться, так як машина надходить до замовника із наступними документами заводу: паспорт, інструкція по експлуатації, комплектувальна відомість, комплект інструментів. Якщо машина некомплектна, складається відповідний акт з участю представника від залізниці чи іншої транспортної організації.

Роботоздатність машини перевіряють перед введенням її в експлуатацію, несправності фіксуються актом. Завод при пред'явленні акта рекламачії усуває зафіксовані в акті несправності і дефекти за свій рахунок.

При прийомі машини від ремонтних заводів і майстерень перевіряється відповідність виконаних робіт з дефектною відомістю, якість ремонтних робіт, правильність зборки відремонтованої машини.

При прийомі машини від інших підрозділів будівництва перевіряється комплектність машини й інструментів. Наявність полумок, стан і регулювання основних вузлів машини, потім проводять випробування машини на холостому ході. Одночасно з передачею машини здійснюється передача і всієї технічної документації. Результати огляду заносять у відповідний акт приймання. Результати огляду при зміні бригад заносять у змінний журнал.

При передачі машин несправності, виявлені при випробуванні, повинні бути негайно усунені, тому що в експлуатацію може бути введена тільки справна машина.

Випробування експериментальних машин чи експериментальних вузлів вирішує питання про доцільність постановки їх на серійне виробництво. Сюди ж варто віднести порівняльні випробування декількох машин. Ці випробування проводяться офіційними комісіями для машин, що знаходяться в експлуатації.

Періодичні (контрольні) випробування проводяться для машин, що знаходяться в експлуатації періодично через 1...3 роки органами



Держнаглядохоронпраці і екологічної інспекції.

Періодичні технічні випробування машин роблять з метою забезпечення безпеки їхньої роботи.

Періодичному технічному випробуванню підлягають:

- вантажопідійомні машини (мостові, порталні, баштові, гусеничні й автомобільні крани, крани-екскаватори);
- парові котли і компресори;
- резервуари, що працюють під тиском (балони для стиснутих і зріджених газів, повітрязбірники);
- арматура парових котлів і резервуари, що працюють під тиском (манометри, контрольні клапани і т.д.);

Результати оглядів оформляють відповідною документацією: у вигляді актів з реєстрацією результатів випробувань чи у спеціальних журналах з оцінкою в технічному паспорті або талоні машини.

Випробування на знос проводяться тривалий час на машинах серійного чи масового виробництва для оцінки застосовуваних технологічних процесів, матеріалів, величин регулювань і інших факторів, що характеризують виробництво і технічну експлуатацію цих машин.

Експлуатаційні випробування призначені для визначення оцінки дійсних експлуатаційних якостей машини при роботі в експлуатаційних господарствах, на будівельних об'єктах, кар'єрах, заводах будівельної індустрії і т.д., для одержання матеріалів про техніко-економічну доцільність застосування нової чи модернізованої моделі машини.

Дані експлуатаційних випробувань застосовуються для визначення нормативів використання палива, запасних частин, термінів служби агрегатів і деталей машин, для встановлення термінів і обсягів заходів щодо технічного обслуговування і ремонту машин.

Експлуатаційні випробування проводять для різних районів, стосовно кліматичних і економічних умов, з роботою машин у типових ґрунтових та інших умовах.

Експлуатаційним випробуванням піддають як поточну продукцію заводів, так і машини установчих партій.

Різним видам випробувань підлягають не тільки вітчизняні машини, але і закордонні зразки для вивчення закордонного досвіду, одержання порівняльних даних для зіставлення, а також для визначення типу і призначення машини, наміченої до постановки на



Експлуатаційні випробування проводяться в промисловій обстановці, коли машина приймає участь в виконанні одного технологічного процесу і режим її роботи підкорюється вимогам цього процесу. Умови експлуатаційних випробувань можуть бути попередньо задані лише в загальних рисах (кліматична зона, характер виконання робіт і т.д.). Наступне уточнення умов випробування потребує постійного нагляду за роботою машини, а використання складної і точної апаратури для виміру зв'язано з значними організаційними і технічними труднощами.

У зв'язку з цим загальні вимоги до експлуатаційних випробувань можна сформулювати в такий спосіб:

-випробування повинні проводитися в тих же технологічних і організаційних умовах, які існують на будівельних майданчиках.

-за період випробування машина повинна працювати без серйозних аварій.

Для визначення повної надійності і довговічності роботи машини в цілому і її агрегатів, випробування доцільно було б проводити протягом періоду, рівного заводському гарантійному терміну чи, ще краще, одному циклу роботи машини до капітального ремонту. Але міжремонтний цикл більшості важких машин, відповідно до інструкції по проведенню планово-попереджувального ремонту будівельних машин, дорівнює від 6 до 12 тис. годин, що відповідає 2...3 рокам роботи машини.

Якби випробування машин проводилися б так довго, то це негативно позначилося б на термінах оцінки якості машини, були б затримані технічний прогрес і темпи удосконалення будівельних машин.

Тому випробування проводяться в більш короткий термін, але достатній для виявлення основних експлуатаційних якостей машин.

Терміни проведення експлуатаційних випробувань прийнято призначати виходячи з потужності привода машини.

Трудомісткість ремонтів, що допускається, і заходів щодо технічного обслуговування машин не повинна перевищувати величин, встановлених інструкцією. Перевищення трудомісткості до 50% допускається лише в крайньому випадку.

Випробування не повинні обмежуватися тільки експлуатаційними спостереженнями за роботою машини, але повинні передбача-



ти випробування на міцність і на дію динамічних і перемінних навантажень, що можуть відтворюватися для прискорення процесу випробування на випробувувальних стендах у лабораторних і полігонних умовах.

Експлуатаційні випробування можуть проводитися і з науково-дослідною метою, для експериментальної перевірки теоретичних припущень при створенні нової чи модернізації старої машини. На будь-якій стадії розробки нової моделі і на машинах поточного виробництва можуть проводитися спеціальні і наукові випробування.

Спеціальні випробування проводять в особливих умовах, що істотно відрізняються від звичайних умов експлуатації, з метою визначення впливів цих умов на роботу машини і на її експлуатаційні якості.

Такі випробування проводяться в арктичних, тропічних, високогірних умовах, пустелях при наявності великої запиленості в повітрі і т.д.

До спеціальних випробувань можна віднести випробування вузькоцільового призначення з метою встановлення впливу різних зовнішніх факторів і умов на показники експлуатаційних якостей, а також додаткового устаткування, що встановлюється на машину.

У процесі експлуатації машин мають місце прийнятно-здавальні періодичні (контрольні) і експлуатаційні випробування.

До наукових звичайно відносять випробування, зв'язані з розробкою нових методів випробування і нової апаратури, випробування робочих процесів машини і параметрів, що характеризують взаємодію машини з зовнішнім середовищем, випробування динамічних впливів робочого середовища на машину, навантажувальних і теплових режимів роботи агрегатів, вплив режиму змащення на знос деталей, дослідження вібраційних впливів і шумових явищ, а також дослідження з метою встановлення раціональних режимів роботи машини, виявлення ефективності роботи нових типів робочих органів і розробки теорії роботи робочих органів чи двигунів і т.д.

Лабораторні випробування, проводяться в умовах спеціально обладнаних лабораторій. Лабораторним випробуванням можуть підлягати окремі деталі, вузли машин і їх моделі, а також машини в цілому.

При лабораторних випробуваннях робочих органів машин для



земляних робіт з'являються труднощі у виборі масштабів моделі в зв'язку з тим, що властивості штучно приготовлених ґрунтів можуть в значній мірі відрізнятись від властивостей реальних ґрунтів.

Польові випробування, виконуються під відкритим небом в напіввиробничих умовах. Польові випробування дають змогу проводити інструментальні виміри різних величин по широкій програмі в умовах, достатньо близьких до реальних умов використання машин.

Заводські чи відомчі випробування вирішують питання відповідності експериментального зразка машини проекту і можливості здати його на державні випробування.

Міжвідомчі випробування проводяться разом з представниками відомства (заводу) постачальника і відомчої організації, в якій буде використовуватись машина даного типу. Ці випробування проводяться для отримання попереднього обговорення і об'єктивної оцінки технічних якостей машини.

Державні випробування, які проводяться спеціальними державними комісіями в складі представників відомчих постачальників і споживачів із участю ведучих науково-дослідницьких організацій, які уповноважені зробити кінцеве заключення про доцільність постановки машини на серійне виробництво, а також дати рекомендації про кількість випуску машин даного типу.

1.2. Категорії випробувань машин на надійність

Забезпечення заданого рівня надійності нових конструкцій машин здійснюється на основі випробувань різних категорій (табл. 1.2).

Їх класифікують за такими ознаками:

1. За призначенням: дослідні, контрольні, порівняльні, визначальні.

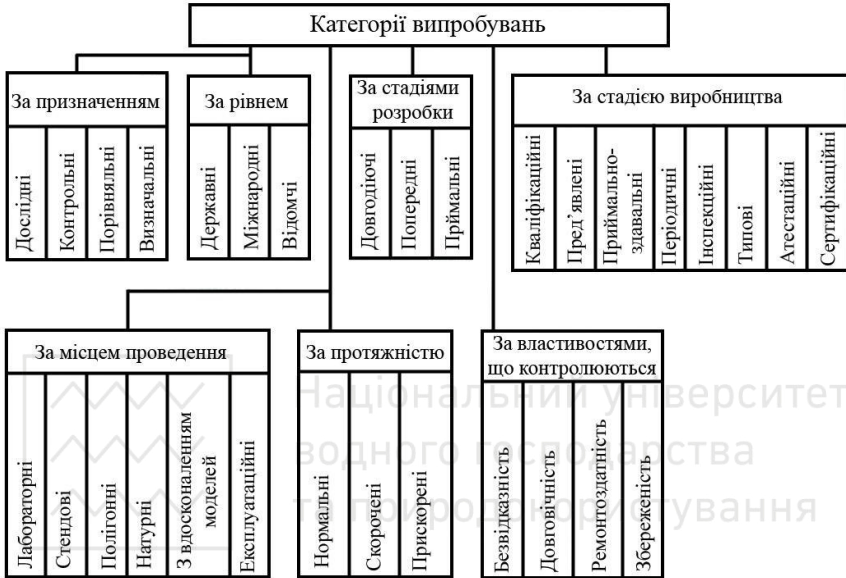
Дослідні випробування провадяться з метою вивчення нових характеристик властивостей об'єкта (визначення границь витривалості, побудови кривих втомленості деталей, законів розподілу відказів, закономірностей процесів зношування, деформування і руйнування деталей, їх кородування і старіння матеріалів, порівняння показників надійності агрегатів машин, виготовлених за різними конструктивними схемами із застосуванням різних технологій тощо).

Дослідні випробування виконуються за одно- і багатofакторною схемами.



Однофакторні випробування характеризуються тим, що вивчення впливу кількох діючих факторів на показники надійності об'єкта випробування здійснюється при зміні одного з них, інші залишаються сталими.

Таблиця 1.2



При багатофакторних випробуваннях одночасно змінюються значення кількох факторів. Вони виконуються швидше за однофакторні, а їх результати зручніші і цінніші з пізнавальної точки зору.

Дослідні випробування є основою технічного прогресу в машинобудуванні, від їх розвитку залежить надійність конструкцій нових машин.

Основний обсяг дослідних робіт виконується і завершується до початку серійного виробництва машин. Але й тоді дослідні випробування не припиняються, триває пошук подальших шляхів удосконалення конструкцій, технологій їх виготовлення тощо.

Визначальні і контрольні випробування належать до основних категорій. *Визначальні випробування* проводяться для визначення фактичних кількісних показників надійності спроектованих (або модернізованих) машин, і результати використовують для оцінки відповідності показників нових конструкцій машин вимогам техні-



чної документації, а також уточнення наведених у ній нормативів.

Визначальні випробування спричинюють вичерпання ресурсу основних агрегатів машин (або його визначення). Тому на їх основі отримують інформацію для виявлення ненадійних конструктивних елементів, розробки організаційно-технологічних заходів щодо підвищення зносостійкості, міцності деталей і спряжень, які лімітують довговічність агрегатів і машин у цілому, удосконалення технології їх виготовлення, технічного обслуговування і ремонту.

Контрольні випробування необхідні для контролю якості (показників надійності) машин. У результаті контрольних випробувань встановлюють, що зниження показника надійності відповідає або не відповідає значенню згідно з технічною документацією.

Ці випробування найпоширеніші і проводяться у складі попередніх, приймальних, кваліфікаційних, пред'явних, приймально-здавальних, періодичних, типових, державних, міжвідомчих та відомчих випробувань.

Порівняльні випробування виконують для подібних за характеристиками або однакових машин в ідентичних умовах, щоб порівняти їх властивості.

2. За рівнем проведення: державні, міжвідомчі, відомчі.

Такі випробування дослідних зразків або партій машин проводять для визначення доцільності їх серійного виробництва. Державні випробування здійснює Державна комісія, міжвідомчі - комісія, яка призначається кількома зацікавленими міністерствами або відомствами, відомчі - комісія зацікавленого міністерства.

3. За стадією розробки: доводочні, попередні, приймальні.

Доводочні випробування. Очікуваний рівень надійності спроектованих машин і дослідних зразків мають значні відмінності. Все, що неможливо було врахувати внаслідок специфічних властивостей роботи нових машин, виявляється під час випробувань, тому потрібна доводка нової машини до заданого рівня надійності. Це складне інженерне завдання вирішується завдяки доводочним випробуванням. Це дослідні випробування, які проводяться при розробці машин з метою оцінки впливу тих змін, які вносяться для досягнення заданих значень надійності.

Доводочні випробування виконують для:

- усунення конструктивних і технологічних недоліків нових моделей машин до початку їх серійного випуску;



- усунення недоліків, виявлених випробуваннями та експлуатацією машин, які виготовляються серійно;

- удосконалення елементів серійних машин з метою підвищення їх надійності, зниження їх маси і вартості (під час виробництва та експлуатації).

Основний обсяг доводочних випробувань виконується до початку серійного випуску машин, але й потім вони не припиняються, оскільки зі збільшенням строку експлуатації виявляються специфічні відкази, недоліки конструкції, які можна усунути лише при проведеному цілеспрямованих доводочних робіт.

Практика свідчить про те, що систематичність і цілеспрямованість виконання доводочних і дослідних випробувань забезпечує й гарантує високий рівень надійності нових конструкцій машин.

Попередні - контрольні випробування дослідних зразків, які провадяться заводами - виготівниками для представлення нових марок машин на приймальні, державні, міжвідомчі або відомчі випробування.

Приймальні - контрольні випробування дослідних зразків (або дослідних партій машин) щодо доцільності їх виробництва або використання за призначенням.

4. За стадією виробництва: кваліфікаційні, пред'явні, приймально-здавальні, періодичні, інспекційні, типові, атестаційні, сертифікати.

Кваліфікаційні - контрольні випробування установчої серії або першої промислової партії машин, їх мета - визначити готовність підприємства до випуску нової продукції у заданій кількості.

Пред'явні - контрольні випробування продукції, які провадяться службою технічного контролю підприємства - виготівника перед пред'явленням її представнику замовника, споживача або іншим приймальним органам.

Приймально - здавальні - контрольні випробування продукції при приймальному контролі.

Періодичні - контрольні випробування продукції, які виконуються в обсягах і у строки, встановлені нормативно-технічною документацією, для контролю стабільності якості та можливості продовження випуску машин.

Інспекційні - випробування встановлених видів продукції з метою контролю стабільності, якості машин і можливості їх подаль-



шого випуску.

Типові - контрольні випробування продукції, коли оцінюються ефективність і доцільність змін у конструкції машин при їх модернізації.

Атестаційні - випробування проводяться для оцінки рівня якості машин при їх атестації за відповідними категоріями.

Сертифікатні - контрольні випробування продукції з метою встановлення відповідності характеристик її властивостей національним і (або) міжнародним нормативно – технічним документам.

5. За властивостями, які контролюються на безвідмовність, довготривалість, збереженість і ремонтоздатність.

Контрольні випробування на безвідмовність передбачають контроль ймовірності безвідмовної роботи за певний час або напрацювання на відказ (середнього напрацювання до першого відказу). *Контрольні випробування на довготривалість* - це, контроль середнього (при відомому законі розподілу часу до досягнення граничного стану) або гамма-процентного ресурсів. Їх називають ще ресурсними.

Контрольні випробування та ремонтоздатність виконують, коли до виробів пред'являють вимоги стосовно відновлення їх в умовах експлуатації на об'єкті при усуненні відказів, виявлених між плановими ремонтами і технічним обслуговуванням.

Випробування на збереженість - контроль гамма-процентного строку збереженості машин, визначення ймовірності дотримання рівної величини гамма за час, який відповідає заданому строку зберігання.

6. За місцем проведення: лабораторні, стендові, полігонні та експлуатаційні.

Лабораторні випробування виконуються в лабораторних умовах, зокрема для визначення стійкості матеріалів, деталей і з'єднань проти механічних дій, зношування, корозії, кавітації. У результаті цих випробувань визначають стійкість матеріалів і довговічність деталей, які будуть застосовані для виготовлення нових машин (у заданих режимах роботи).

Стендові - випробування, які виконуються на випробувальному обладнанні (спеціальних стендах). Ці випробування призначені для визначення ресурсу основних агрегатів і механізмів, нових або модернізованих. У процесі їх проведення виявляються конструктивні



елементи, які лімітують ресурс агрегатів, досліджуються фактори і фізико-хімічні процеси, що обумовлюють їх довговічність.

Полігонні - випробування, які провадяться на полігонах. Полігон-це складні інженерні споруди, обладнані перешкодами для пересування машин. На сучасних полігонах можливе виконання і різних видів досліджень, зокрема функціональних і спеціальних, перевірка міцності несучих конструкцій машин, відновлення у них пошкоджень певного виду та ін.

Експлуатаційні - випробування, які виконують при експлуатації машин. Розрізняють три варіанти експлуатаційних випробувань: дослідну експлуатацію провадить кваліфікований персонал під регулярним контролем спеціалістів, при цьому враховується напруження машини і виконана нею робота, реєструються та аналізуються всі порушення за період випробування; підконтрольна супроводжується контролем стану кожної машини в умовах господарств спеціально підготовленим персоналом для збільшення обсягу і достовірності потрібної інформації, рядова здійснюється в умовах споживача з можливими відхиленнями від правил використання та обслуговування, обумовленими недостатньою кваліфікацією й технічною оснащеністю персоналу; провадиться без спостереження випробувачів, які лише отримують інформацію про надійність машин від споживача. При складних відказах випробувачів викликають у господарства.

Натурні - випробування машин в умовах, відповідних умовам їх використання, тобто випробовується виготовлена машина, дія на неї відповідає її цільовому призначенню, а характеристики властивостей вимірюють безпосередньо.

Випробування з використанням моделей це проведення розрахунків на математичних або фізико-математичних моделях об'єкта випробування і (або) дії на нього у поєднанні з натурними випробуваннями його складових частин (дослідно-теоретичний метод випробувань), а також застосування фізичної моделі об'єкта випробувань. Дані натурних випробувань використовуються як вихідні для моделювання.

7. За протяжністю: нормальні, скорочені, прискорені.

Нормальні - випробування, які забезпечують інформацію про надійність машин за той же інтервал часу, що передбачено умовами експлуатації.



Скорочені - випробування за скороченою програмою. Порівняно з нормальними забезпечують отримання інформації про надійність машин у коротші календарі строки. Це досягається за рахунок ущільнення часу самих випробувань: цілодобовою роботою машин, скороченням кількості і часу, холостих ходів, збільшенням частоти робочого циклу, імітацією дії робочого середовища на машину, що дозволяє значно подовжити строк їх експлуатації.

При проведенні скорочених випробувань будівельних машин застосовують замість натуральних робочих середовищ (грунту, розчину та ін.) їх штучні замінники (парафін, відходи синтетичного волокна та ін.). Штучні замінники за фізико-механічними властивостями подібні до натуральних, а за зносостійкістю переважають їх у сотні разів.

Значною перевагою скорочених, випробувань є те, що ефект прискорення (скорочення календарного часу їх проведення) досягається без спотворення фізичної суті втрати машинами своєї працездатності.

Тому результати скорочених випробувань добре узгоджуються з експлуатаційними. Так, якщо при скорочених випробуваннях відомо, що частота прикладання навантажень збільшилась у K_n разів або об'єкт реалізував напрацювання у K_n разів більший за календарний час ніж в експлуатації, то середній ресурс, здобутий при випробуваннях (T_{np}), легко перераховується на очікуваний середній (T_e):

$$T_e = K_n T_{np}; \quad K_n = T_e / T_{np}$$

де K_n - коефіцієнт переходу (прискорення).

Прискорені – випробування, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідної інформації про властивості машин за коротший час ніж при нормальних випробуваннях.

Скорочення часу при проведенні прискорених випробувань досягається за рахунок інтенсифікації фізико-хімічних і фізико-механічних процесів руйнування (пошкодження) деталей машин: форсування навантажень, швидкостей, температури, вібрацій та ін.

Проте форсування режимів прискорених випробувань не безмежне. Воно може призвести до спотворення результатів випробувань, оскільки кожний процес руйнування (пошкодження) деталей має свою критичну зону, за якою відбуваються якісні зміни. Тому режими і методи прискорених натурних випробувань повинні визначатися так, щоб не було досягнуто критичної зони, отже, якісна



характеристика руйнування залишилась незмінною.

Щоб забезпечити ефективність і достовірність прискорених випробувань, необхідно погодити їх подібність з експлуатаційними випробуваннями.

Розрізняють фізичну і математичну подібність.

Фізична подібність полягає у тому, що суть відказів при форсованих й експлуатаційних випробуваннях повинна залишатись однакою за видом і характером. *Математична* - в тому, що ймовірність безвідмовної роботи машин при форсованих й експлуатаційних випробуваннях повинна бути однакою (принцип рівних ймовірностей).

При забезпеченні масштабної подібності коефіцієнт переходу випробувань від прискорених до експлуатаційних повинен бути сталим для будь-якого $i/K=const$.

У цьому випадку умова рівності ймовірностей призведе до рівності коефіцієнтів варіації часу безвідмовної роботи при прискорених випробуваннях і в експлуатації:

$$V_{np} = V_{te}$$

Цей висновок справедливий для всіх законів розподілу, але однакових при прискорених і експлуатаційних випробуваннях.

Тобто, якщо відбулись прискорені випробування n_{np} , зразків, а в експлуатації n_e зразків, то приймаючи як середні, здобуті в результаті досліду T_{np} , T_e , σ_{np} , σ_e розраховують:

$$K_{np} = \frac{T_e}{T_{np}}; V = \frac{\sigma_{te}}{T_e} i V_{np} = \frac{\sigma_{te}}{T_{np}}. \quad (1.1)$$

Після цього перевіряють умову рівності коефіцієнтів варіації за нерівністю:

$$\frac{|V_{te} - V_{t_{np}}|}{\sqrt{\frac{V_{te}^2}{2n_e} + \frac{V_{t_{np}}^2}{2n_{np}}}} \leq 3. \quad (1.2)$$

Якщо це забезпечується, то умови подібності витримані.

Рекомендований склад випробувань на надійність наведено у табл.1.3. Як висновок, випробування на надійність машин-це система проведення комплексу експериментів і спостережень, які виконуються в певному обсязі і у заданій послідовності.



Передбачається максимальне використання календарного часу на проведення відповідних випробувань. При цьому властивості машин оцінюються за сукупністю інформації, отриманої при випробуваннях усіх видів, зокрема з урахуванням статистичної природи їх показників.

Склад випробувань на надійність

Таблиця 1.3

Властивість, яка контролюється	Контроль при випробуваннях		
	попередніх	приймальних	кваліфікаційних
	дослідні зразки		установча серія машин
Безвідмовність	Визначачні (нормальні або прискорені)	Контрольні (або прискорені)	Нормальні
Ремонтоздатоздатність	Визначальні (прискорені)	Контрольні	Прискорені
Довговічність, збереженість	Визначальні, які проваляться самостійно (прискорені)		Не провадять
Кілька властивостей	Визначальні		Контрольні

У період конструювання і виготовлення дослідних зразків машин основна роль належить дослідним і доводочним випробуванням, коли виконується основний обсяг лабораторних і стендових випробувань. Після завершення цього етапу провадять попередні визначальні випробування. На основі їх результатів встановлюються фактичні значення показників надійності, розробляються комплексні плани організаційно-технологічних заходів щодо забезпечення рівня надійності нових моделей машин за рахунок підвищення довговічності конструктивних елементів, які лімітують ресурс їх основних агрегатів. При позитивних результатах приймається рішення про можливість проведення державних (міжвідомчих) приймальних випробувань.

Готовність підприємств - виготівників до випуску нової продукції у запланованих обсягах і заданим рівнем надійності визначається на основі кваліфікаційних контрольних випробувань машин установчої серії.

Контроль надійності серійних машин здійснюється на основі приймально-здавальних, періодичних і типових випробувань. За їх результатами визначають ступінь відповідності показників надійно-



сті серійних машин значенням встановлених нормативів.

Для скорочення часу і витрат на проведення випробувань їх виконують в умовах лабораторій на стендах і полігонах із застосуванням режимів, які б забезпечували своєчасне отримання інформації про надійність машин з мінімальними витратами.

Застосування лабораторних і стендових випробувань в сучасних умовах через часті зміни моделей і підвищення довговічності машин - це об'єктивна необхідність. Особливо це стосується будівельних машин, які використовуються переважно сезонно, і тривалість їх використання протягом календарного року обчислюється найчастіше коротким терміном.

Лабораторні і стендові випробування при дотриманні певних методичних правил забезпечують отримання найціннішої інформації про надійність складових частин машин, при цьому значно оперативніше і з меншими витратами ніж в умовах експлуатації. Це дає змогу своєчасно завершити доводку нових машин, внести в їх конструкцію необхідні корективи і виключити при наступних випробуваннях відкази, виявлені за результатами лабораторних і стендових випробувань.

Проте інформація про надійність, отримана в процесі лабораторних і стендових випробувань, не є вичерпною.

Передбачається доповнення її результатами наступних випробувань, які провадяться в умовах експлуатації (часто вони виконуються паралельно з лабораторно-стендовими).

Експлуатаційним випробуванням піддаються повнокомплектні машини в межах кожної природокліматичної зони України.

Системою випробувань передбачається залучення для повної оцінки надійності машин результатів експлуатаційних спостережень.

Сфера експлуатації машин розглядається як гігантський полігон, на якому працюють десятки, а нерідко і сотні тисяч машин різних років випуску, в різних кліматичних зонах, з дотриманням і недотриманням правил експлуатації, технології, технічного обслуговування і ремонту, при постійному дефіциті й недостатній якості запасних частин та паливно-мастильних матеріалів.

Така інформація збирається на основі зворотних зв'язків підприємств-виготівників з базовими (експлуатаційними) господарствами, пунктами технічного обслуговування і ремонтними підприємствами.



ми, в результаті разових спостережень, аналізу рекламацій. Дослідження ремонтного фонду деталей машин, які надходять у ремонт, накопичують інформацію, що широко застосовується для подальшого підвищення надійності серійних машин, забезпечення машинного парку запасними частинами, удосконалення технології виготовлення систем технічного обслуговування і ремонту.

Системою передбачається проведення атестаційних і сертифікаційних випробувань для визначення рівня (категорії) якості, а також встановлення відповідності властивостей нових машин національним і (або) міжнародним нормативно-технічним вимогам.

На основі проведеного аналізу видів випробувань на надійність можна стверджувати, що при відповідній експериментальній базі, раціональній організації робіт, використанні сучасних методів і засобів, а також вітчизняного і зарубіжного досвіду випробувань прийнята система спроможна забезпечити своєчасний контроль надійності машин і обладнання, якими оснащується сучасне будівельне виробництво.

Тема 2. Методи вимірювань, що застосовуються при випробуваннях машин

2.1. Класифікація методів вимірювань і застосованих приладів і устаткування

При випробуваннях машин виникає необхідність у визначенні лінійних і кутових розмірів, швидкостей і прискорень різних ланок механізмів машин, вагових характеристик, деформацій і напруг, що виникають у деталях і вузлах машини і т.д.

Унаслідок диференціальної залежності між переміщеннями, швидкістю і прискоренням, деформацією і напруженнями кожна із зазначених величин може вимірюватися безпосередньо або при допомозі іншої величини з наступним автоматичним диференціюванням або інтегруванням у відповідній апаратурі, а при її відсутності наступну обробку результатів вимірів можна робити графічним або аналітичним способами.

У випадку виміру величин швидко протікаючих процесів їхні миттєві значення можуть бути визначені тільки за допомогою пристроїв, що ресструють, записуючи криву зміни досліджуваної величини в залежності від іншої - звичайно від часу або шляху.

Всяка установка для виміру механічних величин у загальному



випадку складається з трьох функціонально різних пристроїв: прийомного, передаючого і реєструючого.

Прийомний пристрій чутливим органом сприймає вимірювану величину і, у разі потреби, перетворює її в первинне переміщення або в який-небудь інший вид сигналу. Передаючий пристрій передає первинне переміщення або сигнал від прийомного в пристрій, що відзначає (реєструє).

Первинне переміщення може передаватись як без яких-небудь змін, так і збільшуватися.

Збільшення первинного сигналу, викликаного факторами, що змінюються, і перетворені прийомним пристроєм, можуть підсилюватися до необхідної величини в каскаді посилення передаючого пристрою.

У процесі проведення випробувань передаючий пристрій може перетворювати сигнали, сприйняті прийомним пристроєм, у зручні для передачі і реєстрації переміщення рідини, газу, промені світла або зміни електричного струму.

У залежності від принципу передачі отриманого сигналу передатні пристрої можуть бути гідравлічними, пневматичними, механічними, оптичними, електричними.

Реєструючий пристрій реєструє змінювану величину, що надходить у виді переміщень, електричних сигналів і т.п., за допомогою покажчика, шкали або шляхом запису її на папір, плівку і т.д.

Вимірювальні установки можуть бути виконані у виді одного приладу або у виді декількох приладів і апаратів.

Прийомний пристрій і перетворюючий елемент передатного пристрою, виділені з загальної системи у виді окремого приладу звуться датчики.

При випробуваннях машин застосовують різноманітні види контрольно-вимірювальних приладів, що класифікують по роду вимірюваної величини, принципів дії, ступеня точності, способів і ступеневі захисту від зовнішніх впливів, характерові застосування, способів установки, способів одержання відліку і габаритних розмірів.

Вибір виду і конструкції контрольно-вимірювального приладу для проведення вимірів під час випробувань визначає якість і точність отриманих результатів.

Найбільше поширення при випробуваннях одержали прилади з



механічними й електричними передатними пристроями.

Гідравлічні, пневматичні, оптичні й інші види передатних пристроїв застосовуються рідше.

У залежності від задач, що стоять перед випробуванням, методи виміру досліджуваних величин різноманітні. Кожен вид і властивість вимірюваної величини вимагають індивідуального підходу до вибору методу її визначення і виборі відповідного устаткування і приладів.

2.2. Вимірювання переміщень і швидкостей поступального й обертального рухів.

Вимір швидкостей і переміщень може бути здійснено приладами двох типів: 1) безпосередньо показують швидкості руху в даний момент часу; 2) показують пройдений шлях у лінійних величинах, у кількості зроблених обертів або в кількості рухів окремих частин машин.

Виміри тахометрами дають правильні результати тільки у випадку, якщо рух відбувається без різких змін швидкості. Застосування їх при випробуванні машин доцільно при вимірі числа обертів обертючих деталей, не підданих різким коливанням швидкостей руху, викликаних особливостями технологічного процесу, що супроводжується перемінними навантаженнями.

Швидкість руху при роботі з приладами другої групи підраховується по вимірах пройденого шляху або по кількості обертів і часу, обумовленого секундоміром або спеціальним відмітчиком часу. У самописних приладах час фіксується автоматично в результаті визначеної швидкості руху стрічки, на яку записується пройдений шлях.

Реєстрація пройденого шляху може здійснюватися за допомогою спеціальних приладів, установлюваних на транспортних засобах (спідометрів, таксометрів), і універсальними приладами - підсумовуючими лічильниками відстаней (ПЛВ).

Для реєстрування параметрів, що характеризують вібраційні явища при проведенні випробувань, застосовують вібрографи, що дозволяють вимірювати амплітуду і частоту коливань у функції часу.

2.3. Вимірювання сили і ваги

Вага вантажу або сила, затрачувана на переміщення робочого



органа, у багатьох випадках є найважливішим показником, що характеризує режим роботи і продуктивність машин.

Тому при випробуваннях машин і механізмів приходиться робити вимірювання сили тяги, величини моментів, що крутять, а також фіксувати вагу переміщуваного вантажу. Для проведення цих вимірювань існує велика кількість приладів, що реєструють і записують.

При вимірі сили і ваги необхідно добре знати кінематичну схему роботи досліджуваного механізму і підключати вимірювальні прилади в цю схему таким чином, щоб вироблені вимірювання, по можливості, безпосередньо давали повну необхідну величину.

Варто мати на увазі, що при постійних взаємних переміщеннях окремих частин тягових пристроїв пересувних механізмів необхідність одержання повної величини сили або ваги шляхом перерахування заміряних величин з урахуванням кутів, утворених системою цих пристроїв, або за законом важеля, приводить до значних неточностей.

При проведенні випробувань важливо установити не тільки величину найбільшого зусилля, але й одержати досить правильне уявлення про частоту і величину коливань зусиль, а також про середню величину цього зусилля. Це робить самописний прилад.

Для виміру величини розтяжних зусиль і, зокрема, для виміру сили тяги застосовують динамометри.

Динамометри з механізмами, що реєструють, одержали назва динамографів.

Для виміру і реєстрації зусиль стиску і розтягання застосовують тягові гідравлічні динамометри. Звичайно вони складаються з двох частин - тягової ланки і столика, що реєструє, з вимірювальною трубчастою пружиною. Схема приладу показана рис. 2.1.

Для виміру і реєстрації моментів, що крутять, переданих від вала двигуна, можуть використовуватися ротаційні динамографи.

При випробуванні вантажопідійомних машин і механізмів застосовують кранові циферблатні ваги вантажопідійомністю від 5 до 10 тс. Однак велика власна вага і неможливість точного зважування без зупинки переміщуваного вантажу є істотним їх недоліком.

2.4. Вимірювання тиску і розрідження

Сучасні дорожньо-будівельні машини, механізми й устаткування працюють з використанням тиску або розрідження (вакууму),

стиснутого повітря або з застосуванням тиску рідини, пари або газів. Тому при їх випробуванні часто необхідно робити виміри ступеня тиску або розрідження робочого середовища.

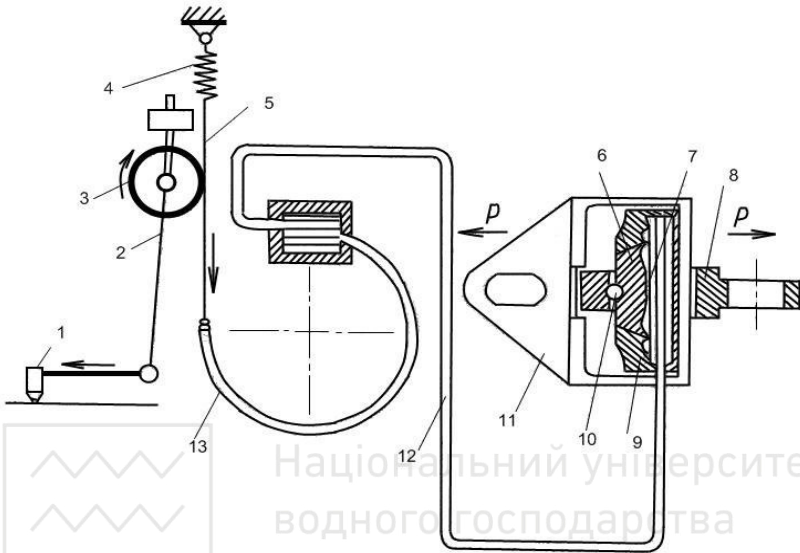


Рис. 2.1. Схема тягового гідравлічного динамометра:

- 1 – пишуче перо; 2 – важіль; 3 – ролик; 4 – пружина; 5 – натяжна стрічка;
 6 – поршень местози; 7 – діафрагма; 8, 11 – реверсна скоба; 9 – кришка местози; 10 – кулька, через яку передається зусилля; 12 – мастилопровід;
 13 – монометрична трубка

У деяких випадках величина тиску або вакууму характеризує ступінь інтенсивності роботи і продуктивність машин (компресора, ґрунтового або водяного насоса, розчино- або бетононасоса і т.д.). В інших випадках тиск, що замірюється, служить важливим фактором, що визначає умови роботи самої машини і механізму, як наприклад: тиск у повітропроводі, що постачає стисненим повітрям паливий молот, бурильний або відбійний молоток; тиск води в системах водопостачання гідромоніторних установок; тиск олії в мастилопроводі системи змащення двигуна або гідравлічного устаткування машини.

Величини тиску і розрідження, що приходить заміряти в практиці роботи, досить різноманітні - від десятих часток до десятків МПа. Так, наприклад, насосні станції гідромоніторних устано-



вок нерідко створюють напір, що досягає 20МПа в пристроях для попереднього натягу арматури застосовують насоси гідравлічних домкратів з тиском 15МПа і більше.

Для вимірювання тиску і розрідження існує велика кількість різних манометрів і вакууметрів. Ці прилади розрізняються між собою:

- по призначенню: для води, агресивних рідин, олії, повітря, пар і газів;
- по виду показань: що показують на дисплеї або самописні;
- по класу точності;
- за найбільшим значенням вимірюваної величини;
- по конструкції пристрою для приєднання до мережі.

Від правильного вибору типу і різновиду приладів, застосовуваних для вимірювання тиску або вакууму, істотно залежать і результати досліджень.

Пружинні манометри градууються звичайно в МПа, а вакуумметри - у мм рт. ст. При перекладі показань манометра в м вод. ст. перші з них множать на 10; при перекладі ж показань вакуумметра в м вод. ст. їх множать на 0,0136.

Для одержання точної величини тиску варто враховувати місце установки приладу.

При дослідженні виробничих процесів часто виникає необхідність заміряти в трубопроводі напірної системи перепад тисків. Для цього зручно користуватися диференціальними манометрами або дифманометрами. Для виміру розрідження застосовують вакуумметри, чуттєвим елементом яких так само, як і в манометрів, є трубка-пружина.

У випадках, коли робоче середовище, у якому виконуються вимірювання, може знаходитися як під тиском, так і в стані розрідження, застосовують комбіновані прилади - мановакуумметри.

2.5. Вимірювання витрат рідин і сумішей

При випробуваннях дорожньо-будівельних машин приходиться робити вимірювання витрат рідин і сумішей при транспортуванні їхній по трубопроводах за допомогою насосних агрегатів, насосних станцій, землесосів, розчино- і бетононасосов і т.п.

Для вимірювання витрати води в трубопроводах застосовують три основних типи водомірних приладів: об'ємні водоміри (поршневі, дискові і ротаційні); швидкісні водоміри (крильчасті, турбінні і



комбіновані); водоміри з дросельними органами і парціальні (з діафрагмами, з вимірювальними вставками і звужуючими пристроями).

При короточасних вимірюваннях витрати води користуються переносними водомірами. Вони бувають трьох видів: з напірними трубками, парціальні і швидкісні. Основною частиною швидкісних водомірів є вертушка або турбінка з віссю обертання, рівнобіжної напрямковій руху води трубопроводу.

Для вимірювання об'ємних кількостей малов'язких рідин (бензин, гас, дизельне паливо і т.д.) застосовують шестеренні лічильники. Їхня дія заснована на відліку визначених обсягів (порцій) рідини, що відтинаються двома овальними шестернями, що обертаються у вимірювальній камері під дією різниці тисків рідини у вхідному і вихідному патрубках лічильника. Обертання шестерень через передавальний механізм і магнітну муфту або через систему зубчастих коліс передається на роликівий і стрілочний показчик.

Кожен лічильник призначається для вимірювання тільки якогонебудь одного виду рідини або групи рідин, подібних по в'язкості або по дії, що руйнує матеріали деталей лічильника. Найменування виду рідин нанесено на маркувальну табличку лічильника.

У більшості випадків при проведенні короточасних випробувань машин із двигунами внутрішнього згорання витрата палива вимірюється за допомогою градуйованих мірних бачків, у які паливо надходить з основного бака машини.

2.6. Вимірювання деформацій і напружень

Існує кілька експериментальних методів вимірювання напружень і деформацій, з яких найбільше застосування мають: тензометричний, рентгенографічний, метод крихких покриттів і ділильних сіток.

Тензометричний метод полягає в безпосередньому вимірі деформацій на поверхнях деталей і елементів конструкцій за допомогою механічних, оптичних, дзеркальних, струнних, пневматичних і дрових тензометрів.

Найбільш універсальним є електротензометрування з застосуванням дрових датчиків омичного опору.

Рентгенографічний метод заснований на порівнянні рентгенограм недеформованого і деформованого матеріалу деталі. Деформації викликають перекичування кристалічних ґрат матеріалу, що



змінюють дифракційну картину рентгенограм.

Рентгенографічний метод є досить чутливим і застосовується для виміру залишкових напружень на малих ділянках (порядку 1...3 мм). За допомогою рентгенограми можна визначати залишкові напруження в зварних з'єднаннях, ступінь і характер деформацій і напруг у наклепаних зонах і місцях зварювання, напруження концентрації і т.п.

До недоліків цього методу, що зменшує його застосування, варто віднести мінливість параметрів кристалічних ґрат для еталона, вплив температурних змін кристалічних ґрат, вплив стану (чистоти обробки) поверхні зразка і неоднорідності структури матеріалу досліджуваних деталей.

При використанні рентгенографічного методу вирішується лише плоска задача при фактичному об'ємному напруженому стані.

Метод крихких або лакових покриттів полягає в тому, що на поверхню досліджуваної деталі наноситься тонка плівка спеціального лаку, що при зростанні відносних деформацій до визначеної межі тріскається. Послідовність появи тріщин відповідає напруженому станові випробуваної деталі. Насамперед тріщини з'являються в найбільш напружених місцях. Напрямок тріщин перпендикулярно напрямкові ізостат-кривих ліній, дотичні до яких у кожній даній точці збігаються з напрямком головних напружень. Таким чином, тріщини розташовуються перпендикулярно напрямкові найбільшого головного напруження. Місце і напрямок перших тріщин у лакових покриттях, як правило, збігаються з напрямком майбутніх тріщин, що з'являються в зв'язку з втомлювальними явищами при експлуатації деталі.

Основні переваги методу крихких покриттів полягають в одержанні повної картини розподілу найбільших головних напружень і деформацій по всій поверхні деталі, виявленні зон концентрації напруг і місць ймовірної появи тріщин в експлуатаційних умовах, а також у його простоті.

Метод ділильних сіток полягає в тім, що на поверхню досліджуваної деталі наносять сітки визначеної форми і розмірів (прямокутні, круглі й ін.). При навантаженні деталі волокна її деформуються, осередки сітки змінюються за формою і розмірами.

Відстань між лініями окремих осередків складає від 0,25 до 2 мм і більше. При таких порівняно малих базах можна робити дослі-



дження місць з великим градієнтом виміру напружень, наприклад, у зонах концентрації. Цей спосіб дозволяє досліджувати напруги при великих деформаціях, а також в умовах динамічних навантажень і високих температур.

Основним недоліком способу ділильних сіток є недостатня точність виміру деформацій (до $\pm 6\%$), особливо при малій площі нанесення сітки і деформаціях менше 5%.

Метод ділильних сіток в основному застосовується для вивчення деформацій у деталях, виготовлених з матеріалу з низьким модулем пружності (гума й ін.).

У дослідженнях, зв'язаних з вимірами деформацій і напружень при випробуваннях дорожньо-будівельних машин і устаткування, основним методом є електротензометрування.

Метод ділильних сіток і лакових покриттів може застосовуватися при дослідженні напружень лише на поверхні елементів конструкцій і деталей машин.

Вимірювання зносів. Оцінку зносів у процесі випробувань роблять: 1) за даними мікрометражу; 2) за допомогою зважування деталей; 3) по зміні вихідних параметрів, що визначають заданий рівень працездатності машини або її вузлів; 4) по кількості продуктів зносу, що попадають у змащувальне середовище.

Мікрометраж або обмір деталей - найбільш розповсюджений засіб визначення зносу. Знос визначають різницею первинного розміру деталі і її розміру після закінчення випробувань. Первинний розмір деталей встановлюється обмірюванням перед зборкою машини або вузла.

Якщо обмір деталей до їхньої зборки зроблений не був, то первинний розмір може бути визначений по кресленнях з урахуванням середнього допуску. Іноді первинний розмір може бути встановлений по незношених частинах деталі.

У випадках складної конфігурації деталей зноси можуть бути визначені за допомогою шаблонів.

Зважування має звичайно допоміжне значення і застосовується додатково до мікрометражу, тому що при цьому можна судити про знос інтегрально, без відношення до його характеру.

Оцінка зносів по зміні вихідних параметрів застосовується в тих випадках, коли мікрометраж не дає досить точних результатів. Так, наприклад, ступінь зносу прецизійних пар деталей паливних насосів



двигунів оцінюється по зміні коефіцієнта подачі до і після тестів на стенді.

Вимірювання зносів по кількості продуктів зносу, що попадають у середовище, що змазує, одержало найбільше поширення при випробуваннях двигунів.

При збільшенні зносу деталей двигуна концентрація металу в оливі збільшується. Піддаючи проби оливи аналізу, по ступені концентрації продуктів зносу можна судити про сумарний знос деталей і його інтенсивності.

Спосіб вимірювання зносів за допомогою радіоактивних ізотопів полягає в тому, що в матеріал деталі шляхом спеціальної її обробки вводять радіоактивні ізотопи. В міру зношування деталі ці ізотопи попадають у оливу, де і виявляються за допомогою радіометричної апаратури.

Відносна складність первинної підготовки деталей і жорсткі вимоги техніки безпеки обмежують широке застосування цього методу.

При випробуваннях машин знаходить широке застосування для визначення зносу так званий метод ямок. При вимірі зносів цим методом на досліджуваній деталі вирізують довгасті або конусні ямки. В міру зносу деталі розміри ямок зменшуються. При використанні для виміру ямок мікроскопів з окуляром-крометром цей метод оцінки зносу дає досить високу точність.

2.7. Обробка результатів вимірювань та оцінка їхньої точності

Ніякі вимірювання не можуть бути виконані абсолютно точно, отриманий результат завжди містить деяку похибку. Розрізняють систематичні, випадкові і грубі похибки. *Систематичними* називають похибки, які залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини (наслідок робіт з несправними приладами, застосування неточних методів вимірювань, інші недогляди дослідника). Такі похибки частіше всього характеризуються постійністю знака, тобто зменшують або збільшують результат. Виявити і знешкодити систематичну похибку буває нелегко. Для їхнього виключення користуються наступними правилами. При проведенні експерименту необхідно використовувати тільки засоби вимірювань, що пройшли метрологічний контроль (перевірку). Бажано також, щоб вимірювання однієї і тієї ж ве-



личини дублювалися застосуванням різних засобів вимірювань. При частих експериментальних дослідженнях необхідне контрольне та-рування вимірювальних засобів. При визначенні величини за ре-зультатами непрямих вимірювань доцільно змінити метод їхнього обчислення. Бажаємо, щоб обробка результатів обчислень проводи-лася паралельно працюючими дослідниками незалежно один від іншого. Якщо систематичні помилки викликані такими причинами, то їх можна визначити, а похибку усунути введенням відповідних виправлень.

Випадковими називають похибки, які при повторних вимірю-ваннях однієї і тієї ж величини змінюються випадковий чином. Во-ни викликаються різними об'єктивними і суб'єктивними причинами.

При багаторазових визначеннях якої-небудь величини для тих самих умов можуть зустрічатися результати, які значно відрізня-ються від інших тієї ж серії, тобто *грубі* похибки. Вони частенько викликані неухважністю експериментатора і повинні бути обов'язко-во виключені. Відомі різні методи виключення грубих похибок. Грубі похибки за критерієм максимального відхилення виключають наступним чином: по отриманих дослідних даних знаходять середнє арифметичне значення величини і її середньоквадратичне відхилен-ня. Для сумнівного результату y_k знаходять відносне відхилення:

$$G_p = \frac{(y_k - \bar{y})}{\left(\sigma \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n}} \right)}, \quad (2.1)$$

де n - число дослідів.

Якщо абсолютне значення величини G_p , перевищує табличне значення G_m для обраного рівня надійності і числа степенів вільно-сті $\varphi=n-2$, то даний результат є грубою помилкою і його необхідно при наступній обробці дослідних даних виключити. Значення G_m наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Число степе-нів вільності	Рівень надійності		Число степенів вільності	Рівень надійності	
	0,99	0,95		0,99	0,95
1	2	3	4	5	6
1	1,414	1,412	13	2,8	2,493
2	1,723	1,689	14	2,837	2,523
3	1,955	1,809	15	2,871	2,551



4	2,13	1,996	16	2,903	2,557
5	2,565	2,093	17	2,932	2,6

продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
6	2,374	2,172	18	2,959	2,623
7	2,464	2,237	19	2,984	2,644
1	2	3	4	5	6
8	2,54	2,299	20	3,008	2,644
9	2,606	2,343	21	3,03	3,683
10	2,663	2,387	22	3,051	2,701
11	2,714	2,426	23	3,071	2,717
12	2,759	2,461			

Тема 3. Експлуатаційні і лабораторні випробування

3.1. Загальні технічні умови експлуатаційних випробувань

При проведенні експлуатаційних випробувань ряду машин для одержання порівняльних результатів необхідно випробування проводити у визначених умовах.

Особливе значення це положення придбало за останні роки при вирішенні проблеми спеціалізації випуску продукції і забезпечення взаємних постачань, поліпшення якості продукції, що випускається, і доведення випуску машин до світових стандартів.

Виходячи з основних вимог, пропонованих до експлуатаційних випробувань машин, загальні технічні умови їх проведення можуть бути зведені до наступного:

- мінімальна тривалість роботи машини протягом експлуатаційно-робочих випробувань залежить від призначення і роду машини і визначається потужністю її привода (див.табл.3.1).

Таблиця 3.1

Потужність двигуна, кВт	До3	3-20	21-100	Вище 100
Мінімальне число годин роботи під час випробувань	200	300	500	700

- під час випробування машина повинна працювати в різних виробничих умовах (більш 20% загального часу випробування у важких експлуатаційних умовах і менш 20% часу в легких експлуатаційних умовах).

Якщо тривалість трудомісних аварійних ремонтів перевищить



50% чи час трудомісних планово-попереджувальних ремонтів, випробування припиняються.

Якщо для самохідних машин на пневмоколісних шасі, передбачене пересування з об'єкта на об'єкт на значні відстані, то вони піддаються дорожнім випробуванням для оцінки їхньої придатності для цих цілей.

Загальний пробіг при дорожніх випробуваннях встановлюють у залежності від типу машини згідно табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Група машин	Загальний пробіг дорожніх дослідів, км
Причепи і інші транспортуючі засоби транспорту призначені для перевезення машин, обладнання та будівельних елементів	10000
Самохідні машини, що переміщуються на великі відстані	1000
Причіпні машини на колесах	300
Самохідні машини, що переміщуються на короткі відстані зі швидкістю до 10 км/год	100

Під час випробувань машин звичайно визначають:

- середню експлуатаційну продуктивність (продуктивність на початку та в кінці випробування повинна бути однаковою);
- придатність машини для виконання окремих робіт зазначених у робочих програмах, в залежності від призначення машини;
- придатність машини для роботи в різних кліматичних умовах;
- витрата електроенергії і експлуатаційних матеріалів;
- опір машини випадковим навантаженням (удар робочого устаткування, раптові нахили при роботі і транспортування, падіння з невеликої висоти легких машин, закупорка трубопроводів в насосах для розчинів та бетонної суміші, заклинювання робочого органа у твердих породах, несподівані різкі навантаження і т.д.);
- стійкість машини при динамічних і статичних навантаженнях, що перевищують номінальні, причому для машин, що пересуваються на колесах чи гусеницях, приймають орієнтовне навантаження більше номінальних на 15% для динамічних навантажень і на 25% - для статичних (для вантажопідйомних машин повинні застосовува-



тися норми і правила випробувань технічного нагляду);

- стійкість на похилах ґрунту, збільшених на 20% стосовно укосів, зазначених у технічній характеристиці (для машин, призначених для роботи в горизонтальній площині, приймається припустиме перевищення укосу 2-3%);

- вплив конструкції машини на умови роботи обслуговуючих її робітників, а саме:

- розташування робочого місця при обслуговуванні машини (можливість вільного руху, освітлення, оглядовість);

- вентиляцію і температуру робочого місця машиніста, при різних зовнішніх умовах;

- шумові показники;

- час, необхідний для підготовки машини до роботи в літній і зимовий періоди, а також умови обслуговування машини в процесі роботи;

- зусилля на важелях при керуванні машиною;

- вібрація на робочому місці;

- дотримання інших правил по охороні праці і техніці безпеки;

- відповідність конструкції машини іншим правилам, обов'язковим у країні, у якій експлуатується машина (правила технічного нагляду, електроенергетичні, дорожнього і залізничного руху і т.п.);

- затрати праці на ремонт і технічне обслуговування машини;

- якість розробленої для машини технічної й експлуатаційної документації;

- придатність машини для роботи у будівництві в порівнянні з іншими машинами чи іншими методами виконання робіт з урахуванням новітніх досягнень передової техніки в цій області;

- транспортабельність машини;

- металоемність і енергоемність машини.

3.2. Методи проведення випробувань

Експлуатаційні випробування машин проводяться відповідно до Державних стандартів України (ДСТУ). ДСТУ на випробування будівельної техніки в даний час існують для порівняно невеликого класу машин. Ті машини, для яких ДСТУ не існує, випробовують відповідно до методик організацій, на які покладене проведення випробувань, затвердженими відповідними міністерствами.

Згідно діючими ДСТУ і затвердженим методикам, експлуатаційні випробування проводяться з застосуванням технології й орга-



нізації робіт, передбачених у будівництві для роботи даного типу машин.

Випробування машин проводяться в тих кліматичних умовах, у ті часи року і на тих видах робіт, для яких вони призначаються.

Обсяг випробувань містить у собі: технічну експертизу (перевірку технічної характеристики і наявності документації, розміри й основні конструктивні параметри машини, робочу документацію, технічний паспорт, заводську інструкцій т.д.

Форма й обсяг експертизи встановлюється перед випробуванням.

Лабораторні і польові дослідження охоплюють перевірку експлуатаційних параметрів машини а саме;

- визначення радіуса дії машини і робочого органу;
- перевірку геометричних розмірів машини;
- перевірку стійкості і припустимих перевантажень;
- перевірку короткочасної, нормальної і максимальної потужності, що розвивається двигуном;
- визначення продуктивності (нормальної, максимальної);
- перевірку допустимих перевантажень машин і обладнання;
- визначення навантажень, що виникають в елементах машини;
- контроль якості їхнього виготовлення і т.д.

Експлуатаційно-робочі дослідження на надійність охоплюють випробування машин в умовах експлуатації. Вони можуть проводитися як безпосередньо в виробничих умовах, так і на спеціальних іспитових полігонах. Для скорочення періоду випробувань машин їх можна проводити і на спеціальних стендах. Такий вид випробувань отримав назву стендовий.

Але обмежуватися одними стендовими випробуваннями, як показала світова практика, не можна, тому що вони не можуть повною мірою об'єктивно визначити експлуатаційні якості машини.

Полігонні і стендові випробування повинні доповнюватися випробуваннями машини безпосередньо на будівельних об'єктах.

Висновок, що складається на підставі проведених досліджень, охоплює всі три етапи випробувань. Крім контролю в лабораторних і експлуатаційних умовах, експлуатаційних параметрів і їхньої відповідності технічній характеристиці, висновок включає визначення ступеня зносу окремих деталей і вузлів машини.

Експлуатаційні випробування не вичерпують усієї проблеми до-



слідження машини в процесі її створення та експлуатації.

У період проектування і виготовлення машини заводиробники, конструкторські і науково-дослідні організації проводять випробування прототипів машини, їхніх вузлів і агрегатів з метою перевірки і вибору правильних конструктивних рішень, підбора матеріалів, технології виготовлення деталей.

Ретельно проведені випробування в період створення машин знижують трудомісткість експлуатаційних випробувань і сприяють підвищенню довговічності і збільшенню експлуатаційної надійності машини.

При проведенні порівняльних випробувань випробують не менш трьох зразків нових чи модернізованих машин однієї моделі і для порівняння один чи три краще виготовлених вітчизняних чи закордонних зразків.

З трьох зразків нового типу машин один піддається лабораторно-польовим випробуванням, а два експлуатаційно-робочим дослідженням.

Після закінчення лабораторно-польових випробувань машина піддається ретельному огляду і направляється на подальші випробування в експлуатаційних умовах.

Випробування машин проводять на паливах і змащеннях, установлених відповідними стандартами чи технічними умовами.

Під час випробування технічний нагляд за машинами проводять по інструкціях підприємств-виробників.

Прилади й устаткування, застосовувані при випробуваннях, та-рують до і після випробувань.

Результати вимірів і спостережень при випробуваннях заносять в журнали і відомості, а результати обробки оформляються у виді графіків, таблиць і фотографій.

Звичайно з машинами, які підлягають випробування, підприємством-виробником представляється наступна документація:

- інструкція з експлуатації;
- технічна характеристика;
- повний комплект креслень і специфікація деталей;
- паспорт машини;
- дані первинного мікрометражу, основних деталей і вузлів;
- протокол регулювань, проведених перед відправленням машини на випробування;



- відомість прикладених запчастин і інструмента;
- протокол затвердження технічного завдання і саме завдання;
- протокол заводських випробувань;
- акт приймання ВТК підприємства-виробника.

3.3. Технічна експертиза

Технічна експертиза проводиться з метою перевірки й уточнення технічної документації, що представляється заводом, вказівок і інструкцій з експлуатації, розбирання і збирання машини і її агрегатів.

Основною задачею технічної експертизи є оцінка якості виготовлення і зборки машин і встановлення придатності деталей і вузлів машини до тривалої експлуатації.

При проведенні технічної експертизи спеціальному контролю піддаються питання зв'язані з установленням відповідної зносостійкості деталей, їхній гарантійний термін служби, зі зміною технічного стану вузлів і деталей з встановленням причин аварій, поломок, передчасних зносів деталей і інших дефектів. Встановлюється ступінь збереження первинних регулювань, зручність їхнього проведення, можливість розбирання і збирання окремих механізмів вузлів і машини в цілому.

Крім того, у завдання технічної експертизи входить оцінка ремонтної технології, ремонтоздатності деталей, вузлів машин, достатність і відповідність комплекту запасних частин експлуатаційним вимогам.

У процесі проведення випробувань встановлюють достатність, довговічність і відповідність індивідуального комплекту та інструмента і пристосувань для проведення операцій технічного обслуговування при експлуатації машин.

Технічну експертизу проводять у три етапи. Звичайно її підрозділяють на первинну, поточну і заключну.

Первинна технічна експертиза проводиться в період приймання й обкатування машини.

Основними елементами первинної експертизи є мікрометраж деталей, оцінка зовнішнього вигляду, визначення високих конструктивних параметрів, фотографування і складання технічної характеристики і кінематичної схеми машин.

Звичайно мікрометраж деталей роблять на заводі перед навантаженням машини. Результати вимірів основних розмірів деталі за-



носять у спеціальну відомість, що є первинним документом, на підставі якого, при заключній стадії експертизи, встановлюється ступінь зношування деталей за період випробувань.

Виявлення дефектів зовнішнього вигляду машини і допущених виробником при зборці машини відхилень від оптимальних величин регулювань проводиться в період обкатування машини в порядку виконання заходів технічного обслуговування.

Поточна технічна експертиза проводиться протягом періоду експлуатаційних випробувань і містить у собі рішення питань, зв'язаних з виконанням операцій по технічному обслуговуванню і виявленню причин поломок і дефектів, що виникають у процесі випробувань.

Експерти, що беруть участь в випробуваннях, при виконанні технічних робіт складають технічні огляди деталей та вузлів, що вийшли з ладу, роблять оцінку конструктивних рішень вузлів і агрегатів машини, зручності їхнього збирання і розбирання, вивчають надійність з'єднань вузлів і деталей.

Після закінчення експлуатаційних випробувань шляхом детального розбирання машин проводиться заключна частина технічної експертизи.

При проведенні заключної експертизи встановлюють розміри зносів і оцінюють зносостійкість деталей, описують стан деталей і вузлів машини після закінчення випробувань, встановлюють причини несправностей чи зносу пошкоджень, роблять остаточну оцінку зручності і трудоемкості розбирання і зборки машини і її вузлів, взаємозаміни її деталей, вузлів і агрегатів.

При необхідності проводять більш ретельні лабораторні дослідження шляхом металографії, рентгеноскопії.

На закінчення дається остаточна оцінка конструкції та якості виготовлення вузлів, агрегатів та деталей машини.

Технічна документація оглядів при перевірочній експертизі на будь-якій її стадії складається по встановленні формі у виді актів, що містять у собі фотокартки, опис дефекту, металографічні дослідження, мікрометраж та інші матеріали.

Зносостійкість деталей і відповідність термінів їх служби гарантійним і міжремонтним термінам встановлюється залежно від огляду, обмірювання і зіставлення одержуваних результатів даними заводо-виробника по допустимим зносам і вибракувальним показни-



Ремонтоздатність оцінюється по трудомісткості операції і кількості верстатного устаткування, необхідного для ремонту і ступеня уніфікації вузлів, агрегатів і деталей з іншими машинами, що випускаються промисловістю.

Достатність вказівок у заводських інструкціях оцінюється по ступені їхньої ясності, щоб, користуючись ними, обслуговуючий персонал не мав потреби в додаткових роз'ясненнях.

3.4. Системний аналіз ефективності функціонування машин і обладнання при випробуваннях.

Для вирішення науково-технічних задач при випробуваннях будівельної техніки доцільно використовувати системні методи випробувань, які включають такі елементи, як ієрархія цілей і показників функціонування, оцінка процесів функціонування на множині умов, вивчення ступені оптимальності параметру і типу машин і прогнозування можливої їх ефективності в перспективі.

Методичною основою удосконалення технічного, інженерного, екологічного, експлуатаційно-технологічного аналізу процесів є методи теорії масового обслуговування, а також сучасні методи експериментальної ідентифікації, основу яких складають прийоми математичної статистики, методи планування експериментів та інші.

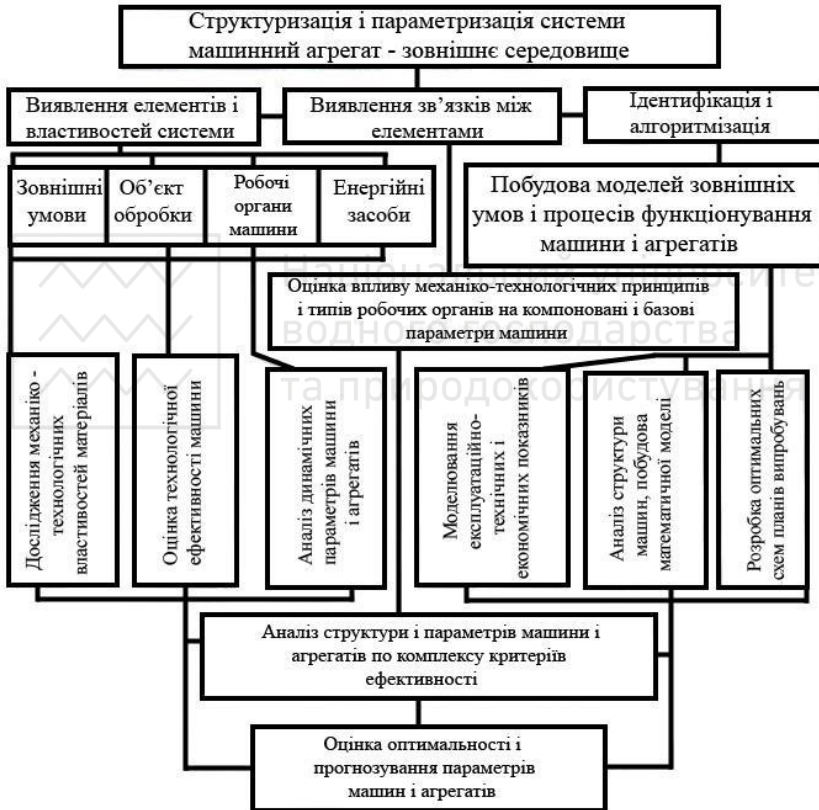
Системний аналіз ефективності функціонування машин, обладнання, механізмів, які взаємодіють з оброблюваними матеріалами, людьми, навколишнім середовищем, при випробуванні їх як органічно-цілісних систем передбачає заміну інтуїтивно-імпіричних підходів формалізованими методами, які дозволяють виділити взаємодію елементарних структур (підсистеми) об'єкта (етап структуризації), оцінити їх властивості і параметри (етап параметризації), встановити залежності між параметрами підсистем і діючими зовнішніми і внутрішніми факторами (етап ідентифікації), а потім здійснити дослідження системи відомими методами аналізу і синтезу (табл. 3.3).

При такому аналізі важливо встановити раціональний рівень системного розгляду об'єкту у відповідність з його ієрархією, апріорною інформацією і поставленими задачами. Виходячи із структури технологічних і виробничих будівельних процесів і об'єктів рекомендують виділяти три основних рівня їх розгляду:



1. Мікрорівень, характерний для систем типу робочий орган - перероблювальний матеріал; людина - обладнання життєдіяльності: механізм - машина, в якій вивчається взаємодія робочих органів з оброблювальним матеріалом і зовнішнім середовищем, зміна окремих властивостей матеріалу під впливом середовища перебування, взаємодія механізмів і елементів обладнання.

Таблиця 3.3



2. Макрорівень - для систем, у яких в якості підсистем можуть бути об'єкти низького рівня або їх крупні об'єднання: машина - зовнішнє середовище або комплекс машин-зовнішнє середовище та ін.

3. Мегарівень - для систем типу комплекси машин - зовнішнє середовище, будівельне підприємство або об'єднання, які діють в



районі, зоні або регіоні і ефективність яких визначається об'ємом виробництва і економічними критеріями. Для мікрорівня застосовують різні технологічні, кінематичні, енергосилові і інші характеристики, а оператор відображає головним чином динамічні співвідношення входу-виходу.

При оцінці ефективності функціонування системи двох вищих рівнів в якості головних використовуються такі критерії ефективності, як продуктивність машин, укрупнені технологічні показники якості, вартість виробленого продукту. При цьому оператор системи описується в основному статистичними характеристиками.

Таким чином, при випробуваннях і дослідженнях в найбільш загальному випадку необхідно забезпечити теоретичну і методичну основу для вирішень двох головних задач: задачі об'єктивного аналізу на множенні зовнішніх умов результатів функціонування машин і комплексів при заданих значеннях їх параметрів (пряма задача) і задачі синтезу, направленої на уточнення або визначення оптимальних значень параметрів, режимів і умов використання нових типів машин (зворотня задача).

Основними етапами при вирішенні задач аналізу і синтезу є: точне формування мети і організаційно-виробничих умов функціонування машин, обґрунтування і вибір критеріїв і показників ефективності, складання план-схеми випробувань, яка враховує особливості розглядаємої системи, побудови математичної моделі системи і процесів її функціонування, проведення натурних лабораторних і експлуатаційних випробувань, уточнення математичної моделі, оцінка показників ефективності і більш широке їх вивчення методом моделювання на ПЕОМ, аналіз результатів і прийняття рішення.

При оцінці технологічних і експлуатаційно-технічних властивостей сучасних конструкцій машин і машинних агрегатів в процесі випробувань в якості основного використовується метод, який поєднує експериментальні і теоретичні прийоми з математичним моделюванням. Так як випробування є невід'ємним і результативним станом конструктивної доводки нової техніки, то більш ефективні результати отримують тоді, коли аналітична оцінка характеристик машин і показників їх роботи уточнюються дослідним шляхом, а експериментальні дані аналізуються і узагальнюються на базі теоретичних положень відповідних наукових дисциплін.

3.5. Характеристика зовнішніх дій та умов при випробуваннях.



Сучасні дорожньо-будівельні машини і агрегати експлуатуються в складних умовах, які характеризуються широким діапазоном режимів роботи, температури, тиску, вологості, безперервним зростанням навантажень, швидкостей і тривалості експлуатації. При конструюванні сучасних машин і агрегатів необхідно чітко уявляти основні фактори, які діють на них в процесі експлуатації.

Ці відомості необхідні для моделювання зовнішніх впливів як в процесі створення нових машин, так і при оцінці їх якості.

Задача випробувачів техніки полягає в тому, щоб максимально наблизити умови випробувань до екстремальних умов експлуатації і якісно визначити зміну в цих умовах основних властивостей, функцій і характеристик машин.

Види діючих факторів і їх значення в залежності від умов експлуатації машин встановлюються в стандартах і технічних умовах, а для новостворених машин - в технічних завданнях на їх розробку.

Основні діючі фактори приведені в табл. 3.4. Велике значення на показники роботи мобільних агрегатів здійснюють такі фактори природно-виробничих і метеокліматичних умов, як фізичний склад ґрунту і оброблюємих мас, мікро- і макрорельєф ґрунтів, їх розміри, відстані перевезення продукції і т. інше.

Таблиця 3.4



Статистичний аналіз вказаних факторів може бути здійснений на прикладі окремих типових районів і областей ґрунтово-кліматичних умов на основі багаторічного збирання матеріалів і проведення спеціальних досліджень.

Враховуючи великий об'єм необхідних даних і місце визначення різних показників доцільно планувати методом випадкових випробувань, використовуючи таблицю випадкових чисел з охопленням типових умов та їх крайніх (екстремальних) відхилень.

В якості методичної основи при дослідженні багатьох характеристик зовнішніх умов доцільно використовувати теорію випадкових функцій.

Показники, які характеризують ґрунтові умови, окрім регулярних (умовних) добових і річних (сезонних) коливань, випробовують на коливання випадкових періодів в силу вірогідності природи дії крупномасштабних факторів. Цьому часові середні значення цих характеристик як правило залежать від еволюції рівня, що суттєво ускладнює їх статистичний аналіз і врахування при експериментах.

Тема 4. Польові і пересувні вимірювальні лабораторії

4.1. Класифікація польового вимірювального устаткування



При проведенні випробувань дорожніх машин у польових умовах виникає необхідність у доставці і розміщенні вимірювальної апаратури в безпосередній близькості від випробовуваних об'єктів. Це, звичайно, здійснюється за допомогою пересувних вимірювальних лабораторій.

У залежності від виду вимірювального устаткування й умов випробувань можливі три схеми організації робіт з реєстрації вимірів параметрів, що характеризують технічний стан і працездатність машин, робочі процеси яких зв'язані з переміщеннями.

1. Вимірювальну апаратуру монтують безпосередньо на об'єктах випробувань або на причепі, жорстко з'єднаному з ним (перед, позаду або поруч).

2. Вимірювальну апаратуру розташовують стаціонарно і з'єднують з датчиками, розташованими на об'єкті випробувань, за допомогою екранізованих багатопровідних кабелів.

3. Вимірювальну апаратуру і прилади розміщують на окремій машині, що пересувається паралельно об'єкту випробувань.

При першій схемі організації робіт застосовують пересувні лабораторії на базі причепів автомобілів і тракторів різної вантажопідйомності, у кузовах яких розміщається переносне устаткування і пристосування для установки вимірювальних приладів і устаткування безпосередньо на випробовуваному об'єкті,

Розміщення апаратури безпосередньо на випробовуваному об'єкті зв'язано з рядом труднощів, тому що звичайно конструкції дорожньо-будівельних машин не дозволяють розмістити складну підсилювальну апаратуру і апаратуру, що реєструє. У деяких випадках ускладнене живлення її електричним струмом. Виникаючі при роботі машин вібрації, ударні навантаження й інші причини також ускладнюють можливість застосування звичайних приладів і вимірювального устаткування. Ця схема організації робіт і розміщення устаткування знаходить застосування тільки в тому випадку, якщо інші способи менш ефективні.

При другій схемі організації робіт використовують автомобільні, тракторні причепи, а також автомобілі загального призначення, оснащені кузовами. У них розміщається стаціонарно вимірювальне устаткування. Недоліком цієї схеми організації робіт є те, що вимірювальна лабораторія повинна мати складну систему намотування і розмотування екранованих багатопровідних кабелів значної довжи-



При третій схемі організації робіт вимірювальне устаткування розміщується в кузові автомобілів загального призначення і з'єднується з датчиками, установлюваними на випробовуваному об'єкті за допомогою кабелів порівняно невеликої довжини. Основним недоліком розміщення апаратури в кузовах автомобілів загального призначення є те, що їхні тягово-зчіпні властивості не дозволяють використовувати пересувні вимірювальні лабораторії для роботи в польових умовах протягом усього року й обмежена можливість застосування їх як завантажувальних пристрій при проведенні тягових іспитів. Іншим істотним недоліком самохідних лабораторій на автомобілях загального призначення є те, що вони комплектуються випадковим набором приладів і вимірювального устаткування, їхні електричні схеми вимірів розробляються для проведення визначених видів випробувань. У разі потреби проведення інших досліджень і випробувань потрібний значний час на їхнє переустаткування і затрачається багато часу на зміну електричної схеми. У ряді випадків апаратура і прилади розміщаються в малопридатних і незручних для роботи в польових умовах кузовах автомобілів.

4.2. Динамометричні вимірювальні лабораторії

Досвід використання самохідних лабораторій на автомобілях загального призначення і значно зрослий обсяг випробувань машин у польових умовах привів до необхідності створення спеціалізованих самохідних лабораторій для комплексних випробувань. До спеціалізованих пересувних польових динамометричних лабораторій пред'являють наступні основні вимоги: 1) лабораторія повинна монтуватися на шасі, обладнане пневматичними шинами для того, щоб можна було проводити тести дорожніх машин на будь-яких поверхнях (трав'яному покриві, глинистій, піщаній, бетонній доріжці і т.д.); 2) вона повинна забезпечувати тяговий опір на гаку випробовуваної машини від нуля до максимально необхідного; 3) мати привод на всі осі для більш рівномірного розподілу навантажень; 4) гальмовий пристрій повинний забезпечувати необхідні ступені завантаження і необхідний тяговий опір на всьому діапазоні швидкості руху випробовуваних машин для виявлення їхніх показників; 5) органи керування гальмовим пристроєм повинні бути розміщені в кабіні водія, в оператора повинне бути дублерне керування; 6) динамометрична лабораторія повинна обладнатися вимірювальною й



апаратуру, що реєструє.

На даний час створений ряд спеціалізованих динамометричних самохідних лабораторій, розрахованих на створення гальмових зусиль 3...30 тс.

При гальмовому режимі випробовувана машина тягне динамометричну лабораторію і надає рух валові тягового електродвигуна, що у цьому випадку працює в режимі генератора. Енергія, вироблена електродвигуном, поглинається навантажувальними опорами. Виникаючий при цьому гальмовий момент створює гальмове зусилля на гаку випробовуваного об'єкта. Величина гальмового зусилля встановлюється переключенням ступеней навантажувальних опорів і плавно регулюється в цій зоні потенціометром. Додаткове регулювання може бути здійснене зміною числа оборотів дизельного двигуна, тому що при цьому змінюється напруга в обмотці збудження за рахунок відповідної зміни числа оборотів якоря.

Динамометричні лабораторії забезпечуються задніми і передніми буксирними пристроями. Передній призначається для передачі тягового опору динамометричної лабораторії через трос і тензометричну ланку до причіпної скоби випробовуваної машини. Задній буксирний пристрій служить для визначення втрат на перекочування машин методом протягання.

З огляду на те, що тягові випробування займають значне місце в обсязі випробувань дорожніх машин у польових умовах і проведення їх є досить тривалим і трудомістким процесом, вимірювальна апаратура динамометричних пересувних лабораторій звичайно виконується швидкодіючою.

Перші екземпляри динамометричних лабораторій оснащувалися комплектом вимірювальних приладів загального призначення, а керування ними здійснювалося з пульта, електрична схема якого забезпечувала одночасне включення і вимикання всіх датчиків, а також автоматичне наповнення мірного бака. Однак після тягових випробувань процес обробки експериментальних даних, одержуваних у виді діаграм або осцилограм, займав багато часу. Крім того, експериментатор, користуючись цією апаратурою, не міг контролювати одержувані дані під час дослідів, що в деяких випадках приводило до необхідності їхнього повторення.

Наступні конструкції динамометричних лабораторій стали оснащувати напівавтоматичною апаратурою, що дає можливість

одержувати при випробуваннях машин вимірювані величини в цифровому виді й у заданій розмірності. При цьому вимірювана величина перетвориться в імпульси електричних сигналів, а час досліджу залишається постійним. Сигнали, що надходять від датчиків, фіксуються електронними лічильниками на декатронах.

Вимір стискаючих зусиль проводиться за допомогою тягових тензометричних ланок з різними межами виміру. Від тягової тензометричної ланки сигнал надходить на підсилювач, а потім на інтегруючий мотор, на якому встановлений фотоелектричний датчик обертів. Частота імпульсів, видаваних фотоелектричним датчиком, пропорційна вимірюваному стискаючому зусиллю.

Вимір витрати палива проводиться паливомірним пристроєм, що включає в себе поршневі витратоміри на різні межі виміру. Вимір швидкості здійснюється за допомогою колієвимірювального колеса, на якому встановлений безконтактний датчик, а вимір числа обертів колінчатого вала двигуна - за допомогою генераторного датчика.

Відключення всіх датчиків після закінчення 20 с. відбувається автоматично, і на електронних лічильниках відразу ж після досліджу фіксуються середні значення вимірюваних величин.

Для виміру температури води, олії, палива і повітря в лабораторії встановлений електричний термометр, що дозволяє робити вимір в 8 точках.

У комплект апаратури, встановлюваної в динамометричні лабораторії, крім напівавтоматичної вимірювальної апаратури, входять додатковий пульт з підсилювачем і осцилографом і комплект різних датчиків, призначених для розширення можливого застосування лабораторії. У зв'язку з тим, що тягові тензометричні ланки і витратоміри палива мають різні межі виміру, створена апаратура є універсальною і може встановлюватися в динамометричні лабораторії, призначені для випробувань дорожніх машин, що відрізняються по потужності.

Принцип роботи пристрою лабораторії, що реєструє, видно із блок-схеми, приведеної на рис. 4.1. Пристрій, що реєструє, одержує інформацію в імпульсній формі від п'яти датчиків: *часу 1*, *стискаючого зусилля 2*, *обертів двигуна 3*, *витрати палива 4* і *швидкості 5*. Кожен параметр, крім часу, характеризується зміною частоти імпульсів від нуля до максимальної, заздалегідь заданої. Максимальна



частота імпульсів відповідає максимальному значенню вимірюваного параметра. Від датчиків сигнали надходять на вхідні пристрої, а потім на ключі $K1-K6$. Ключі керуються електронним реле 6 і 7. У вихідному стані з електронного реле 6 на ключі $K1-K4$, $K6$ із реле 7 на ключ $K5$ подається низький потенціал напруги, при якому ключі закриті. При пуску реле 6 і 7 подають сигнал з великим потенціалом, відкриваючи ключі $K1 - K4$, через відкриті ключі імпульсні сигнали від вхідних пристроїв надходять на лічильники. Через 20 с., коли на рахунковій декаді 6 буде зареєстрований тисячний імпульс (частота датчика часу 50 $гц$), з виходу рахункової декади 6 на електронне реле 6 подається імпульс, що зупиняє, реле спрацьовує і на його виході з'являється низький потенціал. Ключі замикаються і рахункові декади 1 – 4 і 6 припиняють рахунок. Імпульс, що зупиняє, на електронне реле 7 подається від рахункової декади 2 у момент реєстрації тисячного імпульсу від початку рахунка імпульсів, що надходять від датчика обертів двигуна.

На об'єкті випробувань може бути встановлено два комплекти датчиків: основний комплект - для зняття тягової характеристики самохідних машин і додатковий - для виміру інших параметрів, які необхідно буває вимірювати при випробуваннях. В основний комплект входять тягові тензOMETричні ланки, витратоміри палива, датчики для виміру числа оборотів двигуна і теплового стану вузлів машини і колієвимірювальне колесо, а також головні телефони для зв'язку оператора з водієм. Усі датчики основного комплекту приєднані до сполучної коробки.

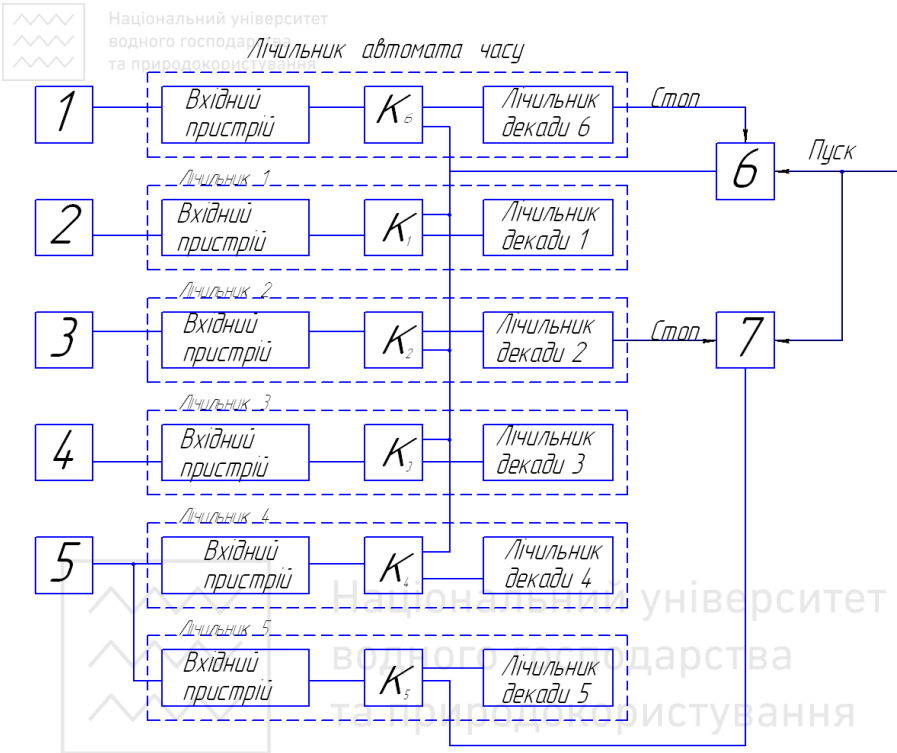


Рис. 4.1 Блок-схема пристрою, що реєструє

Додатковий комплект датчиків складається з восьми тензометричних вузлів, різного роду відмітчиків і реохордних датчиків і в кожному окремому випадку має номенклатуру, необхідну для проведення даного виду досліджень. Додатковий комплект датчиків підключається до іншої сполучної коробки.

Сполучні коробки герметично закриті, а всередині них розташовані клемні панелі, що служать для підпайки проводів від датчиків. На лицьових панелях коробок установлені штепсельні рознімання, до яких приєднані багатожильні кабелі, що з'єднують датчики з вимірювальною апаратурою.

Система із гнучких кабелів підтримується від провисання кабеле-підтримуючим пристроєм, змонтованим на передньому буфері автомобіля.

При транспортуванні підтримуючу стрілу складають і перевозять на буфері.



Сигнали від датчиків через сполучні коробки по кабелях подаються на вхідну панель, установлену на кузові динамометричної лабораторії і постачену таким же комплектом штепсельних рознімів, як і сполучні коробки, що мають на випробовуваній машині. Вхідна панель має додаткове рознімання для приєднання кабелю від тягової ланки.

Електричні сигнали з вхідної панелі подаються на розподільну панель, розташовану усередині кузова, що дозволяє робити комутацію як вимірювальних, так і керуючих ланцюгів.

Вимірювальна апаратура динамометричних лабораторій складається з двох основних вузлів: головного і додаткового пультів керування.

На головному пульті керування розташовані всі елементи напівавтоматичної вимірювальної апаратури і деякі допоміжні пристрої.

На додатковому пульті розташовані прилади, призначені для реєстрації досліджуваних процесів на стрічці осцилографа. У комплект цієї апаратури входять: магнітоелектричний осцилограф, блок живлення осцилографа, комутаційна панель, панель з елементами керування і контрольних приладів.

Електроживлення вимірювальної апаратури динамометричної лабораторії може здійснюватися як від бензоелектричного агрегату, так і від мережі перемінного струму 220 В. Усі пристрої, що відносяться до електроживлення, і керування ними зосереджені в силовій шафі.

4.3. Пересувні тензометричні лабораторії

При проведенні польових досліджень машин, робочий процес яких зв'язаний із їх переміщенням, вимірювальна апаратура зазвичай встановлена в лабораторіях, що можуть переміщуватися разом із машиною, що випробовують. Багатожильний екранований кабель - лінія зв'язку - повинен забезпечувати вільний маневр машини, що випробовують. При значній довжині та масі кабелю це складає істотні незручності, а кабель швидко зношується. Більш сучасні радіометричні пристрої зв'язку, що складаються із компактного радіопередавача, що передає інформацію від датчиків до підсилюючих і реєструючих пристроїв. В цьому випадку виключаються незручності, що зв'язані із використанням кабелів, та полегшує маневр об'єкта при нерухомій лабораторії. Нажаль, апаратура такого роду промисловістю не випускається, а саморобні пристрої мають велику похи-



бку та піддаються перешкодам, що пов'язані з впливом непередбачених радіохвильових процесів в ефірі.

Пересувні лабораторії широко використовуються в техніці випробувань і досліджень різних машин. Вони монтуються на закритих самохідних і причіпних транспортних засобах, добре захищених від впливу атмосферних явищ, обладнаних щитами для розміщення апаратури та контейнерами для зберігання необхідних матеріалів. Лабораторія обладнується блоком живлення електричним струмом, зазвичай у вигляді акумуляторних батарей, зарядного агрегату, стабілізатора напруги і за необхідності має темний відсік, в якому проявляється і обробляється світло чуттєвий осцилографічний папір або плівка. Іноді в складі обладнання лабораторії передбачається апаратура для обробки результатів проведених вимірювань. В якості транспортного засобу, на якому обладнується тензолaboratorія, краще використовувати автомобілі підвищеної прохідності чи автобуси, швидкості яких не нижчі швидкостей випробуваних машин. Вимірювальні прилади і устаткування, чутливі до вібрації, варто встановлювати на амортизаторах і вживати заходів запобігання від впливу вологи, перегріву та переохолодження. Приклад планування внутрішнього приміщення пересувної тензолaboratorії показано на рис. 4.2.

Для дослідженні робочих процесів машин і їхніх випробувань крім описаних тензометричних систем, служать різні прилади, спеціальні стенди, установки та пристосування. Промисловістю випускається велика номенклатура стандартних приладів. При виборі вимірювальної апаратури, в тих випадках коли прилади, що випускають, по своїм метрологічним властивостям і динамічних характеристиках відповідають поставленій меті, їм варто віддавати перевагу, так як створення спеціальних вимірювальних приладів суттєво збільшує обсяг і вартість робіт.

Основні параметри, що вимірюються в процесі вивчення функціонування будівельних і дорожніх машин: час переміщення, швидкість, прискорення, сила і крутний момент, витрата рідин і газів, температура та ін.

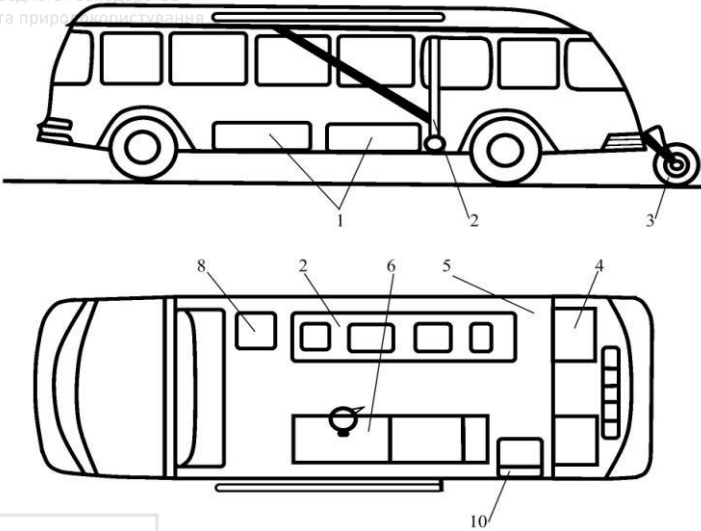


Рис. 4.2. Пересувна тензометрична лабораторія: 1 – відсіки для зберігання матеріалів, кабелів, блоку живлення; 2 – кабелепідтримувач шогла; 3 - додаткове колесо; 4 – робоче місце водія-дослідника; 5 – приміщення вимірювальної лабораторії; 6 – верстак для слюсарних робіт; 7 – приладовий стіл з тензостанцією; 8 – комп'ютерний відсік; 9 – генератор струму; 10 - електроцилт

Для виміру інтервалів часу застосовуються механічні і електричні секундоміри. Механічні секундоміри випускаються з ціною поділки 0,1 і 0,2 с і забезпечуються, зазвичай, однією або двома секундними стрілками із окремими кнопками, їх похибка становить 11...16 с на добу і залежить від температури. Електросекундоміри із живленням від напруги 220 В і струмом стабілізованої частоти мають дистанційне керування і високу точність. В тензометричних ІВС відмітчики часу вбудовуються в електричну схему реєструючих приладів у вигляді імпульсних датчиків високої стабільності. Таким чином вимірювані величини реєструються в часі.

Швидкості поступального руху випробуваних машин вимірюються реєстрацією часу проходження ділянки певної довжини. Такий спосіб прийнятний у випадках, коли гарантована постійна швидкість руху на заздалегідь виміряній ділянці або можна обмежитися визначенням середньої швидкості руху. Якщо необхідно виміряти поточне значення швидкості поступального руху машин, такий спо-

сїб вимірювань непридатний. Багато транспортних і тягових машин обладнуються приладами для вимірювання швидкості руху - спідометрами. Ці прилади пристосовані тільки для візуального визначення всього пройденого шляху й миттєвої швидкості по кількості обертів і частоті обертання одного з валів трансмісії, зв'язаного з ведучими колесами постійним передаточним числом.

Досить істотну похибку в показаннях спідометра може внести буксування (ковзання) ведучих коліс, яке тим більше, чим більше колова сила на цих колесах. На показання спідометра також впливає силовий радіус пневматичних шин, що залежить від навантаження і

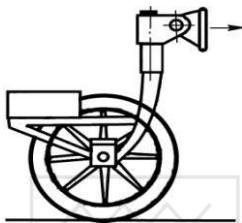


Рис. 4.3. Додаткове колесо

внутрішнього тиску. Для підвищення точності вимірювань пройденого шляху і швидкості використовується додаткове колесо (рис. 4.3), шарнірно прикріплене до випробуваної машини, що копіює пройдений нею шлях і має надійний контакт із поверхнею кочення. Шлях і швидкість поступального руху визначають за непрямыми показниками – кількості обертів і частоті обертання осі додаткового колеса. Для виміру сумарної кількості обертів і швидкості руху застосовуються механічні лічильники,

електромагнітні для вимірювання шляху лічильники імпульсів, тригерні лічильники імпульсів. Механічні лічильники з'єднуються із обертаючим валом безпосередньо або за допомогою механічних передач, а при необхідності встановлення на відстані - гнучким валом. Електроімпульсні та тригерні лічильники вимагають перетворення частоти обертання в електричні сигнали. Тригерні лічильники володіють найбільшою швидкодією, але їхнє застосування виправдане там, де ця перевага особливо важлива.

Миттєві значення кутової швидкості (частоти обертання) вимірюють тахометрами. Шкалу тахометра для вимірювань поступальної швидкості градуують на підставі співвідношення:

$$v = \frac{(\pi \cdot k \cdot r \cdot n)}{30 \cdot i}, \text{ м/с} \quad (4.1)$$

де v - швидкість, що відповідає даній частоті обертання, м/с; $k=0,93\dots0,99$ - коефіцієнт, що враховує деформацію обода колеса під навантаженням і можливе проковзування; r - радіус колеса, м; n - частота обертання вала, з яким з'єднаний тахометр, хв⁻¹; i -



передаточне число між валом тахометра і віссю колеса.

Тахометри за принципом дії бувають відцентрові, годинникові, фрикційні, електричні, магнітні, стробоскопічні, пневматичні, гідравлічні, вібраційні. У відцентровому тахометрі від приводного валика приводиться в обертання відцентровий механізм, зв'язаний із стрілкою покажчика. Положення обертючих мас механізму, а отже, і стрілки залежить від обертання. Для розширення діапазону вимірюваних швидкостей в конструкції передбачено кілька передач між приводним валиком і відцентровим механізмом, кожній із яких відповідає своя шкала.

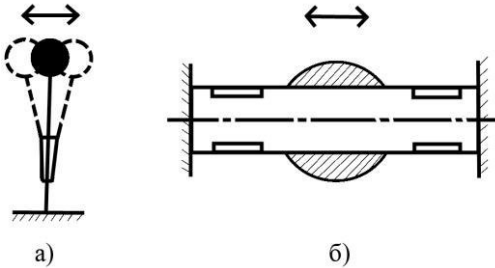


Рис. 4.4. Вимірювальні перетворювачі прискорень: а - плоский консольний чутливий елемент; б - трубчастий

У годинникових тахометрах годинниковий механізм поєднаний з лічильником обертів. В результаті їхньої спільної дії прилад показує частоту обертання.

При випробуваннях будівельних машин найбільш зручні та широко поширені електричні тахометри. Вимірювальний перетворювач такого тахометра - тахогенератор, що з'єднується з валом, частоту обертання якого вимірюють. Напруга струму, що виробляється тахогенератором і пропорційна частоті обертання якоря, подається на покажчик, шкала якого градуйована в одиницях вимірюваної величини. Якщо виникне потреба то показання тахогенератора можна безпосередньо подавати на записуючий пристрій осцилографа, де зміни швидкості будуть реєструватися синхронно з іншими вимірюваними величинами. Переваги описаного способу вимірювань швидкостей: достатня точність показів (0,2...0,5%), надійність в роботі, можливість дистанційних вимірів і реєстрація отриманих даних.

Прискорення вимірюють з допомогою акселерометрів інерційного типу. Принцип дії полягає в тому, що інерційна маса 1, встановлена на пружному чутливому елементі 2, закріпленому в тому місці, де потрібно вимірювати прискорення, під дією сили інерції прагне переміщуватися стосовно корпусу убік, зворотному напрямку



прискорення, створюючи в пружному елементі напруги і деформації тим більші, чим більша сила інерції і прискорення. В якості вимірювальних перетворювачів можуть служити тензорезистори 3. Щоб уникнути впливу резонансних явищ на результати вимірів власна частота коливань акселерометра повинна бути значно вищою (в 5...10 раз) частоти досліджуваного процесу.

Інерційні віброметри - прилади для вимірювання амплітуд і частот вібрацій - засновані на такому ж принципі, з тією лише різницею, що власна частота коливань чутливого елемента з інерційною масою в них повинна бути не менш як в 5...6 разів менша частоти вимірювальних вібрацій.

4.4. Сертифікація дорожньо-будівельної техніки

Корінне реформування і становлення вітчизняної економіки, розвиток ринкових відносин в умовах соціально-економічної кризи зумовили необхідність створення нових механізмів державного та ринкового регулювання виробництва в Україні.

В цих умовах принципово змінюється роль сертифікації продукції, процесів та послуг (далі - продукції), як засобу нетарифного регулювання та її соціально-правової основи. Сьогодні питання сертифікації продукції регулюється більш ніж 500 законами, декретами і постановами Кабінету Міністрів України, указами Президента України та іншими нормативними актами.

Сертифікація – це визначення відповідності продукції національним нормативним документам. Виконується в ДП «Облстандартметрологія».

Як відомо, сертифікація продукції поділяється на обов'язкову та добровільну. Обов'язкова сертифікація на відповідність обов'язковим вимогам нормативних документів та вимогам, що передбачені чинним законодавчим актам України, проводяться виключно в державній системі сертифікації УкрСЕПРО.

Випробування з метою сертифікації повинні проводитися акредитованими в системі УкрСЕПРО випробувальними лабораторіями (центрами) методами, які визначенні відповідними нормативними документами, а за відсутності цих документів - методами, що визначаються органом з сертифікації чи органом, який виконує його функції.

Добровільна сертифікація може проводитися на відповідність продукції вимогам, що не віднесені актами законодавства та норма-



тивними документами до обов'язкових, з ініціативи виробника, продавця, споживача, органів державної виконавчої влади, громадських організацій та окремих громадян на договірних умовах між заявником та органом з сертифікації.

Обов'язкова сертифікація здійснюється уповноваженими на те органами з метою:

- запобігання реалізації продукції, небезпечної для життя, здоров'я та майна громадян і навколишнього природного середовища;
- сприяння споживачеві в компетентному виборі продукції
- створення умов для участі суб'єктів підприємницької діяльності в міжнародному економічному, науково-технічному співробітництві та міжнародній торгівлі.

4.4.1. Правила обов'язкової сертифікації будівельно-дорожніх машин

Вимоги цих правил є обов'язковими для органів з сертифікації дорожньо-будівельної техніки (ОС) випробувальних лабораторій, а також підприємств, установ організацій, незалежно від форми власності, в тому числі іноземних.

Об'єктом сертифікації в системі є продукція, вироблена в Україні та за її межами.

Усі роботи із сертифікації продукції в системі оплачують заявником на договірних умовах.

Разом із заявкою подаються до ОС такі, діючі, на час подання заявки, документи:

- технічні умови на виготовлення і постачання продукції;
- технічні умови на закуплені комплектуючі вузли і агрегати;
- відомість специфікацій;
- комплект складальних креслень;
- експлуатаційна документація;
- копія платіжного доручення про внесення на розрахунковий рахунок ОС встановленого розміру оплати за розгляд заявки і прийняття рішення за заявкою.

ОС розглядає заявку і не пізніше одного тижня після її одержання, вручає заявнику рішення, в якому зазначає основні умови сертифікації. Копії рішення надсилають:

- до організації, що буде проводити випробування;
- до територіального центру, метрології та сертифікації за місцем розташування заявки.



Схема сертифікації заявленої продукції визначається ОС за узгодженням із заявником до початку робіт із сертифікації. Вибір схеми залежить від виду продукції її кількості, стану виробництва та інших вихідних даних згідно рекомендацій.

Відбір зразків продукції для випробувань здійснює ОС або за його дорученням - інша, незалежна від виробника, організація. Відібрані зразки продукції відправляються у випробувальну організацію.

Під час відбору зразків встановлюється походження продукції та належність зразків до даної партії. Відбір зразків продукції проводиться в присутності посадових осіб заявника і оформлюється актом відбору зразків.

Акт оформлюється у трьох примірниках і підписуються представниками організацій, що проводить відбір, та представниками заявника. Ідентифікація продукції проводиться випробувальною організацією, під час якої встановлюється:

- відповідність реєстраційних даних зразка, зазначених акті відбору, зазначених на фірмовій таблиці і в експлуатаційній документації;
- комплектність постачання;
- відповідність показників призначення.

Зразки продукції, що не пройшли ідентифікації, на випробування з метою сертифікації не приймаються.

Випробування продукції з метою сертифікації проводить випробувальна організація, що акредитована в Системі, визначена ОС в рішенні за заявкою. За результатами випробувань випробувальні організації подають до ОС два примірники протоколу, один з яких ОС вручає заявнику.

4.4.2. Обстеження і атестація виробництва

Обстеження виробництва продукції, що сертифікується, передбачає:

- аналіз статистичних даних про якість продукції, що сертифікується в умовах експлуатації;
- аналіз прототипів випробувань, рекламацій і зауважень від споживачів і постачальників, а також матеріалів перевірок, проведених органами Держстандарту України, та іншими компетентними органами;
- перевірку своєчасності поінформування ОС про всі зміни, що



вносяться виготовлювачем у нормативні документи на продукцію, що сертифікується;

- аналіз окремих елементів технологічних процесів з метою перевірки можливості стабільно забезпечувати виготовлення продукції згідно рівнем вимог, на відповідність яким вона буде сертифікована;

- оцінку ефективності системи якості або окремих її елементів;
- перевірку інших елементів технології і організації виробництва, які визначаються за результатами випробувань.

Атестація виробництва проводиться з метою оцінки потенційних можливостей підприємства-виготовлювача забезпечувати стабільний випуск продукції, що відповідає вимогам нормативних документів, та видачі рекомендацій щодо періодичності випробувань, кількості зразків продукції, що випробуються з метою сертифікації і щодо правил їх відбору.

Атестацію виробництва проводить ОС за ініціативою заявника або за рішенням ОС. Перед атестацією виробництва проводиться обстеження виробництва.

Результати атестації оформлюються атестатом виробництва який після реєстрації в реєстр Системи вручається заявнику.

Сертифікація системи якості щодо виробництва продукції, яка сертифікується, проводиться з метою забезпечення впевненості ОС в тому, що:

- вся серійна сертифікована продукція, яка випускається підприємством, відповідає обов'язковим вимогам нормативних документів;

- всі технічні, адміністративні та людські чинники, які впливають на якість продукції, знаходяться під контролем;

- продукція незадовільної якості своєчасно виявляється і підприємство вживає заходів для запобігання виготовлення такої продукції на постійній основі.

Сертифікація системи якості проводиться органами, що акредитовані в Системі на право проведення цих робіт, і виконується за ініціативою заявника або за рішенням ОС.

Сертифікат відповідності видається виключно акредитованим ОС. Сертифікат видається на одиничний виріб, на партію продукції або на продукцію, що випускається підприємством.

На підставі протоколів за позитивними результатами випробу-



вань, сертифіката на систему якості або атестата виробництва залежно від прийнятої схеми сертифікації, ОС оформлює сертифікат відповідності, реєструє його в Реєстрі Системи та видає заявнику.

Термін дії сертифіката на продукцію, що випускається підприємством серійно, визначається ОС з урахуванням терміну дії і нормативних документів на продукцію, терміну, на якій сертифікована система якості або атестоване виробництво, однак не більше ніж на три роки.

У випадку постановки на виробництво нової техніки, випуску дослідної партії та організації серійного виробництва, ОС може прийняти рішення про видачу сертифіката відповідності за терміном дії не більше ніж на один рік - за наявності позитивних результатів випробувань цієї продукції.

У разі негативних випробувань заявник протягом 20 днів після отримання протоколу випробувань повинен повідомити ОС про свої наміри щодо доробки конструкції і продовження її випробувань з метою сертифікації, а саме:

- проведення періодичних контрольних випробувань зразків продукції, що відбираються у заявника, у збутових та торговельних організацій;
- проведення періодичних контрольних випробувань зразка продукції, а також періодичний технічний нагляд за атестованим виробництвом сертифікованої продукції;
- проведення періодичних контрольних випробувань зразків продукції, а також періодична оцінка ефективності функціонування сертифікованої системи якості у заявника;
- проведення періодичного контролю за технологічним процесом виробництва сертифікованої продукції.

За результатами технічного нагляду виконавець складає і подає до ОС звіт, в якому зазначають можливі причини невідповідностей встановленим вимогам (за наявності) та пропонуються корегувальні заходи.

ОС може прийняти рішення про зупинення або припинення дії сертифіката відповідності у випадках:

- виявлення невідповідностей продукції вимогам, встановленим під час сертифікації;
- виявлення випадку травмування ґрунтованого або із смертельним наслідком, причиною якого стали недоліки у конструкції (за



офіційним висновком Держнагляду охорони праці України);

- порушення вимог технології виготовлення, правил приймання, методів контролю та випробувань, маркування продукції тощо;
- внесення заявником змін до нормативних документи складу продукції, які можуть вплинути на відповідним сертифікованої продукції встановленим вимогам без попереднього узгодження з ОС.

Процедура підтвердження відповідності є попереджувальними заходами. Негативні висновки не тягнуть за собою адміністративної відповідальності та накладення штрафів, тому сертифікація надає можливість виробнику не тільки підвищити конкурентоспроможність своєї продукції, а й не допустити фінансових втрат.

Продукція, на яку була зупинена дія сертифіката відповідності, може заявлятися заявником на повторну сертифікацію, після виконання ним коригувальних заходів, спрямованих на усунення порушень, виявлених під час технічного нагляду.

4.4.3. Вимоги до сертифікаційних випробувань

Під час проведення випробувань техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт виконуються загальні вимоги для всіх типів випробувань:

- прийняття на випробування;
- обкатка;
- технічна експертиза нормативної документації.

Під час прийняття техніки на випробування перевіряють:

- наявність необхідної технічної документації;
- відповідність зразків конструкторській документації;
- комплектність техніки і обладнання (включаючи агрегатну інструмент, прилади);
- наявність і правильність встановлення пломб у місцях, які підлягають пломбуванню;
- відсутність видимих пошкоджень окремих вузлів і агрегатів, підтікання мастила і робочих рідин у місця з'єднань та сполучень;
- заповнення заправних ємкостей паливом;
- правильність виконання регулювальних робіт;
- роботу техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт, її вузлів і агрегатів на місці і в русі, відсутність даних, які можуть вказувати на їх несправність.

Обкатку техніки проводять:

- без навантаження на всіх передачах на протязі 30 хвилин;



- з навантаженням, на протязі 60 хвилин при постійному збільшенні, але не підвищуючи 75% номінальної потужності.

Технічній експертизі нормативної та конструкторської документації підлягають:

- технічні умови на продукцію;
- інструкція (керівництво) з експлуатації;
- паспорт;
- програма і методика періодичних випробувань;
- протокол періодичних випробувань;
- креслення загального виду та складальних одиниць.

В процесі сертифікаційних випробувань оцінюються параметри будівельної техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт, які впливають на безпеку експлуатації і обслуговування, здоров'я людей і охорони навколишнього природного середовища.

Параметри, що визначаються безпосереднім оглядом та (або) випробуванням:

- наявність обладнання захисту оператора у випадку перекидання та (або) падіння предметів;
- безпека приєднання і від'єднання змінних робочих органів;
- наявність в роботі захисного обладнання, що виключає запуск двигуна при включених передачах і робочих органах;
- наявність засобів безпеки вузлів машин, які працюють під тиском та (або) при високій температурі;
- наявність і робота сигнальних пристроїв;
- наявність засобів, що забезпечують умови праці оператора, в тому числі кондиціонерів, вентиляторів, пиловідділювачів, склоочисників, ременів безпеки;
- безпека проведення техобслуговування;
- безпека усунення технічних і технологічних відказів;
- наявність пристроїв, що фіксують положення робочих органів;
- наявність, надійність та відповідне пофарбування огорож небезпечних зон і місць:
- пожежна безпека;
- електрична безпека;
- наявність обладнання і місць зачалування, а також місць встановлення домкратів;
- наявність і відповідність вимогам засклення кабіни.

Параметри безпеки, що залежать від оснащення робочого міс-



ця оператора:

- наявність вільного доступу до робочого місця оператора;
- наявність зручності робочого місця оператора (сидіння);
- зручність розташування, якість виконання і правильність позначення органів керування;
- сила опору переміщенням органів керування;
- рівень звуку на робочому місці оператора;
- рівень вібрації на робочому місці (низькочастотне - на сидінні, високочастотне - на органах керування);
- мікроклімат на робочому місці (у закритих кабінах);
- вміст шкідливих речовин у кабіні оператора і в повітрі робочої зони;
- надмірний тиск у кабіні оператора;
- раціональність розміщення контрольно-вимірювальних приладів, їх позначення;
- засоби відображення інформації.

Параметри, що характеризують безпеку руху і переміщення робочих органів будівельної техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт:

- маса, координати центра ваги, розподіл навантаження по вісях (бортах);
- габаритні розміри;
- наявність і ефективність дії гальмівних систем;
- визначення граничного кута поперечної статичної стійкості;
- визначення кута граничного підйому та спускання;
- максимальна швидкість руху;
- оглядовість з робочого місця оператора (органів керування, кути огляду);
- наявність і ефективність обладнання освітлення і світлової сигналізації;
- наявність і відповідність вимогам дзеркал заднього виду;
- наявність і ефективність звукових сигнальних приладів;
- освітленість.

Параметри, які характеризують вплив на навколишнє середовище:

- напруженість поля радіоперешкод;
- токсичність і димність відпрацьованих газів;
- наявність шкідливих викидів у навколишнє середовище;



- рівень зовнішнього звуку;
- рівень допустимого тиску па опорну поверхню;
- герметичність вузлів, агрегатів і систем.

Обсяг сертифікаційних випробувань для потреб добровільної сертифікації визначається національними і міжнародними стандартами, що діють на території конкретної країни-імпортера. При добровільній сертифікації до контрольованих параметрів, що позначені в п. 3.2 цього стандарту, додатково додаються параметри, що названі у додатку.

Під час проведення технічної експеризи будівельної техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт після закінчення випробувань необхідно перевірити:

- відсутність видимих пошкоджень окремих деталей, вузлів і агрегатів, підтікання мастила і робочих рідин в місцях з'єднань та ущільнень:
- збереження правильності регулювання;
- працездатність машин в цілому та їх вузлів і агрегатів на місці і в русі, відсутність ознак їх несправності.

Додаткові показники будівельної техніки для земляних і шляхово-будівельних робіт, що контролюються при добровільній сертифікації

Бульдозери:

- швидкість заглиблення відвалу;
- величина опускання відвалу нижче опорної поверхні;
- середня швидкість робочого ходу;
- середня швидкість відкочування (зворотнього ходу);
- продуктивність;
- кут повороту відвалу в плані;
- кут переносу відвалу;
- головний контрольований параметр - тягове (штовхаюче) зусилля на відвалі.

Екскаратори:

- продуктивність;
- потужність насосної станції;
- місткість ковша;
- найбільша кінематична глибина копання;
- найбільший радіус копання;
- найбільша висота вивантаження;



- зусилля копання;

- кут повороту робочого обладнання;

- тривалість робочого циклу;

- головний контрольований параметр - продуктивність.

Розпушувачі:

- глибина розпушування;

- робоча швидкість;

- тягове зусилля;

- швидкість виглиблення і заглиблення стояка розпушувача;

- головний контрольований параметр - продуктивність або гли-

бина розпушування і тягове зусилля.

Машини землерийні безперервної дії:

- продуктивність;

- профілі виїмок (траншей і котлованів), що відриваються машиною (глибина, ширина);

- робоча швидкість пересування машини;

- тягове зусилля (що реалізується);

- дальність укладки розробленого ґрунту;

- головний контрольований параметр - продуктивність.

Навантажувачі фронтальні:

- вантажопідйомність;

- місткість основного ковша;

- підйомне зусилля;

- зусилля заглиблення;

- напірне зусилля;

- швидкість робочого ходу;

- швидкість відкочування (зворотнього ходу);

- швидкість повороту ковша;

- швидкість підйому та опускання стріли;

- висота підйому ковша і його виліт;

- головний контрольований параметр - продуктивність.

Трубоукладальники:

- момент стійкості;

- вантажопідйомність;

- максимальне навантаження на гаку;

- виліт гака;

- швидкість пересування;

- середній тиск лівих опор при максимальному навантаженні на



гаку;

- потужність двигуна;
- габаритні розміри;
- маса;
- головний контрольований параметр - вантажопідйомність.

Котки будівельні:

- робоча маса;
- осьові навантаження;
- лінійне навантаження;
- частота вібратора;
- діюча глибина;
- транспортна швидкість;
- робоча швидкість;
- продуктивність;
- здатність подолання підйомів;
- радіус повороту;
- головний контрольований параметр - осьове навантаження.

Змістовий модуль 2. Експериментальні дослідження машин і обладнання

Тема 1. Планування експериментів

1.1. Основи методики експериментального дослідження

Експеримент - один із найбільш важливих, а в ряді випадків і найбільш трудомісткий етап наукового дослідження. У залежності від складності досліджуваного процесу або явища та заданих строків виконання роботи цілі експериментального дослідження можуть бути різними. У ряді випадків ціль експериментального дослідження - встановлення фізичної природи явища, механізму досліджуваного процесу, виявлення відповідних закономірностей, пізнання яких при відповідних абстрактних узагальненнях - основа для розробки відповідної математичної моделі, побудови теорії. В таких випадках говорять про постановку пошукових експериментів. Метою експерименту може бути оцінка придатності прийнятих при теоретичному дослідженні допущень, встановлення точності та області застосування теоретичних розробок, пошук рішення поставленого завдання при відсутності теоретичних розробок. Використовують це тоді, коли таке рішення є єдино можливим. Трудомісткість



таких експериментальних досліджень найбільш висока.

Експеримент - це науково поставлений дослід, ціль якого вивчення явища в точно визначених умовах із застосуванням комплексу різноманітного устаткування і вимірювальних засобів. Незважаючи на те, що тип і умови дослідження можуть бути різними, його встановленню властива визначена спільність. В залежності від умов проведення дослідження розрізняють лабораторні, польові та виробничі (експлуатаційні) експерименти.

Лабораторні експерименти проводять у випадках, коли необхідні висока відтворюваність умов постановки дослідів, виключення впливу різного виду випадкових впливів і перешкод, одержання досить точних результатів при малій кількості дослідів. Такого роду експерименти в більшості випадків проводять із моделями машин, робочих органів, середовищ.

Польові експерименти, як правило, проводять із натурними зразками машин для оцінки їхніх основних параметрів, що визначають технічну характеристику машин. Такого роду експерименти наближаються до реальних умов експлуатації машин, однак не повністю відтворюють їх.

Виробничі (експлуатаційні) експерименти - проводять шляхом інструментальних спостережень без втручання в процеси, що відбуваються безпосередньо зараз, без зміни їх умов. Такі експерименти служать для оцінки експлуатаційних властивостей досліджуваних об'єктів. Виробничі експерименти найбільш тривалі й трудомісткі.

Методика експерименту - це сукупність положень, що визначають постановку й послідовність виконання досліджень. Вона містить в собі наступні основні етапи: формулювання цілей і завдань дослідження, вибір об'єктів досліджень і умов постановки дослідів, розробку програми експериментів та послідовності їх проведення, вибір необхідного устаткування й вимірювальних засобів з урахуванням необхідної точності одержання результатів, постановку дослідів, обробку і аналіз отриманих даних.

Один із найбільш важливих етапів - вибір цілей і завдань експерименту. Основою цьому служать висновки за результатами аналізу стану питання по темі дослідження, припущення про досліджувані закономірності досліджуваного процесу або явища, результати теоретичних розробок. Крім цілей і задач методика експерименту містить вибір об'єкта дослідження, умов постановки дослідів, числа



варіативних факторів, обґрунтування прийнятих засобів вимірів і використуваного устаткування, програми експерименту, опис послідовності проведення дослідів, обробки та аналізу результатів. У відповідності з цілями експерименту об'єкт дослідження може вивчатися на моделях чи на натурних установках і машинах, в штучно створених чи реальних середовищах, що визначає умови постановки дослідів.

Варіативні фактори вибирають виходячи із аналізу ступеня впливу тих чи інших параметрів на досліджуваний процес. Основою для цього є результат раніше виконаних експериментальних і теоретичних розробок, припущення про характер досліджуваного процесу, розроблені аналітичні моделі. Іноді для цього здійснюють постановку пошукових експериментів.

У відповідності з умовами дослідів, вибраними факторами, характером досліджуваного процесу, явища підбирають устаткування, вимірювальні засоби.

Під устаткуванням розуміють різного типу установки, стенди, пристосування для монтажу вимірювальних засобів. У деяких випадках такі пристрої доводиться проектувати і виготовляти у відповідності з цілями та задачами дослідження. При виборі засобів вимірювань досліджуваних факторів насамперед варто орієнтуватися на прилади і пристрої, що випускають серійно, робота яких визначена відповідними інструкціями, стандартами або іншими документами. Якщо вони відсутні або не повною мірою задовольняють умови постановки дослідів, конструюють і виготовляють засоби вимірів, що спеціально призначені для проведеного дослідження. В таких випадках варто максимально уніфікувати їх з існуючими засобами вимірювань. При виборі засобів вимірювань досить важливе питання - їхня точність. Чим вища точність прийнятих засобів вимірювань, тим менше число дослідів і нижча трудомісткість дослідження.

Програмою експерименту встановлюється число дослідів, їх повторюваність. При невеликому числі (не більше двох - трьох) можлива постановка класичного експерименту. В цьому випадку послідовно вивчають процес в залежності від якогось одного фактору при постійних інших. Потім здійснюють постановку дослідів при іншому змінному факторі й т.д. Число дослідів в цьому випадку визначається кількістю варіативних факторів, числом рівнів, на яких встановлюються значення кожного фактору, і повторністю дослідів.



Повторність дослідів - мінімальна кількість вимірів при даних значеннях факторів, що обумовлена заданою точністю та надійністю результатів вимірів. При великому числі варіативних факторів програму експерименту доцільно встановлювати відповідно до теорії математичного планування експерименту, що суттєво скорочує трудомісткість дослідів.

В методиці проведення експерименту необхідно ретельно описати характер і послідовність операцій, здійснюваних при постановці дослідів, способи контролю умов експерименту. Тут же розроблюються форми журналів, актів випробувань, в які вносяться дата і час постановки дослідів, результати випробувань та спостережень, приводиться опис характерних фізичних явищ, можливі відхилення від умов проведення дослідів. В ряді випадків розраховують строки й витрати на проведення експерименту.

Методика експерименту містить опис використовуваних методів обробки й аналізу дослідних даних, зіставлення їх із результатами теоретичних розробок. Застосовувані методи повинні забезпечувати точність і надійність отриманої інформації, її адекватність досліджуваному процесу, передбачувати оцінку розбіжності між результатами розрахунків та експерименту.

Складена методика експерименту - це документ, що підлягає апробації і обговоренню в науковому колективі, затвердженню керівником, що може викликати її певне коректування. Коли апріорної інформації про досліджуваний процес мало, таке коректування необхідне і в ході постановки дослідів. Будь - які відступи від методики, її коректування повинні бути ретельно проаналізовані.

Фізичне моделювання, як правило, застосовують при постановці лабораторних експериментів, що дозволяє істотно зменшити витрати на їхнє проведення. Цим методом можна знайти також рішення задач, коли досліджуване явище настільки складне, що не вдається скласти для нього задовільну математичну модель, або рішення сформульованої задачі зустрічає непереборні математичні труднощі.

При фізичному моделюванні зберігається фізична природа явищ і змінюється тільки його масштаб. Дослідження моделей, однак, дозволяє одержати достовірну інформацію, якщо вони побудовані за законами подібності. Подібними називають системи, що геометрично подібні одна іншій, в яких однойменні величини, що харак-



теризують явище, відносяться як постійні числа, що встановлені на основі законів моделювання.

1.2. Планування експериментів

У широкому змісті слова планування експериментів містить в собі визначення кількості дослідів, витрат праці, часу й засобів. Природно, що основним тут є визначення кількості необхідних дослідів. У цьому випадку дослідникам найчастіше доводиться вирішувати дві головні задачі:

- встановити кількість дослідів по визначенню якоїсь фізичної величини із заданою точністю;
- визначити потрібну кількість дослідів по відшукуванню функціональної залежності між величиною, що цікавить, і системою факторів, параметрів.

При цьому виходять із того, що похибка при вимірах якоїсь фізичної величини, як і її значення, якщо вона не постійна, підкорюються нормальному закону розподілу. Таке положення має місце в більшості випадків. Припускають також, що шуканий функціональний зв'язок між величинами дійсно існує. Розглянемо рішення обох перерахованих задач.

Розрізняють величини постійні (діаметр вала в заданому перерізі, його маса і т.д.) і ті, що змінюються, випадкові (об'ємна маса ґрунту, його вологість і т.д.). Для визначення постійних величин досить разових вимірів. Точність вимірювань оцінюється абсолютною Δ і відносною Δ_1 і похибками:

$$\Delta = y - a; \quad \Delta_1 = \pm \frac{\Delta}{y} \cdot 100\%,$$

де y - значення даної величини, отримане більш точним приладом; a - значення величини, отримане приладом, що використовується при даних вимірюваннях.

Точність приладів характеризується граничною похибкою, що відноситься у відсотках до верхньої, найбільшої межі вимірювань (клас приладу). Граничні похибки деяких приладів наведені в табл.1.1.

При вимірюваннях змінних величин і використанні одного й того ж приладу потрібні багаторазові вимірювання. Нехай необхідно знайти значення величини y , його вимірюють приладом з похибкою Δ . Маємо наступні значення цієї величини: y_1, y_2, \dots, y_n . Результати



вимірювань визначають як середньозважену арифметичну величину:

$$\bar{y} = \frac{y_1, y_2, \dots, y_n}{n}, \quad (1.1)$$

де n - кількість вимірювань.

Таблиця 1.1

Спосіб застосування, інструмент, прилад	Гранична похибка, %
Стальна 20 - метрова стрічка	0,2-0,3
Планіметри лінійні і полярні	0,4-0,7
Тахометри відцентрові	0,4-2,5
Тахогенератори	2,5-4,0
Ваги:	
торговельні та автомобільні	0,8-1,2
технічні	0,1-0,2
аналітичні	0,0001-0,1
Динамометри:	
пружинні	1,0-3,5
гідралічні	0,7-2,0
електричні (без підсилювача)	0,2-0,5
Ртутні манометри	1,0-2,5
Стандартні секундоміри	0,4 - 0,7
Термоелектричні перетворювачі (без підсилювача)	0,5-2,5
Термометри:	0,3 - 2,0
ртутні технічні	0,1-1,0
Напівпровідникові	
Записи осцилограм при підсиленні	1,5-4,5
Магнітофонний запис при частотній модуляційні	2,0 - 5,0
Пневматичні і масляні калібратори	1,0-8,0

Точність результату характеризує середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}, \quad (1.2)$$

де y_i – величина i -го виміру.

На підставі виміру маємо:



$$y = \bar{y} \pm \Delta\sigma,$$

де $\Delta\sigma$ - абсолютна помилка, що визначається середньоквадратичним відхиленням і заданою надійністю (ймовірністю) результату.

Для переважної більшості технічних вимірювань найбільшою середньою арифметичною похибкою є абсолютна похибка:

$$\Delta\sigma = \pm 3\sigma.$$

Це означає, що з надійністю 0,997 істинне значення вимірної величини буде знаходитись в межах:

$$y = \bar{y} \pm 3\sigma$$

Даним правилом можна також користуватися і при виключенні грубих помилок при вимірюваннях, відкидаючи результати, для яких $\sigma_i > 3\sigma$. Зрозуміло, що точність і надійність результату багаторазових вимірювань тим вища, чим більше кількість вимірювань і вища точність застосовуваних приладів. Однак це збільшує трудомісткість постановки дослідів. При заданих точності і надійності результатів вимірювань кількість дослідів визначають ітераційним методом по формулі:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (1.3)$$

де t - норма, що визначає гарантовану ймовірність відхилення середньої малої вибірки від середньої генеральної сукупності (табл. 1.2). При цьому, задаються кількістю дослідів n_1 на основі вимірів визначають σ і далі порівнюють число із значенням n , отриманим по попередній формулі. Процес закінчується при виконанні умови $n_1 > n$. Орієнтовно кількість дослідів можна вибрати по табл. 1.3.

Строгих критеріїв у виборі надійності результатів вимірювань немає. Для досліджень, зв'язаних із конструкціями машини, достатньо, щоб надійність становила 0,9, при детальних дослідженнях, що є основою для наступного розрахунку, необхідна надійність 0,95 і 0,99.

1.3. Інформаційно - вимірювальна техніка

Інформаційно - вимірювальна техніка служить для вимірювання фізичних величин, по значенням яких можна судити про протікання процесів, стану середовищ, і для видачі відповідної інформації. Ця техніка містить у собі прилади і цілі системи. Приладами прийнято називати вимірювальні пристрої, змонтовані в окремі блоки, що ви-



пускаються промисловістю серійно і мають строго певне призначення. В широкому сенсі складні прилади представляють собою також системи, що складаються з окремих елементів вимірювальної та інформаційної техніки, однак термінологічно зручно інформаційно-вимірювальною системою (ІВС) називати багатофункціональний комплекс, що складається із приладів, пристроїв, устаткування і призначений на рішення тих чи інших завдань, пов'язаних із одержанням, перетворенням і видачею інформації.

Таблиця 1.2

Значення величини t при заданих надійності p і кількості дослідів n

n	p				n	p			
	0,9	0,95	0,99	0,999		0,9	0,95	0,99	0,999
2	2,92	4,3	9,92	31,6	16	1,75	2,12	2,92	4,01
3	2,35	3,18	5,84	12,9	17	1,74	2,11	2,9	3,96
4	2,13	2,78	4,6	8,61	18	1,73	2,19	2,88	3,92
5	2,01	2,57	4,03	6,83	19	1,73	2,09	2,86	3,88
6	1,94	2,45	3,71	5,96	20	1,73	2,09	2,85	3,85
7	1,89	2,36	3,5	5,4	21	1,72	2,08	2,83	3,82
8	1,86	2,31	3,36	5,04	22	1,72	2,07	2,82	3,79
9	1,83	2,26	3,25	4,73	23	1,72	2,07	2,81	3,77
10	1,81	2,23	3,17	4,39	24	1,71	2,06	2,8	3,74
11	1,8	2,2	3,11	4,44	25	1,71	2,06	2,79	3,72
12	1,78	2,18	3,05	4,32	26	1,71	2,06	2,78	3,71
13	1,77	2,16	3,01	4,22	30	1,7	2,04	2,75	3,65
14	1,76	2,14	2,98	4,14	40	1,68	2,02	2,7	3,55
15	1,75	2,13	2,95	4,07	60	1,67	2	2,66	3,46

Таблиця 1.3

Необхідна кількість дослідів

Похибка	Надійність			
	0,9	0,95	0,99	0,999
1	2	3	4	5
3σ	2	3	4	5
1σ	5	7	11	17
2σ	3	4	5	7
$0,5\sigma$	13	18	31	50



1	2	3	4	5
$0,3\sigma$	32	46	78	127
$0,1\sigma$	273	387	668	1089
$0,05\sigma$	1084	1540	2659	9338
$0,01\sigma$	27161	38416	36358	108307

По цільовому призначенню вони можуть бити одно - і багатоканальними, по кількості каналів, по яких надходить інформація, одно - і багатоканальними. Ці ознаки можуть перебувати в будь-яких сполученнях. По способі видачі інформації прилади й системи можуть бути індикаторними, тобто такими, в яких інформація зчитується спостерігачем і запам'ятовується або записується їм, та реєструючими. В обох випадках інформація може надходити у вигляді миттєвих значень вимірюваної величини, середніх і максимальних значень, суми наростаючим підсумком або за певні проміжки часу, а також у вигляді похідної.

За принципом одержання інформації розрізняють системи механічні, електричні, електронні, гідравлічні, пневматичні, світлові, теплові, комбіновані.

Якість інформації, одержуваної за допомогою ІВС, забезпечується правильним вибором методу вимірювань та апаратури, коректним складанням схеми ІВС, забезпеченням сприятливих умов її роботи. На вибір методу впливають необхідна точність вимірювань, діапазон зміни величин, кількість незалежних факторів і взаємозалежних параметрів процесу, умови, в яких передбачається проводити експеримент. Не завжди оправдане прагнення застосувати найбільш точні апаратури й методика вимірів. Іноді похибка та різновид показань, пов'язані із зовнішніми умовами, в яких проводяться вимірювання, не дозволяють оцінити істинні значення вимірюваної величини із точністю, властивою даним апаратурам. Разом з тим більш точна апаратура, як правило, дорожча, складніша в використанні, вимагає високої кваліфікації персоналу. В результаті виявляється, що більш простими й дешевими засобами вимірювань, а головне більш надійнішими, можна досягнути тих самих, а іноді й кращих результатів.

Вибираючи вимірювальну апаратуру, перш за все орієнтуються на характеристики приладів. Характеристики приладів діляться на



дві групи: статичні, або метрологічні, і динамічні. До основних статичних характеристик відносяться наступні.

Клас точності - припустима приведена статична похибка при нормальних умовах. В даному випадку вона визначається як максимальне відхилення абсолютної величини показання приладу від її істинного значення, вираженого у відсотках від верхньої межі вимірювань для даного приладу. За істинне значення приймається показання еталонного приладу. Статичною являється похибка, встановлена при повному заспокоєнні індикатора приладу. Нормальними умовами прийнято вважати температуру $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ і тиск 10 Па ((760 ± 20) мм. вод. ст.). Прилади (за винятком електричних) діляться на 4 класи: 0,2; 0,5; 1,5; 2,5. Електричні прилади мають 8 класів точності - від 0,05 до 4,0; ЮС діляться на 7 класів. Класи точності встановлюються спеціальними метрологічними лабораторіями Держстандарту і систематично контролюються.

При метрологічному контролі встановлюється так звана основна похибка. При зміні умов досліді в порівнянні з нормальними може виникати додаткова похибка.

Варіація показань - найбільша різниця показів відносно показів еталонного приладу, отримана в результаті багаторазових вимірювань.

Чутливість - відношення приросту показів приладу до зміни вимірюваної величини. Чутливість ГВС рівна добутку чутливості окремих елементів системи. Вона впливає на абсолютну величину основної похибки тим більше, чим більша вимірювана величина. Межею чутливості називається найменше значення вимірюваної величини, що викликає помітне відхилення індикатора приладу. Слабка чутливість понижує точність вимірювань, а зайва може ускладнити ІВС, викликати коливальні процеси.

Межі вимірювань - діапазон вимірюваної величини, в якому допускається використати прилад (вимірювальну систему). Їх варто вибирати з врахуванням можливого перевантаження приладу. Збільшення меж вимірювань робить прилад більш універсальним, але знижує точність вимірювань малих величин, так як відносна похибка при вимірюванні останніх буде суттєво відрізнятися від класу точності в більшу сторону.

Власне споживання енергії впливає на чутливість - основною похибкою приладу, якщо енергія відбирається від об'єкта вимірю-



вань на передачу і перетворення сигналу. Якщо енергія витрачається на привід допоміжних пристроїв (освітлення, привід механізмів, що реєструють, сигналізація і ін.), то вибір приладу треба узгодити із можливостями використання його в даних умовах проведення вимірювань, тобто із наявністю відповідних джерел живлення.

Динамічні характеристики ІВС мають істотне значення при вивченні процесів, що швидко протікають, коли інерційність вимірювального пристрою може істотно позначитися на результатах вимірювань. Вимірювання навантажень і напруг, що виникають в деталях робочого устаткування, передач і приводів швидкохідних машин, швидко змінюються і супроводжуються коливальними процесами широкого діапазону частот, вимагає аналізу динамічних властивостей вимірювальних систем. Наявність в ІВС пружних і коливальних елементів при відповідних їхніх параметрах може приводити до резонансних явищ, що спотворює істинну картину зміни вимірюваної величини. Наявність інерційних ланок, сухого й рідинного тертя, нелінійних елементів у механічних, гідравлічних та електричних схемах ІВС приводить до запізнювання, що обумовлює зрушення фаз на вході й виході.

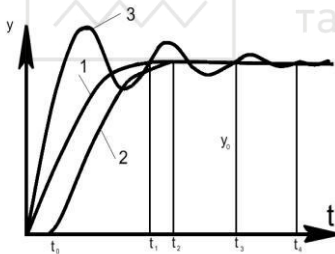


Рис. 1.1. Види динамічних характеристик приладів

Вид деяких динамічних характеристик ІВС показаний на рис. 1.1.

Крива 1 зображує аперіодичну характеристику. В цьому випадку час перехідного процесу t_1 відповідає часу, протягом якого індикатор системи досягає показу y_n (істинного значення вимірюваної величини) за винятком ста-

тичної похибки приладу. Крива 2 являє собою аперіодичну характеристику із запізнюванням. Тут час перехідного процесу t_2 містить в собі час запіз-

нювання t_0 . Коливальна характеристика із згасанням відображається кривою 3 із часом перехідного процесу t_3 . У всіх випадках правильне показання приладу, що відповідає його класу точності, можна одержати тільки тоді, коли час виміру величини більший часу перехідного процесу. При вимірюванні і реєстрації величин, що змінюються в часі зі швидкістю, суміжною зі швидкістю протікання перехідних процесів ІВС, перекручування будуть недопустимо велики-



ми. Тому для реєстрації швидкопротікаючих процесів варто використати прилади з невеликою інерційністю, а саме електронні.

Перехідні процеси вносять перекручування по амплітуді та фазі. Для оцінки динамічних властивостей ІВС використовують амплітудно - частотні, фазово - частотні та амплітудно - фазові характеристики.

Структура ІВС в загальному вигляді зображена на рис. 1.2. вимірювальний вплив на систему здійснює чутливий елемент (ЧЕ). Цей вплив необхідно перетворити в певний сигнал, для чого служать вимірювальні перетворювачі (ВП), тобто датчики. Таким чином, ВП - первинний перетворювач. В ряді випадків сигнал ВП краще перетворити з допомогою перетворювача сигналу (ПС) у величину, зручну для передачі на відстань і вимірювання існуючими приладами. Для передачі сигналу на відстань служить лінія зв'язку (ЛЗ).

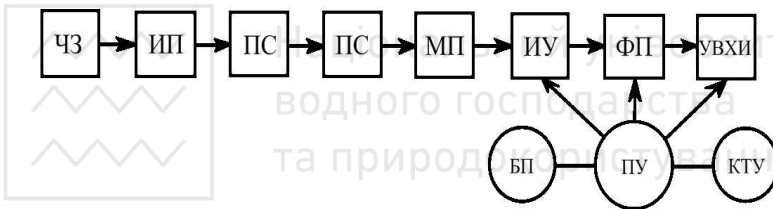


Рис. 1.2. Блок - схема інформаційно - вимірювальної системи

Однак для виміру сигналу, що надійшов, необхідно змінити його величину, для чого використовуючи масштабний перетворювач (МП), тобто (підсилювач).

Далі сигнал надходить на вимірювальний пристрій (ВП), потім він обробляється у вигляді певної інформації, зручної для читання, вивчення, зберігання, для чого служать функціональний перетворювач (ФП), пристрій для видачі і зберігання інформації (ПВЗІ).

Для керування складними системами обладнуються пульти керування (ПУ), з якими зв'язані блок живлення (БЖ) і контрольно - таріровочі пристрої (КТП).

Представлену схему слід розглядати як спробу найбільш повно охопити, функції ІВС. В реальних системах послідовність положення елементів може бути інша, деякі функції виключаються чи об'єднуються в одному пристрої.



Тема 2. Вимірювання деформацій і напружень при експериментальних дослідженнях машин

2.1. Класифікація вимірювальних перетворювачів

В наш час при дослідженнях і випробуваннях машин широко застосовується ІВС, засновані на використанні електричних методів вимірювань не електричних величин. Основні переваги електричних вимірювань: універсальність (можливість використання одних і тих же елементів в різних комбінаціях для рішення різноманітних технічних завдань); широкий вибір принципів дії, типорозмірів приборів, пристроїв для живлення електричним током, перетворення струму й видів енергії; більша номенклатура стандартних елементів, що випускають великими серіями; простота передачі сигналів на відстань і забезпечення дистанційного керування системою; багатоканальність; широкі можливості керування, одержання різних видів інформації та її обробки; невелика інерційність електричних систем і можливість компенсації в самій вимірювальній схемі різного роду похибок. Можливості електричних ІВС суттєво розширилися за рахунок використання засобів електроніки, мікро ЕВМ..

Вимірювальні перетворювачі в електричних ТВС бувають пасивні (параметричні), в яких параметри струму живлення змінюються під впливом вимірюваної величини, і активні (генераторні), що виробляють струм, який надходить у вимірювальний ланцюг. До першого ставляться ВП опори (реостатні і тензометричні), ємнісні, індуктивні, термо - і фотоопори, до других - тахогенератори, індуктори, термоелектричні, гальванічні і ін. Важливо, щоб характеристика була лінійною, тобто щоб величина вихідного сигналу була прямо пропорційна вхідній величині, оскільки це значно спрощує використання результатів вимірювань.

2.2. Тензорезистори

Широке поширення в ІВС одержували ВП опори, зокрема тензорезистори. Реостатні ВП хоч і дозволяють пропускати досить потужні сигнали, що не вимагають підсилення, однак вони менш чутливі до переміщень двигуна і при малих переміщеннях чутливого елемента їх використання зв'язане із необхідністю введення передавальних механізмів. Тензорезистори чутливі до переміщень, що виникають за рахунок пружних деформацій деталей машин, і мають розміри, що дозволяють розміщувати їх безпосередньо на самих

деталях. Широко застосовуються дротяні та фольгові тензорезистори (рис. 2.1.). Решітка тензорезисторів 1 виготовляється з матеріалів з високим питомим опором (константан, ніхром і ін.), дротяна - діаметром 0,02...0,05 мм, фольгова - товщиною 0,004...0,012 мм із базою Б 5, 10, 20, 30 мм. Вони працюють під напругою 12 В, робочий струм для дротяних решіток - 30 мА, для фольгових - 2 мА. Номінальний опір дротяних тензорезисторів - 50, 100, 200, 400, 500 Ом, фольгових - 50, 100, 200 Ом. Решітка закріплена на паперовій або плівковій основі 2. Спай 3 з'єднує решітку із провідниками живлення 4.

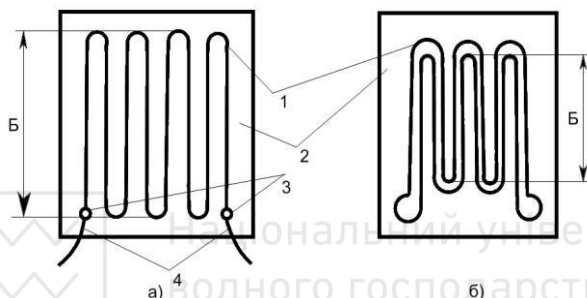


Рис. 2.1. Прямокутні тензорезистори: а - дротяний; б - фольговий

Опір провідника R залежно від його розмірів виражається співвідношенням:

$$R = \rho \cdot l / s,$$

де ρ - питомий опір матеріалу; l - довжина; s - площа поперечного перерізу провідника.

Враховуючи зміну поперечного перерізу й питомого опору при відносному подовженні провідника $\Delta l / l$, відносно збільшення опору можна виразити залежність:

$$\Delta R / R = k \cdot \Delta l / l,$$

де k - коефіцієнт тензочутливості тензорезистора (для константана $k=(2...2,1)$):

$$k = 1 + 2 \cdot \mu + V,$$

де μ - коефіцієнт Пуассона; V - коефіцієнт, що враховує зміну питомого опору провідника.

Таким чином, опір тензорезистора, наклеєного на стержень (що розтягується силою P так, що решітка тензорезистора розміщена вздовж дії цієї сили), буде зростати пропорційно деформації стерж-



жня, а в межах пружних деформацій - силі P і напрузі σ , оскільки при модулі пружності матеріалу стержня E :

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{k}{E} \right) \cdot \sigma = \left(\frac{k}{S \cdot E} \right) \cdot P, \quad (2.1)$$

Тензорезистори наклеюються на ретельно підготовлену поверхню в місцях, де потрібно визначати деформації, силі і напруження. Невелика база дозволяє розташовувати їх у важкодоступних місцях, на деталях складної конфігурації, незначна маса не впливає на динамічні процеси, що відбуваються в механізмах. Сучасна апаратура дозволяє одночасно спостерігати та реєструвати навантаження, що виникають в багатьох деталях машин, синхронно, в їх взаємодії і взаємообслуговуванні. Тензорезистор наклеюють клеями типу ВФ - 2 холодним або гарячим способом; це охороняє його від вологи, бруду і механічних дій. Маркування датчиків, що випускаються в нашій країні дає поняття про їх основні характеристики. Наприклад: ПКБ - 20 - 100 X/Г/ - дротяний, константовий на паперовій основі, база 20 мм, опір 100 Ом, X/Г/ - холодний або гарячий спосіб наклеювання; ФКПА - Ю - 200 X/Г/ - фольговий, константовий, прямокутний, підтип А, база 10 мм, опір 200 Ом, холодний чи гарячий спосіб наклеювання.

Правильно встановлений тензорезистор може довгостроково і багаторазово використовуватися на одному і тому ж місці, але перестановці не підлягає. Не дивлячись на те, що на придбану партію виготовлювач видає характеристику основних параметрів, перед встановленням на чутливі елементи варто зробити контрольну таріровку одного або декількох тензорезисторів даної партії.

2.3. Схеми з'єднань тензорезисторів

Тарувальний пристрій являє собою консольну балку опору, рівного вигину, на яку наклеюється контрольований тензорезистор, включається у вимірювальну схему і балка поступово навантажується рівними ступенями навантаження. За показниками вимірювального приладу будується таровочний графік навантаження - розвантаження. В такий спосіб перевіряються масштаб і лінійність тензорезисторів.

В подібних ІВС можуть виникати різні перешкоди, для усунення яких розроблений ряд методів. Наприклад, тензорезистори чутливі до змін температури. Якщо в результаті зміни температури на-



вколишнього середовища збільшується об'єм тягової ланки 1 (див. рис. 2.2), то при невідомій силі P міст розбалансується і показання вимірника зміняться. Для компенсації температурних похибок в схемі (рис.2.3) на тягову ланку поставлений тензорезистор R_4 , решітка якого орієнтована так, що він реагує на температурні зміни так само, як і тензорезистор R_1 , але не реагує на подовження ланки від сили P . Якщо при цьому опори R_2 і R_3 перебувають в однакових умовах, то вимірювальна система захищена від впливу температури на результати показань вимірювальної сили P . В цих схемах тензорезистор R_1 - активний, а решітка - компенсаційні. Активний тензорезистор наклеєний на деталь, що грає роль чутливого елемента, решітка - на пластину з матеріалу, що має такі ж пружні властивості, але не піддається навантаженню. При рівності опорів збалансованого моста

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R,$$

і напрузі на вході моста U напруга на виході

$$U_b = U \cdot \Delta R / 4 \cdot R.$$

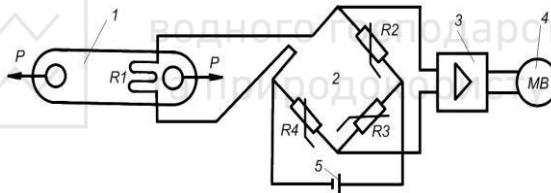


Рис. 2.2. Мостові схеми з'єднання тензорезисторів при вимірюванні сил і напружень розтягу без температурної компенсації

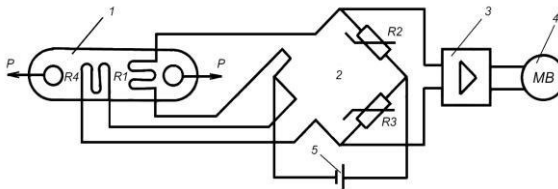


Рис. 2.3. Мостові схеми з'єднання тензорезисторів при вимірюванні сил і напружень розтягу з температурною компенсацією

Для того щоб збільшити напругу на виході, тензорезистор R_3 при наявності місця можна встановити на тяговій ланці паралельно R_1 , а R_2 – паралельно R_4 . Тоді буде два активних і два компенсаційних тензорезистора і напруга на виході



$$U_b = (U \cdot \Delta R / 2 \cdot R) \cdot (1 + \mu),$$

де μ - коефіцієнт Пуассона. Таким чином, сигнал збільшується в 2,6 рази.

Оскільки при крученні максимальні напруги виникають на поверхні стержня, що скручується під кутом 45° до його осі, для виміру крутних моментів і дотичних напружень решітка активного тензорезистора повинна бути зорієнтована в цьому напрямку. Посилення сигналу можна домогтися збільшенням числа активних тензорезисторів. Різні схеми наклеювання дозволяють в складно напруженому стані деталі виділити ті чи інші види деформацій і напруг. Наприклад, якщо деталь навантажена розтягом (сила R) і вигином від сили P_1 необхідно виміряти окремо деформацію розтягу (рис.2.4), то на деталь варто наклеїти з протилежних сторін тензорезистори R_1 і R_3 . Тоді в результаті вигину опір R_1 збільшується, а опір R_3 зменшується, а під дією сили P обидва опори збільшуються і вихідна напруга у вимірювальній діагоналі буде пропорційна силі P . Аналогічно можна виділити інші складові складнонапруженого стану елементів конструкції.

Тензорезистори встановлюють в місцях, доступних для монтажу і огляду, захищених від впливу вологи і агресивних середовищ на рівних і гладких поверхнях достатніх розмірів. Варто вибирати місця, в яких очікується виникнення найбільших напруг і деформацій як по довжині вимірюваного елемента конструкції, так і по його поперечному перетині. Іноді має сенс змінити конфігурацію деталі, якщо це не викличе залишкових деформацій при прикладанні очікуваних навантажень і не вплине на суть експерименту, так як при проведенні тензометричних дослідженнях завдання може полягати в тому, щоб встановити напружений стан деталей певної конфігурації.

Встановлення тензометричних датчиків на рухливих деталях машин ускладнюється, коли деталі в процесі вимірювань рухливі (наприклад, вали, що передають крутні моменти, вимірювання яких

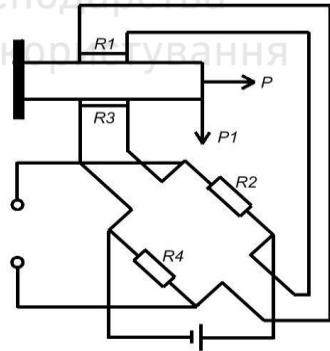


Рис. 2.4. Встановлення тензорезисторів виключаючи вплив вигину



є завданням випробувань, що проводяться). В цих випадках технічні труднощі виникають через необхідність передачі електричного сигналу із валу, що обертається, на нерухому лінію зв'язку і пристрою, що здійснюють подальше перетворення і обробку інформації.

Звичайні контактні пари, що застосовують в техніці промислових енергетичних машин, не використовуються через те, що їхні контактні опори здатні істотно спотворювати відносно слабкі сигнали тензорезисторів.

Струмоз'ємні пристрої, що застосовані в тензометрії, бувають контактні та безконтактні. В контактних парах можна допустити перехідні опори не більше 0,5...1,0 мкОм. Це вимагає спеціального підбору пар кільце – щітка і тисків, що створює щітка на кільце.

При невеликих швидкостях ковзання в контакті можна застосовувати латунні кільця та мідно - графітові щітки, при високих швидкостях - срібні кільця та срібно - графітові щітки. Струмоз'ємні кільця із ртутним контактом забезпечують найкращу струмопровідність. В такому випадку зазор між рухливими і нерухомими кільцями, поверхня яких покрита шаром амальгами, заповнюється ртуттю, що забезпечує рідинний контакт. Безконтактний струмоз'єм здійснюється з допомогою трансформаторних або радіопередаючих пристроїв.

Загальна схема ІВС складається з перетворювачів і пристроїв для видачі та зберігання інформації. В тензометрії в більшості випадків необхідно змінювати масштаб сигналу тензорезисторів, перетвореного електромостовою схемою в різницю потенціалів. Для цієї мети випускаються стандартні прилади-підсилювачі, постійного та змінного струму із різною кількістю каналів, що дозволяє одночасно підсилювати сигнали, що подаються із декількох місць випробуваного об'єкта. Конструкцією підсилювачів передбачається подача вихідної інформації на вхід приладів, що реєструють. До останніх в електротензометрії відносяться осцилографи та магнітофони, а також самописці різної конструкції.

Широке поширення одержали багатоканальні електрично-променеві осцилографи (рис. 2.5). Підсилений сигнал подається на дзеркальний гальванометр 1, на дзеркальці якого з допомогою оптичного пристрою 2 від джерела світла 3 направлений промінь 4, що відбивається на світло чутливу стрічку реєструючого пристрою 7. Стрічка рівномірно перемішується з допомогою стічковопротяж-



ного механізму. В такий спосіб на ній фіксується слід світлового променя, що відображає зміну вимірюваної величини в часі. Частина пучка світла, що йде від джерела 3, відсікається дзеркалом 5 і направляється на стрічку через диск фіксації часу 6, що обертається із заданою швидкістю.

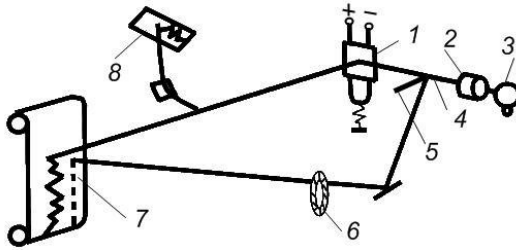


Рис. 2.5. Принципова схема магніто - променевого осцилографа

Частина променя, що йде на записуючий пристрій, відсікається дзеркалами оптичної системи і направляється на екран 8, що дозволяє візуально спостерігати за ходом процесу, що реєструється на стрічці осцилографа. Після прояву стрічки на ній отримуються запис зміни досліджуваної величини і пряма лінія, що відповідає її нульовому, або початковому значенню, а також відмітки заданих інтервалів часу. Передбачається можливість регулювання швидкості протягання стрічки. Вибір швидкості протяжки залежить від того, як швидко змінюється значення вимірюваної величини. При малій швидкості і при сигналі, що швидко змінюється сліди променя на стрічці зливаються. Занадто велика швидкість протяжки призводить до зайвої витрати стрічки. На рис. 2.5 зображена принципова схема одного каналу магніто-променевого осцилографа. Промисловістю випускаються осцилографи у багатоканальному виконанні, що дозволяє синхронно реєструвати багато величин, що характеризують процес. Цю велику перевагу тензометричних систем слід правильно використати, вибираючи масштаб записів і їхнє взаємне розташування на стрічці з врахуванням можливостей наступної розшифровки осцилограми. Осцилограф забезпечується набором замінних гальванометрів (вібраторів, шлейфів), характеристики яких мають різну власну частоту коливань індикаторного пристрою. Щоб уникнути можливих похибок вимірювань динамічних процесів власна частота коливань гальванометра повинна значно (не менш чим в 10 разів) перевищувати частоту зміни вимірюваної величини.



Магнітографи, що виконують роль реєструючих приладів, мають деякі переваги, оскільки їхній вихідний сигнал відтворюється в електричній формі, що дозволяє збільшити щільність запису більше 100 Гц на 1 мм довжини магнітної стрічки. Крім того, запис магнітографа можна безпосередньо подавати на існуючі пристрої для статистичної обробки результатів. Разом з тим перевага осцилографів і інших самописів-можливість візуально оцінити результат вимірювань безпосередньо після їхнього проведення і навіть в ході вимірювань.

Зв'язок між окремими елементами електричних ІВС здійснюється з допомогою електричних проводів, до яких пред'являються певні вимоги в залежності від умов роботи системи. В тензометричних системах опори проводів лінії зв'язку повинні бути на кілька порядків нижче опорів вимірювальних перетворювачів. Особливої уваги вимагають лінії зв'язку систем, що працюють в польових умовах. Вони повинні бути надійно захищені від впливу вологи та механічних ушкоджень. В більшості випадків лінія зв'язку повинна забезпечувати можливість переміщення випробуваного об'єкта щодо місця встановлення джерела живлення, пульта керування перетворювачів і вимірювальних пристроїв. Це вимагає гнучкого зв'язку. Для живлення одного каналу тензосистеми потрібно два провoda, а у випадку багатоканальних систем кількість проводів відповідно збільшується. Зміна параметрів струму в прилеглих провідниках приводить до наведення перешкод, що спотворюють результати вимірів. Таким чином, для створення лінії зв'язку в зазначених умовах використовують багатожильні броньовані кабелі, провідники яких надійно ізольовані та екрановані.

Тема 3. Апаратно-програмні тензометричні станції

3.1. Призначення та область застосування

Апаратно – програмна тензометрична станція ТС-8 (далі – система) призначена для вимірювання, розшифрування і передачі для подальшого зберігання сигналів тензометричних датчиків, з метою визначення зусиль, моментів, тисків, що утворюються при роботі будівельних, дорожніх машин та механізмів, методом тензометричних вимірювань.

Система призначена для експлуатації при температурі навколишнього повітря від -5°C до $+30^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості повітря



80% при 20°C.

2.1.3. Система зберігає працездатність при використанні її в автомобілі при русі зі швидкістю до 60 км/год.

Технічна характеристика тензостанції ТС – 8.

Система забезпечує:

- неперервне вимірювання та запис сигналів тензодатчиків протягом восьми годин (не більше);
- відображення вимірюваних сигналів на дисплеї ПК в реальному часі;
- тестування каналів при включенні живлення;
- дистанційне регулювання балансу та підсилення;
- можливість перемикання режимів роботи каналів (активний або неактивний);
- задавання частоти опиту окремо по кожному каналу в заданих межах.

Кількість каналів

8.

Максимальна частота опиту каналів, Гц

100.

Параметри вхідної частини.

Вхідна частина кожного каналу забезпечує вимірювання сигналів тензометричного півмоста з опором тензорезисторів 100, 200, 400 Ом при початковому розбалансі не більше ± 1 мВ.

Вхідна частина кожного каналу забезпечує регулювання балансу в межах ± 1 мВ.

Вхідна частина кожного каналу забезпечує регулювання підсилення в межах 10 – 1000 (у відносних одиницях).

Споживаний струм, А, не більше

0,4.

Система виконана у вигляді "дипломата".

Габаритні розміри, мм, не більше

480 x 380 x 125.

Маса, кг, не більше

10.

Комплект поставки

Комплект поставки вказаний в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

№	Найменування		Кіль.	Примітка
1	2	3	4	5
1	Блок контролера	ТС8К.00.01. 00.00	1	
2	Блок тензометричного датчика	ТС8Д.00.02.00.00	8	
3	Кабель датчика з роз'єсами	ТС8.01. 00.00.00	1	15м

продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5
4	Кабель для датчиків		1	85м
5	Кабель інтерфейсний	ТС8.02.00.00.00	1	1,2м
6	Кабель живлення	ТС8.03.00.00.00	1	1 м
7	Акумулятор TP12-7		1	
8	Блок живлення 12 В 0,6 А		1	
9	Вилка DB-9М		7	
10	Розетка DB-9F		7	
11	Корпус DB-9P		14	
12	Колодка ТВ-3		8	
13	Дипломат		1	
14	Програмне забезпечення		1	Дискета 3,5
15	Паспорт	ТС8.00.00.00.00 С	1	

3.2. Будова та принцип дії

До складу системи входять (рис. 3.1, табл. 3.1.):

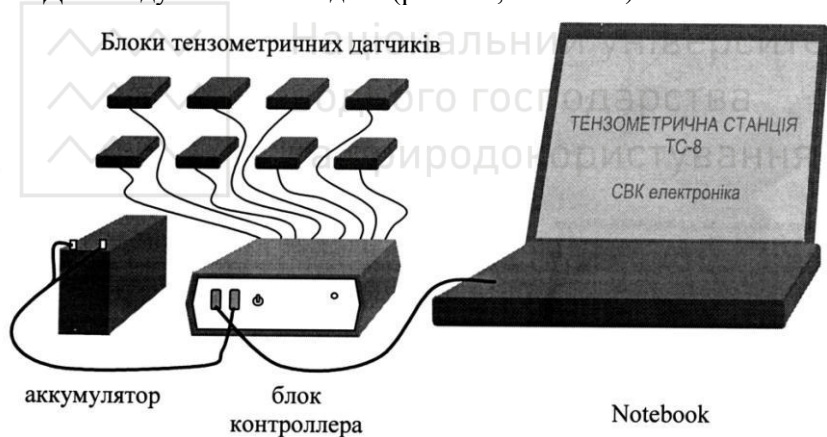


Рис. 3.1. Будова тензостанції ТС-8

- блок контролера;
- блок тензометричного датчика (БТД) – 8 шт.;
- акумулятор 12 В;
- блок живлення 12В 0,6 А;
- з'єднувальні кабелі.

Структурна схема системи показана на рис. 3.2.

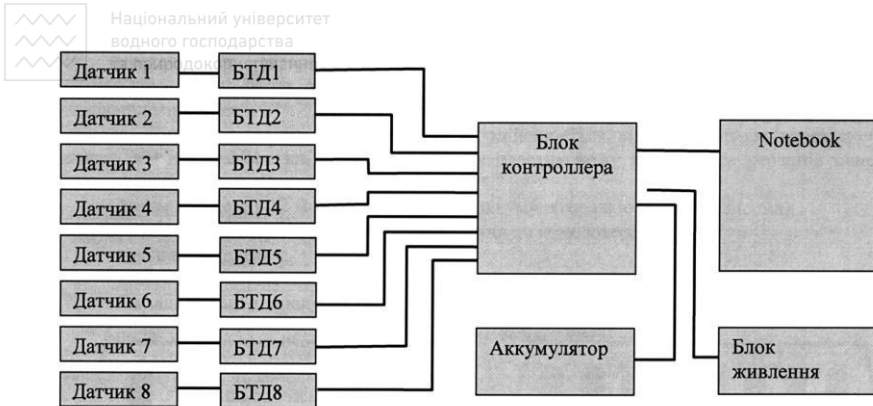


Рис. 3.2. Структурна схема тензостанції ТС-8

Датчики, виконані по схемі тензометричного півмоста, під'єднуються до блоків тензометричних датчиків БТД1 – БТД8, де відбувається підсилення сигналів та їх попереднє нормування (установка балансу та коефіцієнту підсилення). Від цих же блоків відбувається живлення датчиків. Живлення датчиків імпульсне, це забезпечує зменшення споживаного струму. Блоки БТД1 – БТД8 призначені для перетворення аналогових сигналів датчиків у цифрові, що необхідно для забезпечення якісної передачі даних на задану відстань.

Блоки виконані у пластикових корпусах, які мають виступи для кріплення на місці монтажу. Датчики під'єднуються до блоків за допомогою спеціальних перехідних колодок, до яких проводи від датчиків під'єднуються гвинтовим затисненням. Для підключення кабелю до блоку контролера з іншої сторони є відповідний роз'єм. На верхній кришці блоку є світлодіодний індикатор живлення. На боковій поверхні блоку розміщені отвори для доступу до регуляторів балансу та масштабу сигналу (рис. 3.3).

Блок контролера призначений для управління роботою системи, обробки сигналів з БТД та передачі їх у необхідному форматі через інтерфейс RS-232 в персональний комп'ютер (Notebook). Блок виконаний на базі мікроконтролера фірми ATMEL AT90S2313. Як перетворювач інтерфейсу використана мікросхема MAX232A, з'єднана з мікроконтролером через оптрони для розв'язки сигналів, що подаються на Notebook. Живлення мікросхеми MAX232A та оптронів здійснюється від DC-DC перетворювача фірми Franmar. Жи-



влення всього блоку контролера здійснюється від акумулятора через схему захисту від переполусовки. Блок виконаний у пластиковому корпусі. На передній панелі блоку розміщені (рис. 3.4):

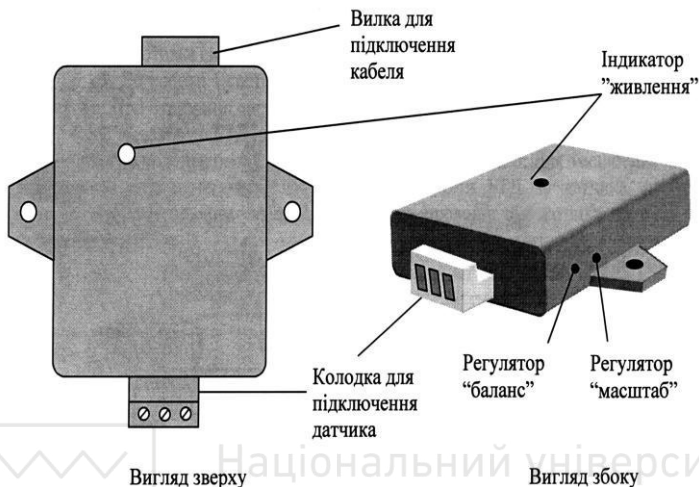


Рис. 3.3. Передня панель блоку контролера

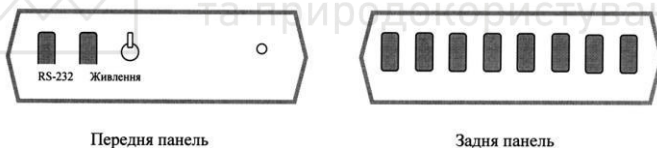


Рис. 3.4. Органи підключення блоку контролера

- роз'єм живлення 12 В (для підключення акумулятора або блоку живлення);
- роз'єм інтерфейсу RS-232 (для підключення до комп'ютера);
- вимикач живлення;
- індикатор включення.

На задній панелі блоку розміщені роз'єми для підключення блоків датчиків.

При роботі з системою слід дотримуватись заходів безпеки, встановлених для приміщення, лабораторії і т. п., де використовується система.

З точки зору електробезпеки система не є небезпечною, оскільки максимальна напруга, яка використовується в системі – 12 В.



3.3. Підготовка системи до роботи та порядок роботи

Підготовка системи до роботи.

До роботи з системою допускаються особи, ознайомлені з її роботою та даним паспортом. При отриманні системи перевірте наявність та цілісність всіх складових частин.

Встановіть БТД поблизу датчика і закріпіть його гвинтами. Під'єднайте проводи від датчиків до колодки блоку БТД відповідно схеми на рис. 3.5. Для зменшення перешкод при вимірюванні слід намагатися максимально наблизити БТД до датчика, для під'єднання використовувати екранований кабель. Довжина проводів від датчика до БТД не повинна перевищувати 0,5 м.

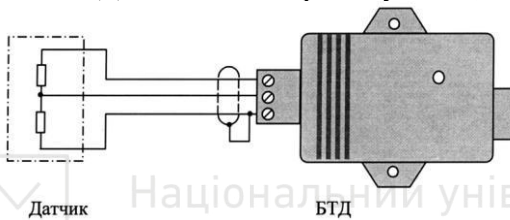
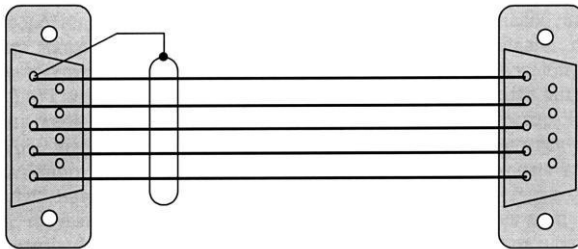


Рис. 3.5. Схема підключення БТД

З'єднайте БТД з блоком контролера за допомогою відповідних кабелів. Ви можете самостійно виготовити кабелі необхідної довжини, використовуючи кабель та роз'єми, які є в комплекті системи. Схема розпайки кабелів показана на рис. 3.6. Провід від екрану під'єднайте так, як показано на рис. 3.6. Провід від екрану з протилежного кінця кабеля залишіть не під'єднаним. Будьте уважні при розпайці проводів – роз'єми виробництва різних фірм можуть мати різний порядок нумерації контактів! Після розпайки закрийте роз'єми кришками.



Вид на розетку зі сторони пайки

Вид на вилку зі сторони пайки

Рис. 3.6. Схема з'єднань БТД



З'єднайте блок контролера з входом СОМ-порта комп'ютера за допомогою відповідного кабелю.

Перевірте стан акумулятора. В разі необхідності акумулятор слід зарядити.

Перевірте, що вимикач живлення на блоку контролера вимкнений. Під'єднайте кабель живлення до акумулятора, потім до блоку контролера.

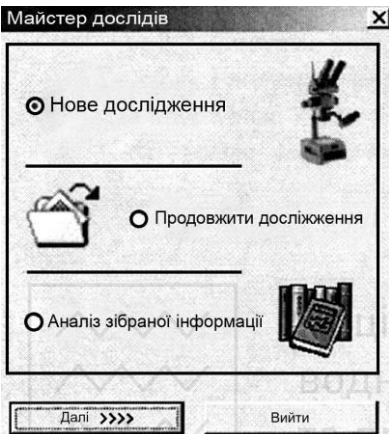
Увімкніть комп'ютер і запустіть програму "tenzo.exe". Увімкніть живлення блоку контролера. При цьому повинен засвітитися індикатор на передній панелі блоку контролера та індикатори на тих БТД, які підключені до блоку контролера.

На цьому підготовка апаратної частини системи до роботи закінчена. Подальша настройка системи проводиться з комп'ютера за програмою.

При завантаженні основної програми на екран виводиться меню вибору режиму роботи програми. Якщо в меню вибраний режим моніторингу, то відбувається вивід діалогового вікна настройки програми моніторингу та зчитування конфігураційного файлу. Якщо користувач вирішив вибрати список задіяних у досліді каналів, то виводиться відповідний запит. Якщо потрібно вибрати частоту опитування каналів, то можливі 2 варіанти: 1 – якщо частота опитування каналів вибрана однаковою, то потрібно її вказати (5, 10, 25, 50 або 100 Гц) і повернутися до діалогового вікна; 2 – якщо частоти опитування різні, то задати кожному каналу індивідуальну частоту. Якщо вибраний режим тарування, то виводиться діалогове вікно тарування, елементи керування встановлюються відповідно до значень конфігураційного файлу та ініціалізується передача даних з контролером, а в полі "Поточне значення" виводиться поточне значення каналу, який тарується. Також в діалоговому вікні тарування можна здійснити такі дії: вибір номера каналу, який буде таруватися; зміна одиниці вимірювання на поточному каналі, після чого ця одиниця запам'ятовується; зміна тарувального значення (із його запам'ятовуванням); встановити тарувальне значення, після чого запам'ятовується поточне значення з поточного каналу, яке порівнюється з "тарувальним" значенням; якщо вибрана кнопка закінчення тарування каналів, то відбувається повернення до діалогового вікна моніторингу. Якщо у діалоговому вікні моніторингу вибраний запуск моніторингу, то конфігурація зберігається в конфігурацій-



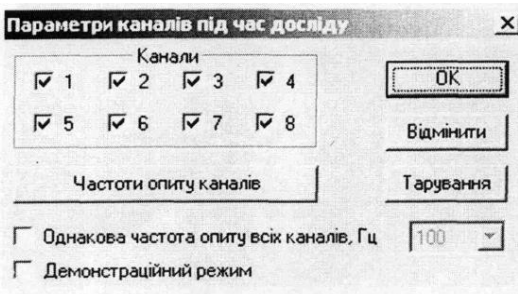
ному файлі і програма очищає область виводу в пам'яті, формує зображення графіка в пам'яті, а потім виводить його на екран. Далі на екрані весь час поновлюється графік і паралельно програма очікує дій від користувача, який може зробити наступне: змінити параметри графічного відображення деякого каналу, *зберегти базу даних, призупинити або поновити збір інформації*, експортувати інформацію в текстовий або xls-файл, вийти з програми.



Після вибору програми аналізу в головному вікні програми виводиться діалогове вікно вибору бази даних та база даних завантажується у пам'ять. Виводиться головне вікно програми аналізу, а також дочірні вікна. Далі програма відповідно до вибору користувача здійснює такі операції: після вибору кнопки "Нове вікно" створюється додаткове дочірнє вікно; після вибору кнопки "Вікна каскадом" всі дочірні вікна вистроюються каскадом; кнопка "Вікна площиною" –

всі дочірні вікна рівномірно розміщуються по площі головного вікна; кнопка "Закрити всі вікна" – закриття всіх дочірніх вікон; кнопка "Аналіз даних" - якщо вибраний діапазон аналізу і спосіб аналізу даних, то здійснюється аналіз; кнопка "Вихід з програми" – відбувається вихід з програми.

При завантаженні програми, яка дозволяє працювати з системою вимірювання механічних напружень, на екрані з'являється діалогове вікно, в якому можна здійснити такі дії:



- вибрати один з трьох варіантів роботи (розпочати нове дослідження; продовжити дослідження, яке було розпочато раніше і збережене; здійснити аналіз зібраної інформації), поставивши маркер у



відповідне поле;

- запустити вибраний режим, натиснувши кнопку "Далі";
- вийти з програми (кнопка "Вийти").

Після вибору режиму нового дослідження і натиску кнопки "Далі" на екран виводиться вікно, в якому є такі елементи:

- вкладка "Канали", де напроти кожного каналу можна поставити або забрати прапорець, якщо прапорець встановлений – значить канал з відповідним номером буде задіяний у досліді;

- кнопка "Частоти опиту каналів", з допомогою якої задається частота опитування програмою кожного каналу у спеціальному вікні;

- кнопка "Тарування", при натисканні якої на екран виводиться вікно, в якому здійснюється тарування кожного каналу;

- прапорець "Однакова частота опиту всіх каналів, Гц" – якщо він встановлений, то кнопка "Частоти опиту каналів" стає недоступною і з'являється доступ до поля, в якому можна вибрати частоту опиту всіх каналів з набору фіксованих значень (5, 10, 25, 50, 100 Гц);

- прапорець "Демонстраційний режим" – якщо він встановлений, то буде здійснюватися програмна емуляція надходження сигналів у канали;

- кнопка "ОК" – застосувати всі настройки і перейти без посередньо в режим моніторингу;

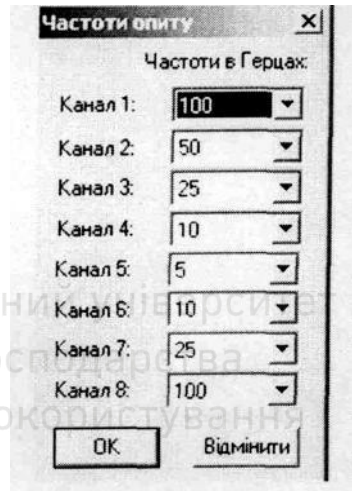
- кнопка "Відмінити" або хрестик у правому верхньому кутку – повернутися до попереднього вікна без застосування настройок.

Вікно вибору частот опиту каналів містить такі елементи:

- вісім полів, у кожному з яких можна вибрати частоту опиту каналу з номером, який вказаний біля поля;

- кнопка "ОК" – прийняти вибрані частоти і повернутися до попереднього вікна;

- кнопка "Відміна" – повернутися до попереднього вікна без застосування вибраних частот.





Вікно тарування, з допомогою якого виконується дуже важлива процедура – тарування (або градування, калібрування), тобто приведення у відповідність величин деформації, напружень чи тиску, які в даний момент діють на об'єкт досліджень (а значить, і на тензодавач) і є точно відомими, значенням електричного сигналу, що поступає через канал.



Процес цей здійснюється в такій послідовності: спочатку у верхній лівій частині вікна вибирається канал, який підлягатиме таруванню, потім в полі "Одиниця вимірювання" вказується, в чому вимірюється вплив, який діє на давач, далі об'єкт, на якому встановлений тензодавач, піддають певному впливу (наприклад, навантажують з допомогою вантажу з точно відомою масою, або прикладають силу, яку вимірюють іншим методом, без допомоги тензодавача). В полі "Тарувальна міра" вводять значення фізичної дії, яка діє на об'єкт досліджень (наприклад, маса вантажу, сила, тиск, механічне напруження). Коли значення сигналу у полі "Поточне значення у каналі" стане стабільним (тобто незмінним або буде слабо коливатися в невеликих межах), натискають кнопку "Додати" і точка з координатами (поточне значення в каналі, тарувальна міра) зображується на графіку і заноситься в базу даних. Таких точок можна задати максимум 9 штук. Кількість точок, які вже додані до бази даних, відображається у полі "Задано точок". Якщо виникає необхідність зробити повторне тарування для каналу, який вже проградуїований, то з допомогою кнопки "Скинути тарування для поточного каналу" з бази даних видаляються дані про всі тарувальні точки для каналу, який є активним в даний момент. Після натиску кнопки "ОК" всі зміни в таруванні каналів вступають в си-



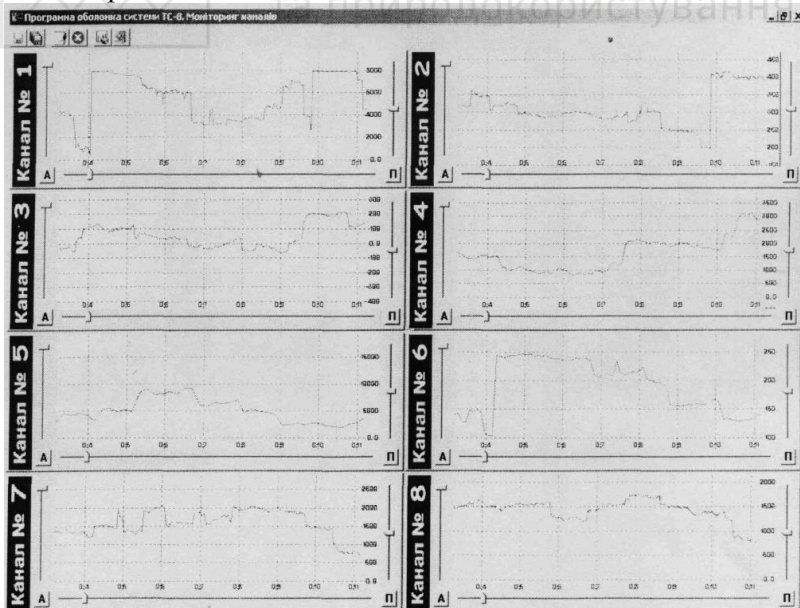
лу і використовуються при відображенні поточних значень каналів як в реальному часі, так і при збереженні даних у файл і подальшому аналізі зібраної інформації. Якщо натиснути хрестик у правому верхньому кутку вікна тарування, то всі зміни, внесені у тарувальні характеристики, відміняються і програма повертається до попереднього вікна.

Після того, як у вікні частот опитування каналів задані всі настройки і натиснута кнопка "ОК", відкривається головне вікно програми моніторингу каналів. У цьому вікні в реальному часі відображаються значення в каналах, які були вибрані для дослідження. Значення виводяться у вигляді неперервних графіків, віссю абсцис в яких є час, а віссю ординат – величина сигналу в каналі.

Біля кожного графіка справа і внизу є повзунку, перетягуючи які, можна змінювати масштаб відображення відповідно по осях значень в каналі і по часу.

Справа від графіків розташована смуга прокрутки, яка дозволяє переміщувати зображення у вертикальному напрямку.

Кнопка "А" дозволяє ввімкнути автоматичний підбір масштабу по осі ординат, мета якого полягає в тому, щоб графік не виходив за межі відображення.





Национальний університет
водного господарства
та природокористування

- При натисканні кнопки "П" графік, біля якого розташована кнопка, розгортається на весь екран для більш детального і зручного перегляду. Кнопка, яка дозволяє зберегти дані дослід у форматі файлів дослід для того, щоб пізніше продовжити розпочате дослідження.



- Кнопка дозволяє зберегти дані у файлі під іншим іменем.



- При натисканні цієї кнопки призупиняється приймання і відображення даних з каналів.



- Відновлюється прийом і відображення даних, що поступають з каналів.



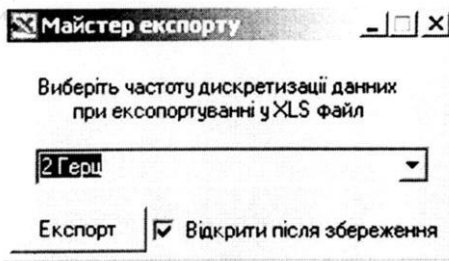
- Викликається меню, де для користувача пропонується зберегти результати дослід у форматі txt або xls-файла.

Якщо вибраний формат txt, то з'являється стандартне вікно і дані, отримані під час моніторингу, записуються в текстовий файл. Структура файлу має такий вигляд:

```

Дослід 4.6.2003 зак. 16 год 23 хв 45 сек - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Справка
# Экспортировані дані дослід. Вихідний файл:
-:\Program Files\Tenzo\дослід 4.6.2003 зак. 16 год 21 хв 17 сек.tdb
# Частота дискретизації: 100 Гц
# Задіяні канали: 3, 4, 5, 6, 7, 8
# Кількість каналів: 6
0.00: 217.3 3146. 15701 137.2 2330. 1.709
0.01: 217.3 3146. 15701 137.2 2330. 1750
0.02: 217.3 3146. 15701 137.2 2330. 1750
0.03: 217.3 3146. 15701 137.2 2330. 1750
0.04: 212.3 3146. 15701 137.2 2268. 1741.
0.05: 212.3 3146. 15701 137.2 2268. 1735.
0.06: 212.3 3146. 15701 137.2 2268. 1748.
0.07: 212.3 3146. 15701 137.2 2268. 1750
0.08: 203.1 3146. 15701 137.2 2275. 1750
0.09: 203.1 3146. 15701 137.2 2275. 1746.
0.10: 203.1 3168. 15701 140.2 2275. 1728.
0.11: 203.1 3168. 15701 140.2 2275. 1717.
0.12: 197.9 3168. 15701 140.2 2290. 1736.
0.13: 197.9 3168. 15701 140.2 2290. 1737.
0.14: 197.9 3168. 15701 140.2 2290. 1750
0.15: 197.9 3168. 15701 140.2 2290. 1750
0.16: 182.9 3168. 15701 140.2 2230. 1750
0.17: 182.9 3168. 15701 140.2 2230. 1750
0.18: 182.9 3168. 15701 140.2 2230. 1738.
0.19: 182.9 3168. 15701 140.2 2230. 1736.
0.20: 196.9 3037. 12329 136.9 2184. 1750
0.21: 196.9 3037. 12329 136.9 2184. 1737.
0.22: 196.9 3037. 12329 136.9 2184. 1750
0.23: 196.9 3037. 12329 136.9 2184. 1743.
0.24: 210.0 3037. 12329 136.9 2140. 1722.
0.25: 210.0 3037. 12329 136.9 2140. 1737.

```



Якщо ж вибраний формат xls, то запускається спеціальна програма і дані експортуються у формат Excel, причому надається можливість вказати частоту дискретизації даних при експортуванні у xls-файл та поставити/забрати прапорець у полі "Відкрити після збереження" (якщо прапорець стоїть, то автоматично запуститься MS Excel і відкриється файл із збереженими даними).

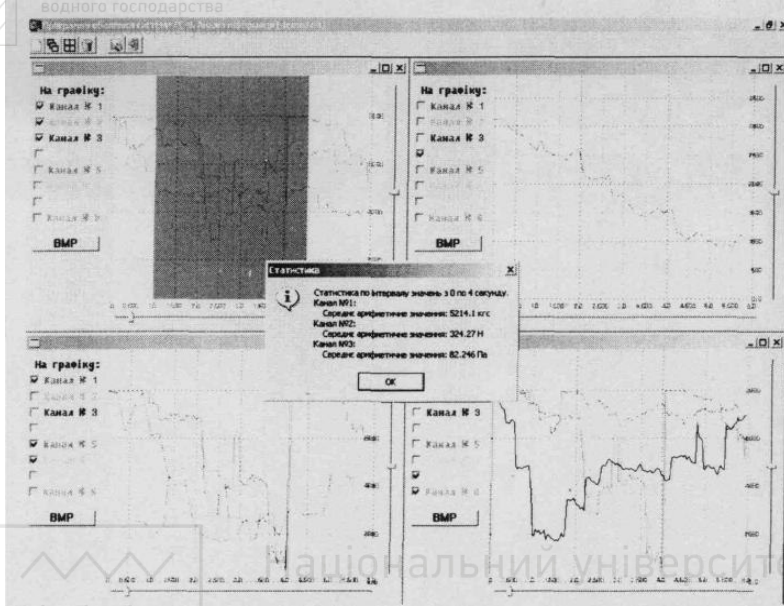


- Кнопка, призначена для виходу з режиму моніторингу без збереження інформації. Якщо в меню вибору режиму роботи програми був вибраний пункт

Вигляд експортованих даних

Час, сек	Канал №3	Канал №4	Канал №5	Канал №6	Канал №7	Канал №8
0,00	217,3121	3146,3037	15700,974	137,27832	2330,4702	1,7094017
0,20	196,99709	3037,3542	12329,01	136,98878	2184,4749	1750
0,40	116,16616	2941,6345	14378,333	143,64821	1963,2183	1694,4445
0,60	126,46674	2831,1287	15516,419	142,7072	1373,5781	1738,8889
0,80	156,36702	2670,0391	11913,762	140,789	1405,2671	1700,8547
1,00	174,82222	2764,2024	12198,283	133,22476	534,95361	1633,7607
1,20	195,7095	2576,6538	8522,5742	138,36409	571,16949	1560,6837
1,40	188,12714	2559,5332	7576,7324	176,94534	505,52817	1351,2821
1,60	198,57077	2428,0156	7938,1519	184,40102	509,48929	1750
1,80	181,26009	2583,6577	4646,9307	185,8849	992,74524	1734,6154
2,00	152,64737	2159,5332	3431,947	182,33804	928,23566	1732,906
2,20	19,884373	2105,8367	3128,2012	179,80457	1246,8225	1636,3248
2,40	29,612696	2143,1907	2843,6797	183,20667	1208,9089	1639,7437

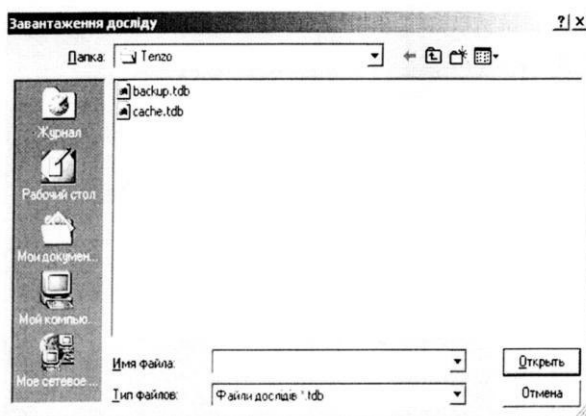
"Продовжити дослідження", то відкривається вікно завантаження дослідження, де можна вказати розташування та вибрати файл, в якому збережені дані раніше проведеного дослідження.



Після натискання кнопки "ОК", відкривається головне вікно програми моніторингу каналів, яке вже було описане вище.

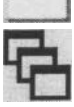
Після вибору в меню режиму роботи програми пункту "Аналіз зібраної інформації" відкривається вікно, в якому потрібно вказати файл, дані з якого будуть підлягати аналізу.

Коли файл вибраний і натиснута кнопка "ОК", з'являється головне вікно аналізу інформації:





Національний університет
водного господарства
та природокористування



- Кнопка для створення нового вікна всередині головного.

- Кнопка "Вікна каскадом" – впорядковує всі дочірні вікна каскадом.



- Кнопка "Вікна площиною" – розташовує дочірні вікна поряд, ділячи рівномірно площу основного вікна.



- Закрити всі дочірні вікна.



- Кнопка "Аналіз інформації", призначення якої буде описане далі.



- Вихід з програми аналізу.



У дочірньому вікні можна вибирати перелік каналів, для яких буде здійснюватися обробка інформації. Для цього потрібно поставити або забрати прапорець навпроти відповідного каналу. Далі треба задати інтервал часу, для якого буде проведений статистичний аналіз: натиснувши і утримуючи праву кнопку миші, виділити потрібну область. І тільки після цього слід натиснути кнопку "Аналіз інформації", після чого на екрані з'явиться окреме вікно з результатами. Кнопка **ВМР** дозволяє зберегти область з графіками дочірнього вікна в окремому ВМР-файлі. При її натисканні з'являється відповідне вікно:





Повзунки внизу і у правій частині вікна дозволяють змінювати масштаб графіків.



При натисканні кнопки  або  у верхньому правому куті головного вікна відбувається вихід з програми аналізу і повернення до меню вибору режиму роботи програми.

Технічне обслуговування системи проводиться з метою забезпечення її працездатності.

Перед початком роботи необхідно протерти зовнішні поверхні блоків від пилу, бруду сухою чистою салфеткою.

Перевірте стан акумулятора. Напруга на клеммах повинна бути не менше 12 В. В разі необхідності акумулятор слід зарядити. Зарядку акумулятора можна проводити від зарядного пристрою для автомобільних акумуляторів або джерела постійного струму. Номінальний зарядний струм не повинен перевищувати 0,7 А. Слідкуйте за чистотою поверхні корпусу навколо клем. Будьте уважні при підключенні проводів зарядного пристрою та блоку контролера.

Перевірте зовнішнім оглядом стан кабелів та роз'ємів. При монтажі кабелів на об'єкті будьте обережні. Пам'ятайте, що добрий технічний стан кабелів та роз'ємів – це запорука надійної роботи системи.

Перелік можливих несправностей системи та способи їх усунення наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Можливі несправності та способи їх усунення тензостанції ТС-8

№	Зовнішній прояв несправності	Можлива несправність	Спосіб усунення
1.	Не включається живлення блоку контролера	Акумулятор, кабель живлення, вимикач	Перевірити і усунути
2.	Не включається живлення одного з блоків БТД	1. Несправний БТД 2. Несправний кабель	Перевірити шляхом заміни
3.	Не включається живлення всіх блоків БТД	Відсутність напруги +8 В живлення БТД	Звернутися до спеціаліста
4.	Відсутність сигналу в одному з каналів	Датчик, його під'єднання Кабель до БТД	Перевірити і усунути
5.	Відсутність сигналів всіх каналів	Кабель RS-232	Перевірити і усунути
6.	"Шум", спотворення сигналу	Обрив екранного проводника в кабелі	Перевірити і усунути



4. Методичне забезпечення лабораторних робіт

Лабораторна робота №1

Тема: Будова і робота ґрунтового каналу

Мета: вивчити призначення, будову, роботу і технічні дані ґрунтового каналу НУВГП.

Завдання:

- 1) ознайомитись з будовою ґрунтового каналу і його складових: тензометричного візка, моделями робочих органів, приводом візка, вимірювальною апаратурою;
- 2) вивчити динамометричний і тензометричний методи дослідження взаємодії робочих органів із середовищем.

1.1. Будова ґрунтового каналу

Ґрунтовий канал призначається для експериментального дослідження робочих органів машин і обладнання, в першу чергу, для визначення зусиль, що діють на окремі вузли і деталі машин, тягового опору, що виникає при пересуванні робочих органів машин і дослідження взаємодії моделей робочих органів з ґрунтом. Ґрунтовий канал НУВГП використовується як для навчальних цілей, так і для науково експериментальних досліджень викладачами і аспірантами в дисертаційних роботах.

Ґрунтовий канал являє собою бетонний лоток з розмірами 10x1,8x1,5 м. заповнений піщано-глинистою сумішшю, склад якої можна періодично змінювати.

Над каналом по рейках пересувається тензометричний візок, який являє собою зварну конструкцію, що спирається на чотири колеса з ребордами. Для пересування тензометричного візка спроектований привід. До привода ставляться такі вимоги: забезпечення необхідного тягового зусилля, широкого діапазону швидкостей пересування візка, плавність його ходу. В якості силового обладнання прийнято електродвигун трьохфазового струму, трансмісія трактора ДТ-75Б і барабан будівельної лебідки. Принципова схема і загальний вигляд привода тензометричного візка дано на рис. 1.1.

Обертовий момент двигуна 3 через ланцюгову передачу 5 передається на вхідний вал ходозменшувача 4 і далі на коробку зміни швидкостей 2. Для збільшення передаточного числа і полегшення керування пересуванням візка використовується задній міст тракто-

ра ДТ-75Б, який складається із головної передачі, бортового фрикціону і бортового редуктора.

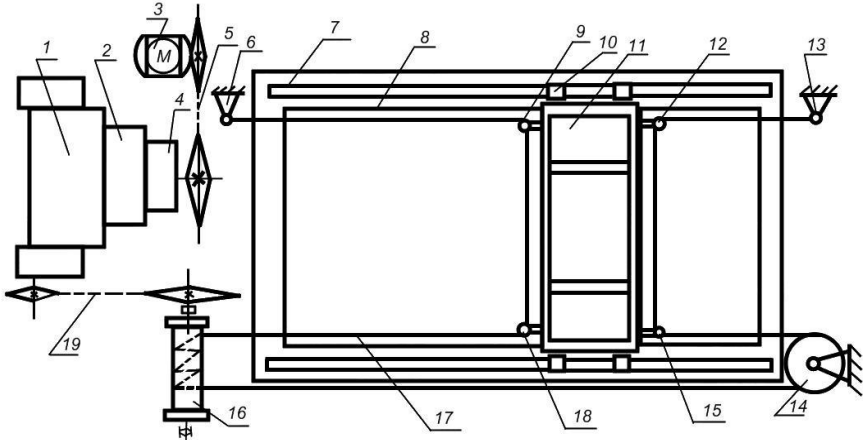


Рис. 1.1. Схема приводу танзометричного візка: 1 – задній міст; 2 – КПП; 3 – електродвигун; 4 – ходозменшувач; 5, 19 – ланцюгова передача; 6, 13 – опора; 7 – рамки; 8 – лоток; 9, 12, 14, 15, 16 – направляючі; 10 – ходові котки; 11 – візок; 17 – трос; 18 – барабан

Обертний момент двигуна 3 за допомогою ланцюгової передачі 5 передається на вхідний вал ходозменшувача 4 і далі на коробку зміни передач 2.

Для збільшення передаточного числа і полегшення керування переміщенням візка використаний задній міст трактора ДТ-75Б, що складає з головної передачі, бортового фрикціону і бортового редуктора. На вихідному валові правого бортового редуктора встановлена зірочка ланцюгової передачі 19, що служить для передачі обертного моменту на вал барабана 18. Відома зірочка цієї передачі виконана змінною. Набір зірочок разом з ходозменшувачем і коробкою зміни передач дозволяє змінити швидкість пересування візка в широких межах від 0,01 м/хв. до 3 м/хв. із великим числом проміжних величин. Механізм пересування візка трособлочний. Трос закріплюється на опорі 6, проходить через направляючі блоки 9 і 16, виходить на барабан 13. З барабана трос іде на проміжний блок 14 і далі, знову на направляючі блоки 12 і 15, минаючи які закріплюється на опорі 13. Така конструкція дозволяє уникнути перекосу візка при русі уздовж каналу.

Схема вимірювання сил різання дана на рис. 1.2. При визначен-

ні сил різання можливі два методи виміру: динамометричний і тензометричний.

Основним методом досліджень робочих органів землерийних машин у даній час є тензометричний метод, заснований на вимірі ефективного опору тензодатчика, міцно з'єднаного з досліджуваною деталлю, при його деформації разом з останньою.

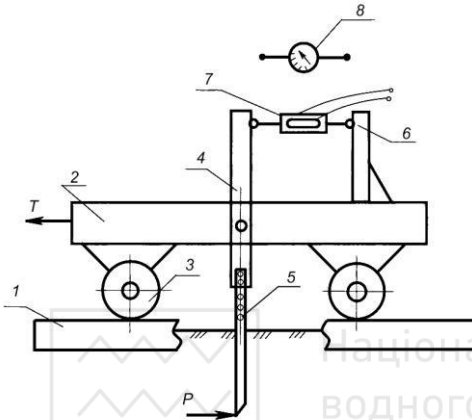


Рис. 1.2. Схема вимірювання сил різання: 1 – рейки; 2 – тензометричний візок; 3 – котки; 4 – кронштейн кріплення робочих органів; 5 – ніж, що досліджується; 6 – стояк; 7 – тензолапка; 8 – динамометр; P – сила різання; T – сила тяги

При включенні у вимірювальну схему датчики з'єднують за допомогою одинарного моста Уітстона. Основна задача якого полягає в тому, щоб перетворити зміни електричного опору датчика в електричний струм або напругу.

У залежності від прийнятої схеми з'єднання датчика в плечах моста можна вимірювати деформації розтягання, стиску, згину, кручення.

Головною перевагою тензометричного способу з використанням тензодатчиків опорів при дослідженні землерийних робочих органів є його універсальність, висока точність виміру (помилка не перевищує 10...12 %), а також можливість синхронно вести запис безлічі досліджуваних і взаємозалежних параметрів на одній стрічці у виді окремих ліній. Тому для виміру сил і моментів використовуємо метод тензометрування.

Динамометричний метод у лабораторних умовах можна використовувати як перевірочний.

Лабораторна робота №2

Тема: Будова і робота вимірювально-реєструючої апаратури.

Мета: Вивчити призначення, будову, роботу, технічні дані вимірювально-реєструючої апаратури для тензометрування.

Завдання:



1) Ознайомитись із будовою і роботою тензорезисторів і тензоланок.

2) Вивчити методи вимірювань напружень згину, зсуву, кручення та апаратуру для їх визначення.

3) Провести наклеювання тензорезисторів на тензобалку.

2.1. Будова тензоопорів (тензодатчиків).

Вимірювання механічних напружень тензооперами ґрунтовані на зміні електричного опору провідника струму при його деформації. Тензоопори бувають дротяні і фолієві.

Дротяні тензоопори (датчики) (рис. 2.1) являють собою зигзаго-

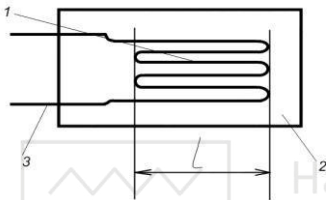


Рис. 2.1. Дротяний тензоопір: 1 – тензодріт; 2 – підкладка; 3 – струмовивідні кінці

подібний константановий дріт діаметром 0,02-0,05 мм, який розташований між двома тонкими смужками паперу або плівки і приклеєний до них.

Для зручності електричного монтажу до кінців дротів припаюють мідні струмовивідні дроти діаметром 0,1-0,2 мм і довжиною 20-30 мм.

Недоліком дротяних тензоопорів є кінці ділянок, що складають петлі, мають поперечну чутливість. Це знижує чутливість датчика в порівнянні з чутливістю матеріалу дроту на 20-30 %, викликає зміну опору R від поперечних деформацій, що спотворює покази датчика. Разом з тим, дротяні датчики є самими поширеними дякуючи простоті виготовлення.

Фолієві тензоопори (датчики) (рис. 2.2) складаються із стрічки товщиною 4-12 мікрон, частина металу якої вибрана травленням, а та що залишилася є самим датчиком. Частини, що сприймають поперечні деформації, мають більший переріз і, відповідно, менший опір, тому реакція датчика на поперечні деформації незначна. Кінці товсті, тому легко здійснюються виводи. Розташування сітки може бути будь-яким, зокрема, радіальним.

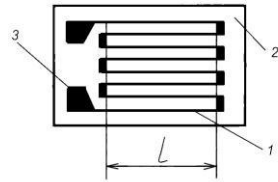


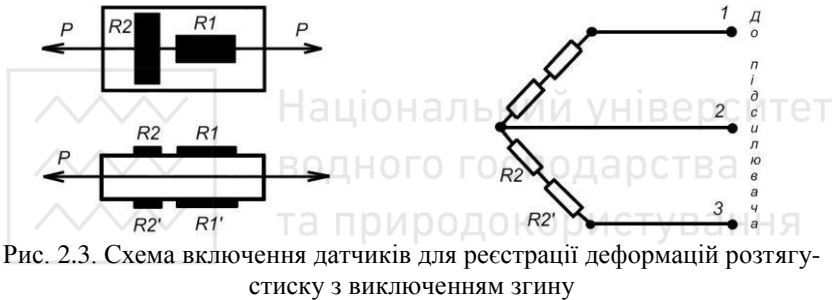
Рис. 2.2. Фолієвий тензоопір: 1 – стрічка; 2 – підкладка; 3 – струмовивідні кінці



Недолік – дуже тонка стрічка, яка може ламатися, що знижує надійність.

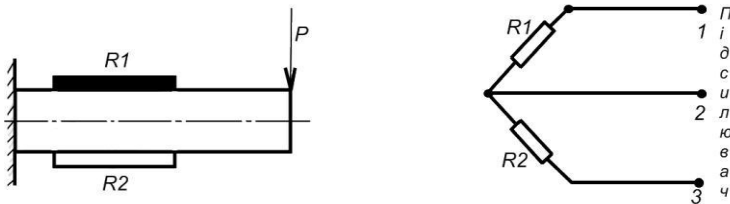
2.2. Вимірювання напружень розтягу і стиску

При вимірюванні деформацій від розтягуючого або стискуючого навантаження на деталі, які мають симетричний відносно нейтральної осі розріз, монтажна і вимірювальна схема датчиків будуть мати два робочих і два компенсаційних датчики в кожному плечі (рис. 2.3). Датчики R_1 і R_2 наклеюють на деталі на діаметрально протилежних відносно нейтральної осі волокнах. На цю ж поверхню в перпендикулярному напрямку наклеюють компенсаційні датчики R_2' і R_1' . Така схема не чутлива до деформацій від згинаючого навантаження і від зміни температури.



2.3. Вимірювання напружень згину

Монтажна і вимірювальна схеми датчиків для вимірювання деформацій від згину деталі в досліджуваному перерізі приведена на рис. 2.4.



Датчики R_1 і R_2 , що включені в сусідні плечі вимірювального містка, накладають на деталь, навантажену згинаючим моментом.

Один із датчиків R_1 , наклеюють на поверхню деталі, на які ді-



ють напруження розтягу, а другий датчик R_1 – на поверхню, на яку діє таке ж по величині напруження стиску, тобто датчики R_1 і R_2 підлягають деформаціям, однаковим по величині, але протилежним за знаком. При цьому виключається вплив температури на показ датчиків, так як при зміні температури обидва датчики деформуються на однакову по величині і знаку величину. Оскільки вони включені в сусідні плечі моста, струм у вимірювальній діагоналі моста не змінюється. Таким чином, тут забезпечується так звана схемна термокомпенсація. Другою перевагою такої схеми – чутливість датчиків в два рази більша, як при одному активному датчику.

2.4. Вимірювання напружень зсуву і кручення

При вимірюванні напружень кручення (обертового моменту) датчики наклеюють на зовнішню поверхню валу, що скручує і включають в мостову схему так, як показано на рис. 2.5.

Датчики 1-й і 3-й сприймають стиск, а 2-й і 4-й – розтягання. Тому датчики 1-й і 3-й включають послідовно в одне плече моста, а 2-й і 4-й – в сусіднє плече. Деформація кожного з датчиків змінює струм в вимірювальній діагоналі моста в одному напрямку. Така схема забезпечує температурну компенсацію.

Якщо вал, який досліджується, крім кручення навантажений згинаючим моментом, то датчики, що розташовані на протилежних кінцях діаметру вала (1 і 3, 2 і 4) деформуються на однакову величину в протилежних напрямках. Враховуючи те, що кожна пара таких датчиків розташована в одному плечі моста, то сумарний опір плеча моста (R_1+R_3 і R_2+R_4) і струм в діагоналі моста при цьому не змінюється, тобто вплив згину на показ датчиків виключається.

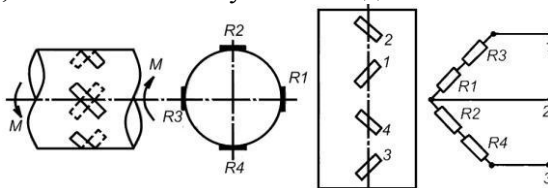


Рис. 2.5. Схема ввімкнення датчиків для реєстрації деформацій кручення

Одним з елементів вимірювальної електротензометричної системи є реєструючий пристрій. Для реєстрації, як статичних так і динамічних процесів, переважно використовуються світлопроменеві осцилографи. Серійно випускається багато світлопроменевих осцилографів, які відрізняються конструктивним оформленням і техніч-



ними характеристиками, але усі вони побудовані приблизно по одній принциповій схемі.

Принципова схема осцилографа показана на рис. 2.6.

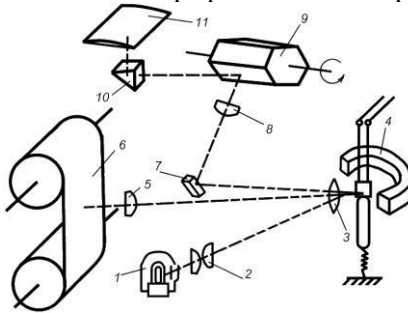


Рис. 2.6. Схема магнітоелектричного (шлейфового) осцилографа: 1 – лампа; 2, 3, 5, 8 – лінзи; 4 – вібратор; 6 – фотострічка; 7 – дзеркальце; 9 – барабан; 10 – призма; 11 – екран

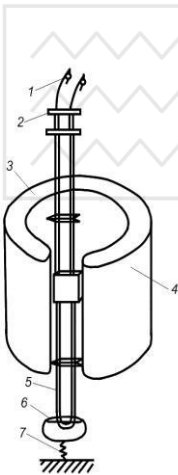


Рис. 2.7. Схема петльового вібратора: 1 – виводи; 2 – утримувачі; 3 – поліси магніту; 4 – дзеркало; 5 – петля; 6 – блок опори петлі; 7 – натяжна пружина

Основним робочим елементом осцилографа є вібратор (шлейф). Вібратор 4 представляє собою гальванометр, котушка якого з метою зменшення моменту Інерції виконана у вигляді однієї петлі, розмішеної в магнітному полі сильного постійного магніту (рис. 2.7).

До петлі приклеєне дзеркальце площею біля 1 мм^2 . Петля вібратора включена з вимірювальною діагоналлю моста, при проходженні струму через петлю вона разом з дзеркальцем, внаслідок взаємодії струму і магнітного поля, скручується на кут, пропорційний величині струму, що проходить через неї, тобто на кут, пропорційний деформації датчика.

Внаслідок малої маси вібратор практично безінерційний, що дає можливість досліджувати процеси з частотою коливань в декілька тисяч Герц.

Вібратор розташований в корпусі, що заповнений для заспокоювання коливань маслом, в корпусі є отвір, в якому вмонтована лінза 3.

Промінь світла від лампи 1 проходить через



щілину її корпусу, через лінзи 2 конденсатора, через лінзу 3 і падає на дзеркальце вібратора. Відбившись від дзеркальця, промінь проходить через лінзи 3 та 5 і надає на рухому фотострічку 6, яка може рухатись з різною швидкістю.

Якщо через вимірювальну діагональ моста струм не проходить, то дзеркальце вібратора знаходиться у вихідному положенні і на фотострічці викреслюється нульова лінія.

Якщо через вимірювальну діагональ моста проходить струм постійної величини (стержень з наклеєним на нього датчиком знаходиться під дією постійного навантаження), то на стрічці викреслюється пряма лінія на деякій відстані від нульової лінії, якщо величина струму, що поступає у вимірювальну діагональ моста, змінюється, то на фотострічці викреслюється крива або ломана лінія.

Частка світлового променя, що йде від вібратора, відсікається дзеркальцем 7 і відбиваючись від нього, проходить через лінзу 8 і падає на багатогранний дзеркальний барабан 9, що обертається. Відбиті від дзеркального барабана промені, переломлюючись, проходять через призму 10 і попадають на матове скло 11, на якому відтворюється записуючий на стрічці процес, що вивчається для візуального спостереження. Внаслідок обертання барабана 9 світловий "зайчик" на матовому склі 11 переміщується в напрямку, перпендикулярному до його відхилення, що задається вібратором.

Якщо шляхом регулювання швидкості обертання дзеркального барабана 9 досягнути співпадання періоду передачі зображення з періодом процесу, що досліджується, то промінь буде викреслювати на матовому склі 11 зображення кривої цього процесу, яке буде здаватися спостерігачу нерухомим.

В залежності від конструкції осцилографа в його склад входить від 4 до 30 вібраторів, що дозволяє фіксувати на фотострічці одночасно декілька процесів (на схемі показано тільки один). Нульова лінія може записуватись або одним із вібраторів, або при допомозі спеціального дзеркальця.

Світлопроменевий осцилограф K115 призначений для одночасної реєстрації світловим променем на фотострічці з ультрафіолетовим записом або фотографічним записом і хімічним проявленням і візуального спостереження до 12 процесів зміни по часу ефективних величин. Він має пересувне виконання. Границі електричних величин, що реєструються, по струму - до 6 А, по напрузі - до

Осцилограф типу K115 представляє собою скомплектовані на монтажному столі переносний осцилограф типу H115, блок живлення П133 і два магазину шунтів і додаткових опорів типу P155.

Лабораторна робота №3

Лабораторні роботи №3...7 розроблені на основі методики [11].

Тема: Лабораторне обладнання для фізичного моделювання робочих процесів землерийно-транспортних машин (ЗТМ).

Мета: Вивчити лабораторне обладнання для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ.

Завдання:

- 1) Ознайомитись з будовою стенду для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ;
- 2) Ознайомитись з вимірювальною системою для реєстрації параметрів взаємодії моделей робочих органів з середовищем, що розроблюється;
- 3) Вивчити основні положення по підготовці моделюючого середовища;
- 4) Вивчити методику планування та статистичної обробки експериментальних досліджень.

3.1. Конструкція та принцип дії стенду для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ

Стенд для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ (рис. 3.1.) складається з візка 1, який переміщується по рейкам ґрунтового каналу. На візку 1 за допомогою двох підкосів 2 встановлена вертикальна несуча рама 3 з повздовжніми балками 4 і 5 для переміщення верхніх 6 і нижніх 7 роликів опорної рами 8. Опорна рама 8 за допомогою верхньої 9 та нижньої 10 тяг з'єднана з робочою панеллю 11, на якій закріплена пара Г-подібних кронштейнів 12 для навішування тензометричних ланок та досліджуваних моделей робочих органів ЗТМ. Підйом або опускання робочої панелі 11 здійснюється гвинтом 13, нарізна частина якого за допомогою траверси 14 закріплена на опорній рамі 8, а нижній кінець шарніром 15 на верхній тязі 9 паралелограмного механізму. Поперечне переміщення опорної рами 8 здійснюється гвинтом 16, який змонтовано в підшипникових опорах на несучій рамі 3. Нарізна частина гвинта 16 має гайку 17, взаємодіючу звилкою 18 на опорній рамі 8. Під час



проведення досліджень з фізичними моделями ЗТМ опорна рама 8 фіксується нерухомо відносно несучої рами 3 гвинтовими фіксаторами 19.

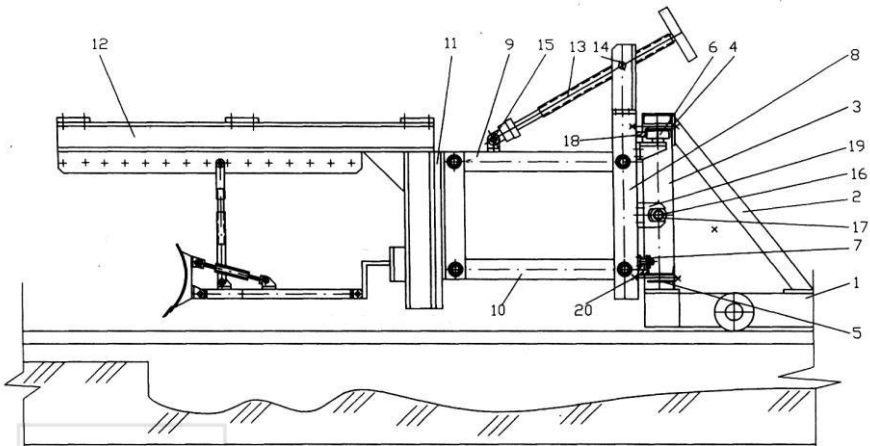


Рис. 3.1. Конструктивна схема тензометричного візка

3.2. Вимірювальна система

Вимірювальна система стенду для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ являє собою комплект стаціонарно встановлених приладів, які призначені для тензометрування досліджуваних процесів. Блок-схема системи вимірювання показана на рис. 3.2.

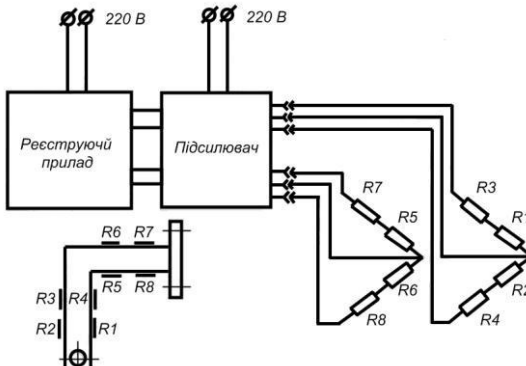


Рис. 3.2. Блок схема системи вимірювання

Основними елементами системи є універсальні тензоланки, на яких наклеєні тензодатчики $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8$. Тензодатчи-



ки R_1, R_2, R_3, R_4 наклеєні на вертикальному плечі тензоланки і призначені для вимірювання поздовжніх навантажень, R_5, R_6, R_7, R_8 – для вертикальних. З'єднання датчиків виконано за напівмостовою схемою.

До комплексу вимірювальної системи стану також належать підсилювач і реєстраційний прилад (осцилограф, самописець). Живлення напівмоста забезпечується від підсилювача, канали якого з'єднані з відповідними напівмостами екранованими провідниками. Вимірювальні сигнали, які виникають в напівмостах тензометрів, підсилюються в підсилювачі і подаються на відповідні канали реєстраційного приладу. Живлення всіх приборів відбувається від відповідних блоків живлення, що під'єднані до зовнішньої мережі напругою $U = 220$ В.

3.3. Моделююче середовище

Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту, в залежності від масштабу моделі є важливою умовою наближеного фізичного моделювання. З аналізу критеріїв подібності випливає, що в процесі моделювання такі характеристики ґрунту, як зчеплення C_w і кут внутрішнього тертя ρ , потрібно змінювати пропорційно масштабу моделювання, а щільність ґрунту γ_i , кут зовнішнього тертя δ , змінювались не більш ніж в межах точності вимірювання.

В якості комплексного параметра, що визначає міцнісні характеристики ґрунту при експрес – аналізі використовується кількість ударів динамічного щільноміра.

Моделювання ґрунту досягається піщано-глинистою сумішшю, яка складається з 85 % піску та 15 % лісовидного суглинку.

Визначення потрібних фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється відбувається з урахуванням рівності наступних критеріїв подібності:

$$\frac{\gamma_M l_M}{\sigma_M} = \frac{\gamma_H l_H}{\sigma_H}; \quad \frac{\gamma_M l_M}{\tau_M} = \frac{\gamma_H l_H}{\tau_H}; \quad \frac{\gamma_M l_M}{C_{wM}} = \frac{\gamma_H l_H}{C_{wH}};$$
$$\frac{C_M V_M}{\sigma_M l_M} = \frac{C_H V_H}{\sigma_H l_H}; \quad tg \varphi_M = tg \varphi_H, \quad (3.1)$$

де γ – щільність ґрунту; l – визначальний лінійний розмір робочого органу; σ – нормальне напруження; τ – дотичне напруження ґрунту; C_w – зчеплення ґрунту; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту; C – кіль-



кість ударів динамічного щільноміра, яка відповідає питомій енергоємності занурення в фунт круглого штампа; V – швидкість руху робочого органу.

Підготовка моделюючого середовища відбувається шляхом його зволоження, ретельного перемішування та ущільнення до потрібної міцності, яка контролюється динамічним щільноміром

$$C_m = \frac{C_H}{K_I}; \quad C_{wm} = \frac{C_{WH}}{K_I}. \quad (3.2)$$

Додержання співвідношення (3.2) гарантує фізичну подібність моделюючого середовища, що дозволяє забезпечити подібність процесів, які відбуваються при копанні фунту робочим обладнанням моделі та натурі.

3.4. Зміст експериментальних досліджень

Оснoву експерименту складає методика. Методика експерименту являє собою систему прийомів і засобів для послідовного найбільш ефективного здійснення експериментальних досліджень. Методика експерименту складається з наступних пунктів:

- визначення мети та задач експерименту;
- вибір об'єкту дослідження;
- визначення предмету дослідження;
- визначення обладнання і вимірювальних приладів для проведення експериментальних досліджень;
- визначення критерію оцінки процесу; вибір факторів, що змінюються;
- обґрунтування погрібної кількості вимірювань;
- порядок проведення експериментальних досліджень;
- обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

Мета та задачі експерименту обґрунтовуються на підставі раніш відомої інформації, висунутої гіпотези і виконаних теоретичних дослідженнях.

Вибір факторів, що змінюються – це встановлення основних і другорядних характеристик, які впливають на процес, що досліджується. На підставі аналізу розрахункових або теоретичних схем процесу всі фактори класифікуються і далі з них складається ряд найбільш впливових.

Обґрунтування засобів вимірювання включає вибір потрібних



для спостереження та вимірювання приладів, обладнання, машин, апаратів та ін.

Визначення потрібної мінімальної кількості вимірювань потрібно для забезпечення стійкого середнього значення величини, що вимірюється, яке задовольняє заданій ступені точності. Встановлення потрібної мінімальної кількості вимірювань має велике значення, оскільки забезпечує отримання найбільш об'єктивних результатів при мінімальних витратах часу та засобів і визначається по окремій методиці [4].

В методиці експерименту докладно описується процес проведення експерименту. Спочатку складається послідовність проведення операцій вимірювання і спостереження. Потім ретельно описується кожна операція окремо з урахуванням обраних засобів для проведення експерименту. Важливу увагу потрібно приділяти методам контролю якості операцій, які забезпечують при мінімальній кількості вимірювань високу надійність та задану точність.

Важливим розділом методики проведення експерименту є вибір методів обробки та аналізу експериментальних даних.

Лабораторна робота №4

Тема: Тарування вимірювальної системи і обробка осцилограм.

Мета: Вивчити принцип дії тарувального стенда для тарування тензоапаратури.

Завдання:

- 1) Ознайомитись з будовою тарувального стенда СДПУ-20.
- 2) Провести тарування тензоланки.
- 3) Провести обробку тарувальної діаграми.

4.1. Тарування вимірювальної системи

Суть тарування полягає в визначенні відповідності між відхиленням реєструючого сигналу від нульового положення і навантаженням, яке діє в заданому напрямі.

При дослідженні дотичної складової опору ґрунту копанню робочими органами ЗТМ (наприклад, зубом розпушувача) для тарування вимірювальної системи використовується гнучкий канат 1, з кінцевим гаком 2, блок 3, гакова підвіска 4 і тарувальні вантажі 5 (рис. 4.1). Тарувальний канат за допомогою кінцевого гака 2 зачіплюється за лезо робочого органу, а до другого кінця, що огинає блок 3, підвішується гакова підвіска 4, на яку встановлюються та-

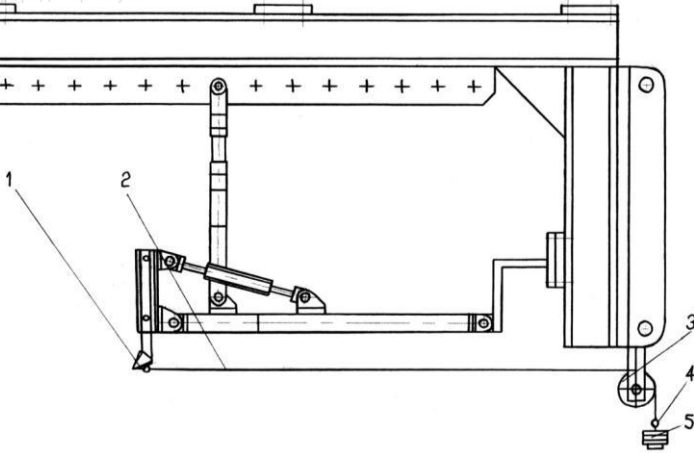


Рис. 4.1. Схема тарувальної системи

Тарування вимірювальної системи виконується наступним чином: при відчепленому від ножа тарувальному канаті, відбувається балансування напівмостів тензометрів, яка дозволяє встановити реєструючий сигнал в нульове положення. Дане положення записується на осцилограму. Далі до леза робочого органу поєднується тарувальний канат і послідовно встановлюються на гакову підвіску 3-5 тарувальних вантажів. При цьому, після установки кожного з них відбувається включення стрічкопротяжного механізму реєструючого приладу. Після установки та реєстрації останнього тарувального вантажу відбувається послідовне розвантаження гакової підвіски з відповідною реєстрацією даних на осцилограмі.

Після закінчення тарування на осцилограмі залишається зображення даних тарування (рис. 4.2).

Положення відрізків 1, 2, 3 відносно нульової лінії відповідає величинам тарувальних навантажень

$$l_1 \rightarrow G_1^T; l_2 \rightarrow G_1^T + G_2^T; l_3 \rightarrow G_1^T + G_2^T + G_3^T.$$

Якщо відома величина тарувальних вантажів і замірів відхилень l_1 , l_2 та l_3 , можливе визначення коефіцієнтів тарування

$$\bar{K}_T = \frac{1}{2} \left(\frac{G_1^T}{l_1} + \frac{G_1^T + G_2^T}{l_2} + \frac{G_1^T + G_2^T + G_3^T}{l_3} \right). \quad (4.1)$$

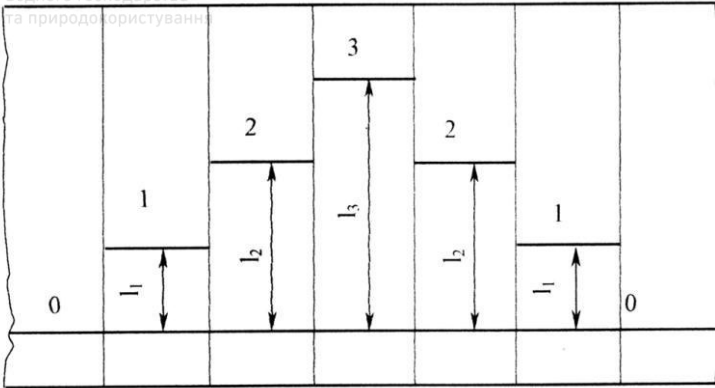


Рис. 4.2. Загальний вигляд тарувальної осцилограми

Значення отриманого коефіцієнта використовується для розшифровки осцилограм досліджуваних процесів У цьому випадку величина діючого в процесі копання зусилля P_i визначається залежністю

$$P_i = K_T l_i,$$

де l_i – відхилення сигналу від нульового положення в потрібному місці осцилограми, яке вимірюється в мм.

Для розшифровки осцилограми часто використовуються тарувальні графіки, які будуються по даним тарувальних осцилограм. Вид тарувального графіка показано на рис. 4.3. Наявність тарувального графіка значно спрощує процедуру розшифровки осцилограми і забезпечує потрібну точність вимірювання параметрів, що досліджуються.

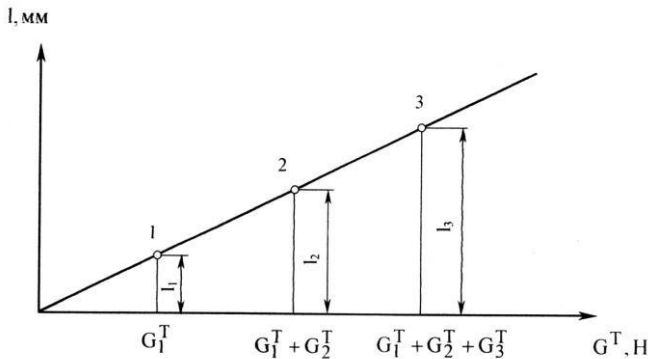


Рис. 4.3. Загальний вигляд тарувального графіка



4.2. Обробка і розшифровка осцилограм

В результаті реалізації кожного дослідження на стрічці осцилограми залишається безперервний запис величини реєстрованого параметра P_t . Загальний вигляд отриманої осцилограми показано на рис. 4.4.

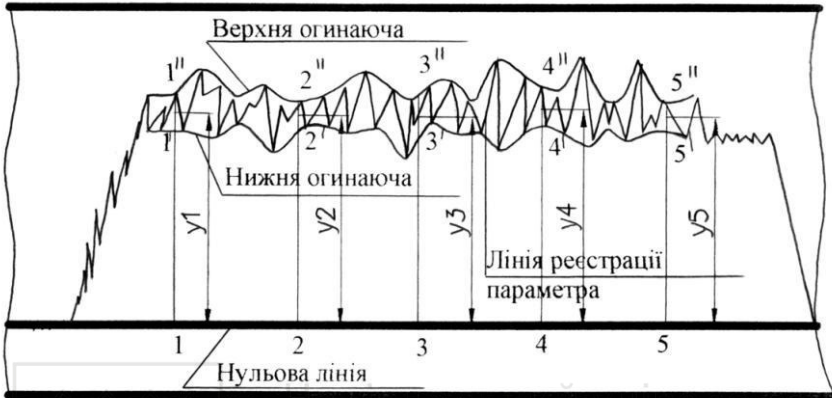


Рис. 4.4. Схема фрагменту осцилограми

Для отримання числових значень вимірюваного параметра P_t осцилограма може бути опрацьована різними методами: планіметруванням, скануванням і методом координат.

Найбільш поширеним серед названих є метод координат, який пропонується використовувати в учбових лабораторних роботах.

Для обробки осцилограми методом координат потрібно:

- гостро заточеним олівцем на осцилограмі відмітити нульову лінію:

- по пікам максимальних і мінімальних відхилень реєструючого сигналу провести верхню і нижню огинаючі криві;

- на кривій реєстрації відмітити початок і кінець сталої стадії процесу, що вивчається і через вказані відмітки опустити на нульову лінію перпендикуляри 1, 5;

- довжину відрізка нульової лінії між ординатами початку і кінця реєстрації перпендикулярами 2, 3 і 4 розділити на рівні інтервали миттєвих значень вимірюваного параметра. Кількість інтервалів залежить від погрібної кількості значень вимірюваного параметра P_t . Для учбового експерименту пропонується кількість інтервалів приймати в межах 4-х або 6-й;

- відрізки $1^I, 1^{II}, 2^I, 2^{II}, \dots, 5^I, 5^{II}$, що відображають миттєвий інтер-

вал варіації параметра P_l при перетині ординатами 1, 2, ..., 5 верхньої і нижньої огинаючих кривих, поділити на дві рівні частини. Користуючись вимірювачем заміряти середні значення ординат y_1, y_2, \dots, y_5 . Отримані значення в мм за допомогою тарувального графіка або коефіцієнта тарування K_T перевести в розмірність сили (H) і занести в робочу таблицю, форма якої надається в кожній наступній лабораторній роботі;

- отриманий масив цифрової інформації підлягає статистичному аналізу, на основі якого при потребі будуються відповідні графіки та діаграми.

Середнє значення випадкової величини визначається по формулі

$$P_l = \frac{\sum_{i=1}^n P_{li}}{n}, \quad (4.2)$$

де n – кількість інтервалів

При відомому вибірковому значенні визначаємо дисперсію

$$S_{(P_l)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{li} - \bar{P}_l)^2}{n-1}, \quad (4.3)$$

та середньоквадратичне відхилення

$$S_{(P_l)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{li} - \bar{P}_l)^2}{n-1}}. \quad (4.4)$$

Тоді коефіцієнт варіації P_l буде дорівнювати

$$K_{var} = \frac{S_{(P_l)} 100}{\bar{P}_l}, \quad \%. \quad (4.5)$$

Для оцінки довірчого інтервалу зміни середнього значення використовується наступна розрахункова залежність

$$\Delta \bar{P}_l = \frac{t \cdot S_{(P_l)}}{\sqrt{n}}, \quad (4.6)$$

де t – критерій Ст'юдента – табульована величина, значення якої визначається числом повторних вимірювань n і довірчою ймовірністю α_0 . При довірчій ймовірності $\alpha_0 = 0,95$ (95%) його значення визначається по табл. 4.1. [2].



Значення критерію ст'юдента (t-критерію) для різного числа вимірювань при $\alpha_0 = 0,95$

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>t</i>	12,71	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23	2,2	2,18
<i>n</i>	14	15	16	17	18	19	20	30	40	60	120	
<i>t</i>	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,0	2,0	2,0	2,0	

При відомому ΔP_I довірчі межі для середнього значення визначаються із співвідношення:

$$P_{l_{cp}} = P_I \pm \frac{t \cdot S(P_{fi})}{\sqrt{n}}. \quad (4.7)$$

4.3. Порядок виконання роботи

1. Надати схему конструкції стенду для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ з позначенням його складових частин.
2. Привести схему системи вимірювання та її принцип роботи, а також марки приладів для вимірювальної системи.
3. Записати критерії подібності для наближеного фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ.
4. Надати склад методики експерименту.
5. Ознайомитися з порядком обробки і розшифровки осцилограм.
6. Надати висновки по роботі.

4.4. Техніка безпеки при виконанні лабораторної роботи

1. Перед проведенням лабораторної роботи потрібно пройти загальний інструктаж по техніці безпеки з розписом в журналі.
2. В лабораторії пройти інструктаж по техніці безпеки на робочому місці.
3. Уважно вивчити апаратуру керування стендом для фізичного моделювання і вивчити інструкцію по пуску та керуванню ним.
4. В процесі виконання лабораторної роботи суворо дотримуватись учбової дисципліни .
5. Категорично забороняється:
 - самостійно вмикати центральний рубильник стенду;
 - порушувати інструкцію по запуску та керуванню стендом;
 - розташовуватись ближче 0,5 м від стенда під час переміщення тензометричного візка.



Лабораторна робота №5

Тема: Дослідження процесу копання ґрунту робочим обладнанням скрепера.

Мета: Отримання практичних знань та навичок експериментального визначення головних параметрів процесу копання ґрунту робочим обладнанням скрепера

Завдання:

1) Закріпити загальнотеоретичні положення про закономірності процесу взаємодії ківшевих органів ЗТМ та аналітичне визначення кількісних показників дотичної складової опору ґрунту копанню ковшем скрепера;

2) Вивчити об'єм та послідовність дій, що виконуються при проведенні експериментальних досліджень процесів копання ґрунтів ківшем скрепера;

3) Обробити і проаналізувати дослідно-експериментальну інформацію та скласти звіт по виконаній роботі.

5.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель ківша скрепера ДЗ-87-1, що виготовлена в масштабі 1:5 ($k_l = 5$).

Фізична модель ковша скрепера, що показана на рис. 5.1, складається із 2-х бокових стінок 1, днища 2, передньої заслонки 7 та задньої стінки 11. В передній частині днища ківша закріплено трьохсекційний ніж 4. З'єднання днища з боковими стінками забезпечено за допомогою кутників 3.

Задня стінка виконана рухомою і фіксується в потрібних позиціях за допомогою спеціального гвинта, що встановлений в отворі траверси 10. Передня заслонка ківша 7 шарнірно закріплена на бокових стінках 1. Положення передньої заслонки фіксується за допомогою 2-х бокових тяг 8, що кріпляться на пальцях кронштейнів бокових стінок 9.

Положення передньої заслонки фіксується за допомогою 2-х бокових тяг 8, що кріпляться на пальцях кронштейнів бокових стінок 9.

Бокові стінки ківша в передній частині оснащені підрізаючими ножами 12.

Ківш за допомогою осей 6 і 5 під'єнано до передньої підвіски 13 та тензометрів 18 Г-подібного кронштейна тензометричного візка ґрунтового каналу. Передня підвіска шарнірно кріпиться до кутни-



ків 17 Г-подібного кронштейна за допомогою вісі 16. Конструкція передньої підвіски, що складається із верхніх 15, нижніх 13 тяг і рамки 14, забезпечує поперечну стійкість ківша а також необхідний кут нахилу ківша до горизонту.

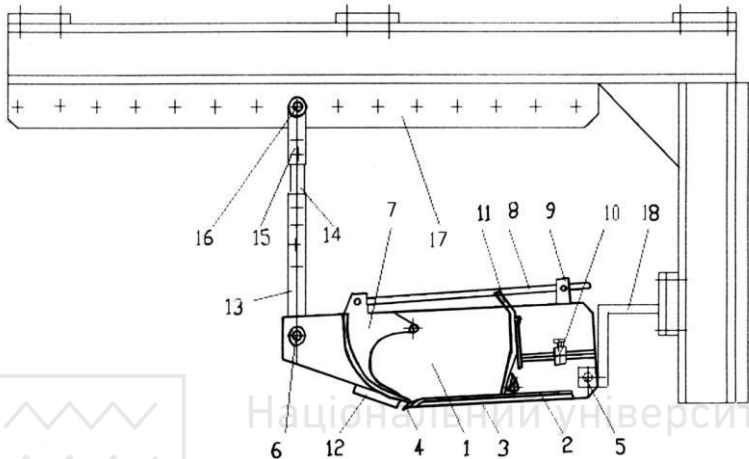


Рис. 5.1. Схема фізичної моделі ківша скрепера

Фізична модель виконана збірно-розбірною, що дозволяє при необхідності змінювати форму та геометричні параметри елементів досліджуваного робочого органу. Технічні дані фізичної моделі приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика фізичної моделі ковша скрепера ДЗ-87-1

Назва параметрів	Одиниці вимір.	Значення
1. Геометрична місткість	м ³	0,031
2. Ширина ківша	м	0,486
3. Висота ківша	м	0,194
4. Кут різання ґрунту	град	38
5. Хід задньої стінки	м	0,162
6. Довжина	м	0,706
7. Ширина	м	0,492
8. Висота	м	0,28

5.2. Предмет дослідження

Предметом дослідження в даній лабораторній роботі є виявлення якісних та кількісних показників процесу взаємодії ківшевого

робочого органу з ґрунтом на стадії копання.

Відомо [5, 6, 7, 8, 9, 10], що процес копання ґрунтів ковшовим робочим органом супроводжується безперервним зростанням опору їх просуванню в заботі. Величина та закономірність вказаної протидії залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш впливовими є фізико-механічні властивості ґрунтів, геометричні параметри робочого органу, та режими копання.

Схема взаємодії ківша скрепера з ґрунтом в період копання носить складний і суперечний характер, що обумовлює відсутність достатньо ефективної методики аналітичного визначення силових параметрів процесу копання.

Найбільш поширеною методикою аналітичного прогнозу максимальної величини дотичної складової опору ґрунту копанню ковшем скрепера на заключній стадії його заповнення є методика С. Р. Петерса, в основу якої покладена розрахункова схема, що показана на рис. 5.2.

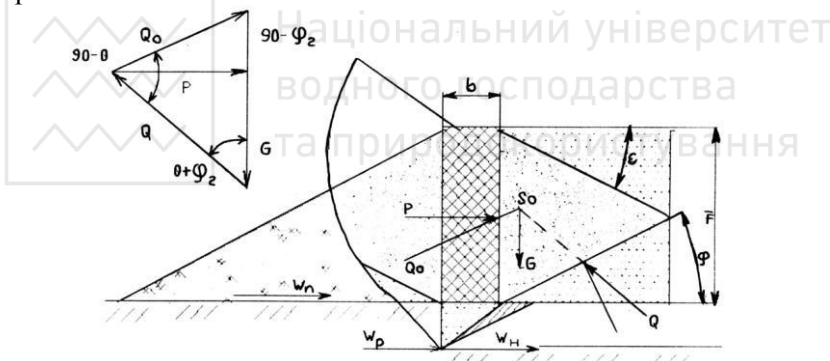


Рис. 5.2. Розрахункова схема до визначення опору ґрунту наповненню ковша скрепера

Звітне методиці, опір ґрунту в кінці заповнення ковша дорівнює сумі 3-х складових:

$$W = W_p + W_m + W_n, \quad (5.1)$$

де W_p - опір ґрунту різанню ножовою системою ківша; W_n - опір наповненню ківша; W_m - опір пересуванню призми волочіння перед передньою заслонкою.

Опір ґрунту різанню визначається по формулі:

$$W_p = kbh, \quad (5.2)$$



де k - питомий опір ґрунту різанню. Його орієнтовне значення приведено у відповідній літературі [3, 5]; b - ширина різання; h - товщина стружки.

Опір пересуванню ґрунтової стружки в ківш на заключній стадії копання відповідно до методики дорівнює:

$$W_n = W'_n + W''_n, \quad (5.3)$$

де W'_n - опір підйому ґрунтового стовпа; W''_n - опір сил тертя, що діють на поверхні ґрунтового стовпа.

Згідно розрахункової схеми рис. 5.2

$$W''_n = bhH\gamma_z g, \quad (5.4)$$

$$W''_n = bhH^2\gamma_z \frac{tg\varphi_2}{1 + tg^2\varphi_2}, \quad (5.5)$$

де g - прискорення вільного падіння; H - висота ківша; γ_z - щільність ґрунту; φ_2 - кут тертя ґрунту по ґрунту.

Опір пересуванню призми волочиння визначаємо по формулі:

$$W_n = bhH^2\gamma_z g\mu_2, \quad (5.6)$$

де y - коефіцієнт об'єму призми волочиння перед передньою заслінкою, $y = 0,5 \dots 0,7$; $\mu_2 = 0,3 \dots 0,5$ - коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту. Підставивши розгорнуті значення складових в формулу (3.1), отримаємо:

$$W = bhH\gamma_z \left(\frac{kh}{gH\gamma_z} + \frac{Htg\varphi_2}{1 + tg^2\varphi_2} + yH\mu_2 + h \right), \quad (5.7)$$

Аналізуючи даний вираз бачимо, що найбільш впливовим фактором на величину загального опору заповнення ковша є його висота H . По відношенню до інших факторів функція W є лінійно залежною.

Головною метою даної лабораторної роботи є отримання фактичної інформації про величину і характер дотичної складової опору ґрунта конанню ковшем скрепера в залежності від товщини стружки, що вирізається із масиву, а також від фізико-механічних властивостей ґрунту, що розробляється.

5.3. Прилади та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень використовуємо наступні вимірювальні прилади та обладнання:



1	фізична модель робочого обладнання скрепера ДЗ-87-1 в масштабі, $k_I = 5$	1 шт.
2	грунтовий канал	1
3	комплект тензометричних приладів	1 компл.
4	модель щільноміра, $k_G = 5$	1 шт.
5	ваги аналітичні ВЛА-200	1 шт.
6	кільця ґрунтозабірні	3 шт.
7	ґрунтозабірник	1 шт.
8	бюкси	3 шт.
9	піч сушильна	1 шт.
10	лінійка мірна	1 шт.
11	тарувальний пристрій	1 шт.
12	тарувальні гирі	5 шт.
13	ґрунтообробне знаряддя	1 компл.

Дослідження процесу копання ґрунту робочим органом скрепера проводиться в аналогічних ґрунтових умовах, що і при дослідженнях бульдозерного обладнання, описаних в лабораторній роботі №3.

5.4. Ґрунтові умови

Дослідження процесу копання ґрунту робочим органом скрепера проводиться в аналогічних ґрунтових умовах, що і при дослідженнях бульдозерного обладнання, описаних в лабораторній роботі №3.

5.5. Умови дослідження

Експериментальне досліджується процес копання ґрунту моделлю ковша скрепера ДЗ-87-1.

Критерієм оцінки процесу приймається дотична складова опору ґрунту копанню W , а факторами, що впливають - товщина стружки, що вирізається h і міцність ґрунту, що оцінюється кількістю ударів моделі динамічного щільноміра C_m .

Експеримент складається з двох серій дослідів: в першій серії досліджується залежність $W = f(h)$ при фіксованому значенні C_m , а в другій - залежність $W = f(C_m)$ при фіксованому значенні h .

Першу серію дослідів проводимо при варіації фактора h на трьох рівнях: $h_1 = 2,0$ см; $h_2 = 3,0$ см; $h_3 = 4,0$ см. Фактор C_m фіксується на рівні $C_m = 2$ уд.



Другу серію дослідів проводимо при варіації фактора C_m на трьох рівнях: $C_{m1} = 1$ уд; $C_{m1} = 2$ уд; $C_{m1} = 3$ уд, а фактор h фіксуємо на рівні $h = 3,0$ см.

Швидкість копання ґрунту в обох серіях приймаємо $V_m = 0,3$ м/с. При проведенні дослідів критерій W фіксується реєструючим приладом (осцилографом, самописцем).

Рівні фактора h встановлюються підйомним механізмом навіски тензометричного візка, а фактор C_m - ущільненням ґрунту до потрібної міцності.

Реалізація вказаних умов дозволить отримати досить широкую інформацію про кількісні і якісні показники досліджуваного процесу.

5.6. Порядок проведення дослідів

1. Провести підготовку експериментального поля. Для цього потрібно розпушити зволожений в каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності.

2. Відібрати із експериментального поля зразки ґрунту для визначення його вологості та щільності по стандартній методиці.

3. Виконати тарування вимірювальної системи, навантажуючи робочий орган в горизонтальному напрямі і фіксуючи результати на реєструючому приладі.

4. Провести планування поверхні експериментального поля по всій довжині каналу ковшем скрепера при мінімальній товщині шару ґрунту. Бокові валки, що утворились після проходження відвала, видалити за межі експериментального поля.

5. Підготувати виступ експериментального поля та встановити модель ковша в вихідне положення за 150...200 мм до ребра виступу.

6. Виставити необхідну глибину копання h , користуючись механізмом підйому робочої панелі навіски тензометричного візка.

7. Лінійкою або рулеткою відміряти необхідну довжину шляху копання. Розрахунок шляху копання виконується по формулі:

$$L_3 = \frac{1,8qk_n}{k_n B h}, \quad (5.1)$$

де q - геометрична місткість ковша, м³; k_n - коефіцієнт заповнення ковша; k_p - коефіцієнт розпушення ґрунту; B - ширина прорізу ґрунту, м; h - товщина стружки ґрунту, що вирізається із забою, м.



Умовою ідентифікації дослідів є рівність об'ємів ґрунту що вирізається із забою.

8. Провести запланований дослід, ввімкнувши попередньо вимірювальну систему. В ході досліді уважно спостерігати за процесом копання, відмічаючи його характерні особливості.

9. При досягненні ківшем відміченої довжини експериментального поля зупинити рух тензометричного візка і вимкнути тензометричну систему.

10. Перемістити тензометричний візок в вихідне положення і підготувати експериментальне поле до наступного досліді, для чого повторити дії, вказані в пунктах 6, 7.

11. Провести наступний дослід, діючи по пункта 8 і 9. Для отримання закономірності впливу товщини стружки h на критерій оцінки W , відповідно до умов експерименту, в першій серії дослідів фактор h варіюємо на 3-х рівнях: $h_1 = 2,0$ см; $h_2 = 3,0$ см; $h_3 = 4,0$ см при $C_m = 2$ уд. Надійність даних експериментального дослідження забезпечується проведенням повторних дослідів, кількість яких визначається по окремій методиці [3].

Аналогічним чином приводимо 2-гу серію дослідів, варіюючи фактор C_m при постійному значенні $h = 3,0$ см.

12. Після проведення всіх дослідів розшифрувати отримані осцилограми за допомогою тарувального графіка або коефіцієнта тарування. Для перевірки стабільності роботи вимірювальної системи рекомендується після закінчення дослідів (серії дослідів) виконати повторне тарування вимірювальної системи і зіставити отримані результати з попередніми.

13. Занести результати розшифровки осцилограм в таблицю 5.2 і 5.3, а також дані по щільності і вологості ґрунту.

Таблиця 5.2

Результати експериментальних даних по дослідженню $W = f(h)$, $C_m = const$

№ п/п	γ , г/см ³	ω , %	C_m , уд	h , см	L_k , см	W_i, H_i інтервали					ε_{kk}
						1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			2	2,0							
2			2	2,0							
3			2	2,0							
Середні значення											
4			2	3,0							



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5			2	3,0							
6			2	3,0							
Середні значення											
7			2	4,0							
8			2	4,0							
9			2	4,0							
Середні значення											

Таблиця 5.3

Результати експериментальних даних по
дослідженню $W = f(C_m)$, $h = const$

№ п/п	γ , г/см ³	ω , %	C_m , уд	h , см	L_{κ} , см	W_i, H_i інтервали					$\varepsilon_{\kappa\kappa}$
						1	2	3	4	5	
1			1	2,0							
2			1	2,0							
3			1	2,0							
Середні значення											
4			2	3,0							
5			2	3,0							
6			2	3,0							
Середні значення											
7			3	4,0							
8			3	4,0							
9			3	4,0							
Середні значення											

14. Виконати статистичний аналіз дослідних даних і побудувати графіки залежностей $\bar{W} = f(V)$; $\bar{W}_{max} = f(h)$; $\bar{\varepsilon}_{\kappa\kappa} = f(C)$, де W - значення дотичної складової при зміні h ; W' - значення дотичної складової при зміні C_m ; $W_{max} = W_5$; $W'_{max} = W'_5$; $\varepsilon_{\kappa\kappa} = \frac{W_5}{Bh}$; $\varepsilon'_{\kappa\kappa} = \frac{W'_5}{Bh}$.

Форма графіків показана на рис. 5.3 і 5.4.

15. Виконати аналіз отриманих даних та сформулювати висновки по роботі.

16. Виконати звіт по лабораторній роботі та захистити його у ведучого викладача.

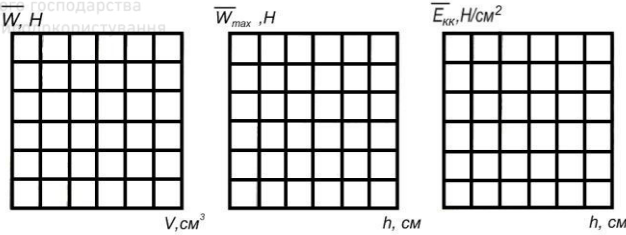


Рис. 5.3. Форми для побудови графіків залежностей:

- а) $\bar{W} = f(V)$; б) $\bar{W}_{max} = f(h)$; в) $\bar{\epsilon}_{kk} = f(C)$

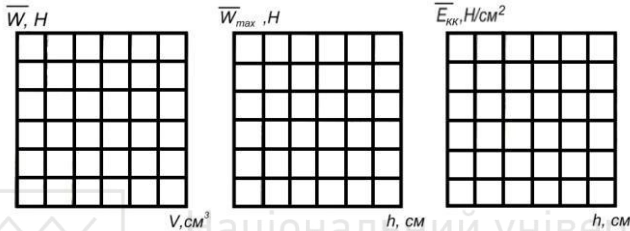


Рис. 5.4. Форми для побудови графіків залежностей:

- а) $\bar{W}' = f(V)$; б) $\bar{W}'_{max} = f(h)$; в) $\bar{\epsilon}'_{kk} = f(C)$

5.7. Розшифровка осцилограм і статистичний аналіз експериментальних даних

Копання ґрунту ківшем скрепера в якісному відношенні, як показує досвід, аналогічне процесу копання ґрунту відвалом бульдозера. Тому розшифрування отриманих осцилограм та статистичний аналіз дослідних даних виконується в тій же послідовності, яка описана в лабораторній роботі №3.

5.8. Техніка безпеки при проведенні експериментальних досліджень

При підготовці та проведенні експериментальних досліджень необхідно дотримуватись наступних правил безпеки.

1. Заходячись в дослідній лабораторії, суворо дотримуватись правил учбової дисципліни.
2. Без дозволу керівника не вмикати або вимикати будь-яке обладнання і прилади.
3. Самостійно не покидати визначене керівником місце.
4. Уважно слідкувати за положенням рухомих частин дослідного обладнання.



5. Ретельно виконувати вказівки та пропозиції керівника досліджень, лаборантів і завідувача лабораторії.

6. Інформувати керівника про замічені неполадки в роботі обладнання та приладів.

Лабораторна робота №6

Тема: Дослідження процесу розпушення ґрунту зубом розпушувача.

Мета: Отримання практичних знань та навичок експериментального визначення головних параметрів процесу розпушення ґрунта робочим органом розпушувача.

Завдання:

1) Закріпити загальнотеоретичні положення про закономірність взаємодії розпушувальних робочих органів з ґрунтом та аналітичне визначення кількісних показників дотичної складової опору ґрунту копанню зубом розпушувача;

2) Ознайомитись з об'ємом та послідовністю дій, що виконуються при підготовці та проведенні експериментальних досліджень розпушувальних робочих органів;

3) Виконати експериментальне дослідження процесу розпушення ґрунту фізичною моделлю робочого органа розпушувача;

4) Обробити та проаналізувати експериментальні дані і скласти звіт по виконанні роботи.

6.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель зуба розпушувача ДП-26С, що виконана в масштабі 1:5 ($k_f = 5$).

Схема фізичної моделі зуба та навіски його на робочу панель тензометричного візка показана на рис. 6.1.

Робочий орган розпушувача 1 за допомогою двох пальців 3 закріплено на універсальній панелі 2, яка під'єднана шарніром 4 і підкосом 5 до універсальної штовхаючої рами 6 фізичної моделі відвала бульдозера.

Універсальна штовхаюча рама за допомогою шарнірів під'єднана до Г-подібного кронштейна 9 тезометричного візка через тензometri 7 і передню підвіску 11. Конструкція універсальної панелі 2, при необхідності, дозволяє встановлювати на ній додатково два і більше розпушувальних органів.

Параметри фізичної моделі досліджуваного обладнання наведе-

ні в технічній характеристиці (табл. 6.1).

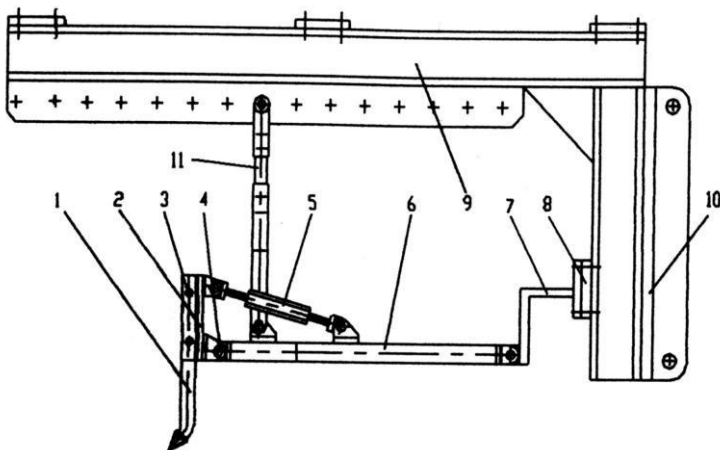


Рис. 6.1. Схема фізичної моделі робочого обладнання розпушувача ДП -26С: 1 – зуб; 2 – універсальна панель; 3 – палець зуба; 4 універсальний шарнір; 5 – регулюючий підкос; 6 – штовхаюча рама; 7 – тензотригери; 8 – балка тензотригерів; 9 – Г-подібний кронштейн; 10 – робоча панель

Таблиця 6.1

Технічна характеристика фізичної моделі розпушувача ДП-26С

Назва параметрів	Одиниці виміру	Значення
1. Кут розпушення	град	48
2. Ширина наконечника	мм	12
3. Глибина розпушення	мм	90

6.2. Предмет дослідження

Предметом дослідження в даній лабораторній роботі є процес взаємодії зуба розпушувача з ґрунтом при зміні глибини розпушення і міцності ґрунту.

При підготовці до даної лабораторної роботи необхідно детально опрацювати лекційний і літературний матеріал, що відноситься до існуючих методик по визначенню дотичної складової опору ґрунтів руйнуванню зубом розпушувача і стисло викласти його в звіті, як аналогічний матеріал, що відображений в лабораторних роботах №4 і 5.

6.3. Прилади та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень використовують наступні прилади та обладнання:



1	фізична модель робочого обладнання розпушувача ДП-26С в масштабі, $k_l = 5$	1 шт.
2	Ґрунтовий канал	1
3	комплект тензOMETричних приладів	1 компл.
4	модель щільноміра, $k_G = 5$	1 шт.
5	ваги аналітичні ВЛА-200	1 шт.
6	кільця ґрунтозабірні	3 шт.
7	ґрунтозабірник	1 шт.
8	бюкси	3 шт.
9	піч сушильна	1 шт.
10	лінійка мірна	1 шт.
11	тарувальний пристрій	1 шт.
12	тарувальні гири	5 шт.
13	Ґрунтообробне знаряддя	1 компл.

6.4. Ґрунтові умови

Дослідження процесу копання ґрунту робочим органом розпушувача проводиться методом фізичного моделювання в умовах зміни фізико-механічних властивостей середовища, що розробляється.

В лабораторній роботі досліджується процес розпушення ґрунту IV і V категорії. Моделювання даного ґрунту забезпечується піщано-глиняною сумішшю, склад якої попередньо визначається експериментально.

Підготовка ґрунту виконується шляхом його зволоження, ретельного розпушення та ущільнення до потрібної міцності. Контроль міцності виконується моделлю динамічного щільноміра.

6.5. Умови проведення досліджень

Експериментально досліджується процес розпушення ґрунту фізичною моделлю зуба розпушувача ДП-26С.

Критерієм оцінки процесу приймається дотична складова опору ґрунту копанню P_p , на подолання якої в реальних умовах затрачується тягове зусилля базового трактора.

В якості головного фактора, що впливає при розпушенні конкретного ґрунту приймаємо глибину розпушення h_p .

Для визначення закономірності зміни $P_p=f(h_p)$ фактор h_p змінюємо на 5-ти рівнях: $h_1 = 4$ см; $h_2 = 6$ см; $h_3 = 8$ см; $h_4 = 10$ см; $h_5 = 12$ см.

При проведенні дослідів критерій P_p реєструється приладами, а рівні фактора h_p встановлюються підйомним механізмом робочої



6.6. Порядок проведення дослідів

1. Провести підготовку експериментального поля. Для цього потрібно розпушити зволожений в каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності.

2. Відібрати із експериментального поля зразки ґрунту для визначення його вологості та щільності по стандартній методиці.

3. Виконати тарування вимірювальної системи, навантажуючи робочий орган в горизонтальному напрямі і фіксуючи результати на реєструючому приладі.

4. Провести планування поверхні експериментального поля по всій довжині каналу.

5. Підготувати виступ експериментального поля та встановити модель зуба розпушувача в вихідне положення за 150...200 мм до ребра виступу.

6. Виставити необхідну глибину копання h_p , користуючись механізмом підйому робочої панелі навіски тензOMETричного візка.

7. Лінійкою або рулеткою відміряти необхідну довжину шляху реалізації розпушення. Довжину шляху пропонується прийняти в межах 500...700 мм.

8. Провести запланований дослід, ввімкнувши попередньо вимірювальну систему.

9. При досягненні зубом відміченої довжини експериментального поля зупинити рух тензOMETричного візка і вимкнути тензOMETричну систему.

10. Перемістити тензOMETричний візок в вихідне положення і підготувати експериментальне поле до наступного досліді, для чого повторити дії, вказані в пунктах 6, 7.

11. Провести наступний дослід при новому рівні фактора h_p , діючи по пункта 8 і 9. Кожен дослід на визначеному рівні h_p повторити не менше як 3 рази.

12. Після проведення дослідів розшифрувати отримані осцилограми по методиці, що викладена в лабораторній роботі №3.

13. Занести результати розшифровки осцилограм в таблицю 6.2. В таблицю занести також дані по щільності і вологості ґрунту.

14. Виконати статистичний аналіз дослідних даних і побудувати графіки залежностей $\bar{P}_p = f(h_p)$ і $\bar{\varepsilon}_p = f(h_p)$. Графіки виконати по



формі, що показана нарис. 4.2.

Таблиця 6.2

Результати експериментального дослідження $P_p = f(h_p)$

№ п/п	γ , г/см ³	C, уд	ω , %	h_p , см	l_k , см	P_p, H , інтервали					\bar{P}_p	ε_p
						1	2	3	4	5		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1				4	50							
2				4	50							
3				4	50							
4				6	50							
5				6	50							
6				6	50							
7				8	50							
8				8	50							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9				8	50							
10				10	50							
11				10	50							
12				10	50							
13				12	50							
14				12	50							
15				12	50							

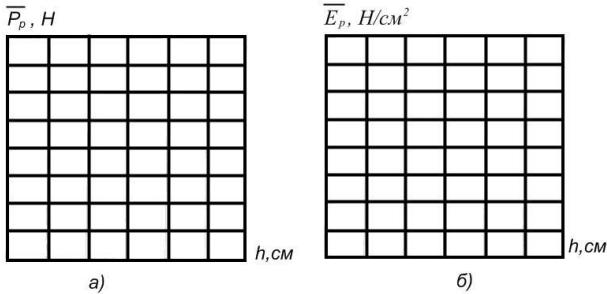


Рис. 4.2. Форми для побудови графіків залежностей:

а) – $\bar{P}_p = f(h_p)$; б) – $\bar{\varepsilon}_p = f(h_p)$

15. Виконати аналіз отриманих даних, та сформулювати висновок по роботі.

16. Виконати звіт по лабораторній роботі та захистити його у ведучого викладача.



6.7. Розшифровка осцилограм і статистичний аналіз експериментальних даних

Розпушення ґрунту зубом розпушувача носить стаціонарний характер, тому розшифровка осцилограм і статистичний аналіз отриманих даних виконується в послідовності, яка приведена в лабораторній роботі № 3.

6.8. Техніка безпеки при проведенні експериментальних досліджень

При підготовці і проведенні даної лабораторної роботи необхідно дотримуватись правил безпеки, що наведені в лабораторних роботах № 3, 4, 5.

Лабораторна робота №7

Тема: Дослідження процесу опору ґрунту копанню робочим органом бульдозера.

Мета: Отримання практичних знань та навичок експериментального визначення головних параметрів процесу копання ґрунту робочим органом бульдозера.

Завдання:

- 1) Закріпити загальнотеоретичні положення про закономірності процесу взаємодії відвальних органів ЗТМ з ґрунтом, та аналітичне визначення кількісних показників дотичної складової опору ґрунту копанню відвалом бульдозера;
- 2) Вивчити конструкцію та принцип дії лабораторного обладнання для проведення експериментальних досліджень;
- 3) Ознайомитись з об'ємом та послідовністю дій, що виконуються при підготовці та проведенні експериментальних досліджень;
- 4) Виконати експериментальне дослідження процесу копання ґрунту фізичною моделлю відвалу бульдозера, обробити і проаналізувати отриману інформацію та скласти звіт по виконаній роботі.

7.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель відвалу бульдозера ДЗ-171.1, що виконана в масштабі 1:5 ($k_f = 5$).

Схема фізичної моделі відвала та елементів його навіски на робочу панель тензометричного візка показана на рис. 7.1.

Відвал виготовлено із листової сталі зварної конструкції. Лінійні параметри моделі визначались з урахуванням основних положень

теорії подібності [1] при використанні наступних критеріїв в геометричній подібності:

$$\frac{l_{M_i}}{l_{M_b}} = \frac{l_{n_i}}{l_{n_b}}; \alpha_{M_i} = \alpha_{n_i},$$

де l_{M_i} і l_{n_i} - лінійні параметри відповідно моделі і натурі, що визначаються; B_m і B_n - довжина відвалів, відповідно моделі і натурі; α_{M_i} і α_{n_i} кутові параметри моделі і натурі.

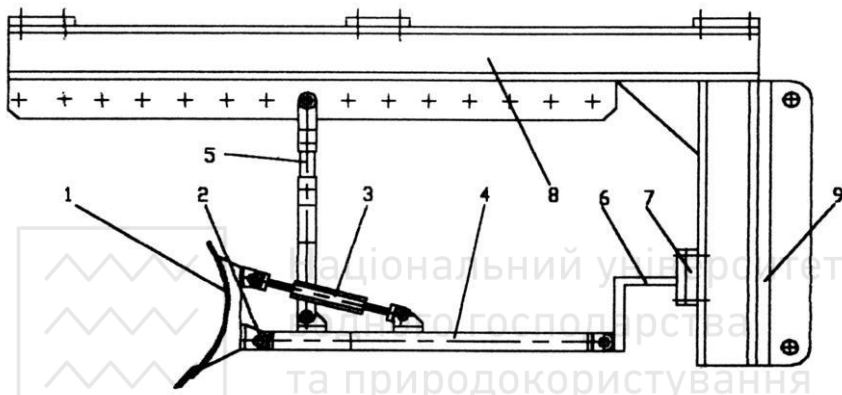


Рис. 7.1. Схема фізичної моделі робочого обладнання бульдозера ДЗ-171.1: 1 - відвал; 2 - універсальний шарнір; 3 - регулюючий підкос; 4 - штовхаюча рама; 5 - передня підвіска; 6 - тензотри; 7 - балка тензотри; 8 - Г-подібний кронштейн; 9 - робоча панель

Параметри фізичної моделі досліджуваного обладнання наведені в технічній характеристиці (табл. 7.1)

Таблиця 7.1

Технічна характеристика фізичної моделі бульдозера ДЗ-171.1

Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1. Довжина відвала, B	см	82,4
2. Висота відвала, H	см	22,8
3. Кут різання, α	град	55
4. Радіус кривизни лобової поверхні, R	см	20
5. Кут запрокидування, β	град	75
6. Ширина ножа, l	см	5,5



7.2. Предмет дослідження

Предметом дослідження в даній лабораторній роботі є вивчення якісних та кількісних показників процесу взаємодії відвального робочого органу з ґрунтом на протязі всієї стадії його копання.

Відомо [5], що процес копання ґрунтів відвальними робочими органами супроводжується безперервною зміною величини протидії просуванню їх в забої. Величина та закономірність вказаної протидії залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш значними є фізико-механічні властивості ґрунтів, що розробляються, геометричні характеристики робочого органу, та режими копання, що визначаються товщиною відокремлюваного від забою ґрунту h та швидкістю просування відвала в забої V_k . Найбільш поширена схема взаємодії відвалу бульдозера з ґрунтом [5], що показана на рис. 7.2.

Загальний опір ґрунту копанню відвалом бульдозера розглядаються як сума наступних складових: опору ґрунту різанню ножової системою відвала, W_p ; опору переміщення накопиченої перед відвалом призми ґрунту по поверхні забою $W_{п.в.}$; сили тертя ґрунту по лобовій поверхні відвалу F_T та сили тертя леза ножа об ґрунт W_L .

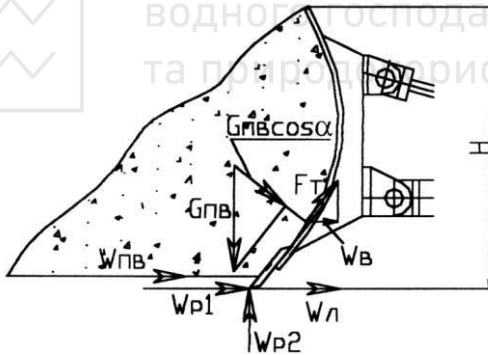


Рис. 7.2. Схема процесу взаємодії відвала бульдозера з ґрунтом в період копання

Дотична складова загального опору ґрунту копанню дорівнює сумі дотичних складових вказаних сил.

$$W_k = W_{p_l} + W_{п.в.} + W_B + W_L, \quad (7.1)$$

де W_{p_l} - дотична складова опору ґрунту різанню; W_B - дотична складова сили тертя ґрунту по лобовій поверхні відвалу.

Дотична складова опору різанню ножовою системою відвалу



визначається по формулі [3]:

$$W_{p_l} = k_1 B h, \quad (7.2)$$

де k_1 - коефіцієнт питомого опору ґрунту різанню, значення якого табульоване [5] і залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту; B - довжина відвалу; h - товщина шару ґрунту, що відокремлюється від забою.

Опір переміщенню призми волочіння залежить від ваги ґрунту, що накопичений в визначальний момент процесу копання, та величини коефіцієнта тертя ґрунту по ґрунту. Його величина визначається виразом:

$$W_{п.в} = q \gamma_p \mu_l g, \quad (7.3)$$

де q - об'єм призми волочіння, m^3 ; γ_p - щільність розпушеного ґрунту, $кг/м^3$; μ_l - коефіцієнт тертя ґрунта по ґрунту; g - прискорення вільного падіння, $м/с^2$.

Враховуючи складність зовнішньої форми призми волочіння, її величину визначають як об'єм тригранної призми, параметри якої приведені на рис. 7.3.

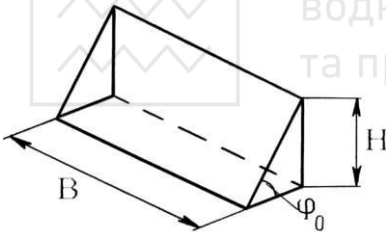


Рис. 7.3. Розрахункова схема форми призми волочіння для визначення її об'єму

Тоді

$$W_B = \frac{\gamma_p g B H^2 \cos^2 \alpha \cdot \mu}{2 \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (7.4)$$

де α - кут різання ґрунту; μ - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Величину сили тертя леза ножа визначають по емпіричній формулі.

$$W_{л} = 0,3 W_{p_l}. \quad (7.5)$$

З урахуванням розгорнутих значень складових загальний опір ґрунту копанню відвалом бульдозера на кінцевій стадії визначається по формулі:

$$W_B = 1,3 k_1 B h + \frac{\gamma_p g B H^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} (\mu_l + \cos^2 \alpha \cdot \mu). \quad (7.6)$$

Аналіз даної формули показує, що вона не відображає динаміки процесу копання на протязі часу формування призми волочіння, а тільки дозволяє визначити орієнтовне значення дотичної складової W_K , коли кількість ґрунту, що вирізається із поверхні забою дорів-



ною величини втрат ґрунту із призми в бокові валки.

Тому для визначення фактичного значення W_K , динаміки його зміни на протязі всього процесу копання, а також оцінки аналітичних моделей, що використовуються для початкового орієнтовного прогнозу величини навантажень на бульдозерне обладнання, потрібні експериментальні дослідження, які дають об'єктивну відповідь на зазначенні питання.

7.3. Прилади та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень використовуємо наступні вимірювальні прилади та обладнання.

1	фізична модель робочого обладнання бульдозера ДЗ-171.1 в масштабі, $k_I = 5$	1 шт.
2	ґрунтовий канал	1
3	комплект тензометричних приладів	1 компл.
4	модель щільноміра, $k_G = 5$	1 шт.
5	ваги аналітичні ВЛА-200	1 шт.
6	кільця ґрунтозабірні	3 шт.
7	ґрунтозабірник	1 шт.
8	бюкси	3 шт.
9	піч сушильна	1 шт.
10	лінійка мірна	1 шт.
11	тарувальний пристрій	1 шт.
12	тарувальні гирі	5 шт.
13	ґрунтообробне знаряддя	1 компл.

7.4. Ґрунтові умови

Дослідження процесу копання ґрунту робочим органом бульдозера проводиться методом фізичного моделювання в умовах зміни фізико-механічних властивостей середовища, що розробляється.

В лабораторній роботі досліджується опір копанню відвалом бульдозера ґрунту II-ї категорії. Моделювання вказаного ґрунту забезпечується піщано-глиняною сумішшю, що складається з 85% річного піску і 15% глини. Виходячи із технологічних міркувань, рекомендується варіювати h на слідуючи рівнях:

- 1) 3-х рівневий експеримент – $h = 20, 30, 40$ мм;
- 2) 5-ти рівневий експеримент - $h = 10, 20, 30, 40, 50$ мм.

При цьому, кожен дослід необхідно повторити 3...5 разів. Кількість повторень визначається по окремій методиці [4], що передбачає проведення попередньо спеціальної серії однотипних дослідів в



кількості, достатній для статистичного аналізу.

Підготовка ґрунту виконується шляхом його зволоження, ретельного розпушення та ущільнення до потрібної міцності. Контроль міцності забезпечується динамічним щільноміром по співвідношенню:

$$C_m = \frac{C_n}{k_l}, \quad (7.7)$$

де C_m - потрібне число ударів для моделі ґрунту; C_n - число ударів для натурального ґрунту; k_l - масштаб моделі робочого органу.

7.5. Умови дослідження

Експериментально досліджується процес взаємодії відвалу бульдозера з ґрунтом на стадії копання.

Критерієм оцінки процесу приймається дотична складова опору ґрунту копанню W_k , на подолання якої затрачується практично вся сила тяги рушія базового тягача.

В якості головного фактора приймається товщина шару ґрунту h , що вирізається із забою. Вказаний фактор в реальних умовах роботи бульдозерного агрегату є найбільш змінним, оскільки при копанні через коливання машини в поздовжньо-вертикальній площині внаслідок нерівностей опорної поверхні, леза ножа відвала весь час міняють своє вертикальне положення, змінюючи товщину шару ґрунту h , що вирізається із масиву.

Таким чином, експериментальне досліджується залежність дотичної складової опору ґрунту копанню відвалом бульдозера W_k від товщини шару ґрунту h , що вирізається із масиву.

Можливі два варіанта експерименту: 1 - фактор h змінюється на 3-х рівнях; 2 - фактор h змінюється на 5-и рівнях.

При 3-х рівневому експерименті значення h можна послідовно прийняти таким, що дорівнює 2, 3, 4 см, а при 5-и рівневому - 1, 2, 3, 4, 5 см. Середнє значення $h = 3$ см, відповідає середньому значенню вказаного фактора, зазначеного в технічній характеристиці бульдозера ДЗ-171.1 і перерахованому для моделі по залежності:

$$h_{m_i} = \frac{h_{n_i}}{k_l} \text{ см,}$$

де h_{m_i} - товщина шару ґрунту для моделі, см; h_{n_i} - товщина шару ґрунту для натурі, см; k_l - масштаб моделі.



Інтервал варіювання h в залежності від поставлених задач можуть бути збільшені або зменшені.

Швидкість копання ґрунту визначається по критерію подібності

Фруда (Fr) [1] $\frac{V_M^2}{ql_M} = \frac{V_H^2}{ql_H}$, тоді $V_M = \frac{V_H}{\sqrt{k_l}}$. При $V_H=0,6$ м/с,

$$V_M = \frac{0,6}{\sqrt{5}} = 0,268 \text{ м/с.}$$

Остаточно при проведенні експерименту швидкість тензометричного візка можна прийняти $V_M = 0,3$ м/с.

7.6. Порядок проведення дослідів

1. Провести підготовку експериментального поля. Для цього розпушити зволожений в каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_n = 1-2$ уд.).

2. Відібрати із експериментального поля зразки ґрунту для визначення його вологості та щільності по стандартній моделі.

3. Виконати тарування вимірювальної системи каналу, навантажуючи робочий орган в горизонтальному напрямі і фіксуючи результати на реєструючому приладі (осцилографи, самописці тощо). Після тарування тарувальні пристосування демонтувати.

4. Виконати планування поверхні забою по всій довжині каналу за допомогою відвала при мінімальній товщині шару ґрунту, що зрізається. Бокові валки ґрунту, що утворились після проходження відвала, видалити за межі експериментального поля.

5. Підготувати виступ експериментального поля та встановити відвал у вихідне положення за 150...200 мм до виступу.

6. Виставити необхідну глибину копання, користуючись механізмом підйому робочої панелі навіски тензометричного візка.

7. Мірною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину шляху копання. Розрахунок шляху копання виконується по формулі:

$$L_k = \frac{H^2}{2htg\varphi_0}, \quad (7.8)$$

де H - висота відвала, м; h - товщина шару ґрунту, що зрізається, м; φ_0 - кут природного укосу ґрунту, град.

8. Ввімкнути реєструючий прилад і хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом копання, особливу



увагу приділяючи процесу накопичення призми ґрунту перед відвалом та втратами ґрунту в бокові валки.

9. При досягненні відвалом відмітки довжини шляху копання, зупинити тензометричний візок і вимкнути реєстраційний прилад. Повернути тензометричний візок у вихідне положення.

10. Підготувати експериментальне поле до наступного досліду, для чого повторити дії вказані в пунктах 6, 7.

11. Провести наступний дослід по пунктам 8 і 9. Для отримання необхідної статистичної інформації необхідно провести 3-5 груп дослідів, що відрізняється рівнем (величиною) змінюваного фактора

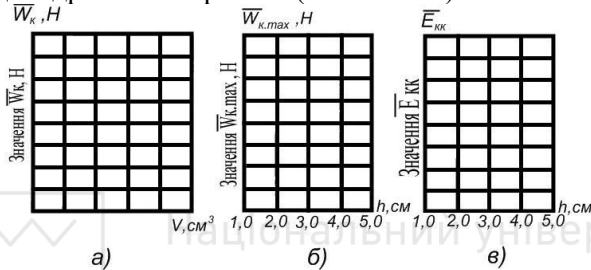


Рис. 7.4. Форми для побудови графіків

$$\bar{W}_k = f(V), \bar{W}_{k,max} = f(h), \varepsilon_{kk} = f(h)$$

12. По даних тарування вимірювальної системи побудувати тарувальний графік, або визначити числове значення коефіцієнта тарування K_m .

13. Користуючись тарувальним графіком, або коефіцієнтом тарування, розшифрувати отримані осцилограми і результати звести в таблицю 7.1.

14. По табличних даним побудувати графіки залежностей

$$\bar{W}_k = f(V), \bar{W}_{k,max} = f(h), \varepsilon_{kk} = f(h),$$

де \bar{W}_k - середнє полине значення дотичної складової опору ґрунту копанню відвалом бульдозера, що зафіксоване на визначених ділянках осцилограм, Н; V - об'єм ґрунту, що вирізається із забою на визначених ділянках експериментального поля, см^3 ; $\bar{W}_{k,max}$ - середнє значення дотичної складової опору ґрунту копанню, взяте на кінцевій стадії процесу копання, м; ε_{kk} - енергоємність процесу копання на кінцевій стадії,



$$\varepsilon_{\text{КК}} = \frac{\overline{W_{\text{К.мах}}}}{Bh}$$

Форма графіків показана на рис. 7.4 (а, б, в).

15. Виконати аналіз отриманих графічних залежностей та сформулювати висновки по виконаній роботі.

Таблиця 7.2

Результати експериментальних даних

№ п/п	γ , г/см ³	С, уд.	ω , %	h, см	l _к , см	W _{кв} , Н						$\varepsilon_{\text{КК}}$	
						ділянки							
						1	2	3	4	5	6		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1				1,0									
2				1,0									
3				1,0									
Середнє значення													
4				2,0									
5				2,0									
6				2,0									
Середнє значення													
7				3,0									
8				3,0									
9				3,0									
Середнє значення													
10				4,0									
11				4,0									
12				1,0									
Середнє значення													
13				5,0									
14				5,0									
15				5,0									
Середнє значення													

7.7. Рекомендації по розшифруванню осцилограм

Копання ґрунту відвалом бульдозера являє собою нестационарний процес, що характеризується безперервною зміною досліджуваного параметра в часі. Схема фрагмента осцилограми показана на рис. 7.5.

Для того, щоб отримати фактичні дані по досліджуваному параметру W_к осцилограму попередньо потрібно обробити та розши-



Рис. 7.5. Схема фрагменту осцилограми

Обробка кожної осцилограми виконується в послідовності, яка наведена в лабораторній роботі №4. Тобто, на осцилограмі виділяється початок процесу (точка 0) і його кінець (точка 5). Потім гостро заточеним олівцем проводимо верхню і нижню огинаючі криві. Відрізок 0-5 ділимо на 5 рівних інтервалів і з кінця кожного інтервалу проводимо перпендикулярно нульовій лінії ординати y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 . Відрізки, що утворились від перетину кожною ординатою нижньої та верхньої огинаючих кривих, ділимо пополам і від отриманої середини вимірювачем заміряємо значення кожної ординати до нульової лінії в мм, після чого за допомогою тарувального графіка або коефіцієнта тарування, визначаємо миттєві значення діючих зусиль $W_{k1}, W_{k2}, W_{k3}, W_{k4}$ і W_{k5} в Н. Отримані значення W_{ki} , заносимо в відповідні стрічки таблиці. Після заповнення таблиці обчислюємо середні значення \bar{W}_{ki} , для ідентичних інтервалів (ділянок) осцилограм однакових (повторних) дослідів і визначаємо інтервал варіювання \bar{W}_{ki} по методиці, що викладена в лабораторній роботі №3. Інтегральні значення \bar{W}_{ki} розглядаємо, як окремі спостереження. Аналогічні дії виконуємо для інших рівнів варіації фактора h . Довірчі інтервали нанести на відповідні точки побудованих графіків.

7.8. Техніка безпеки при проведенні експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводяться в науково-дослідній лабораторії, де виконуються експериментальні дослідження річ-



ного призначення. Головними загрожуючи ми факторами є електричний струм, рухомі частини дослідних стендів, гострі кути виступаючих частин обладнання, та не закріплені важкі предмети, що знаходяться на столах лабораторії. Тому при роботі в лабораторії потрібно дотримуватися слідуєчи правил безпеки:

1. Суворо дотримуватись навчальної дисципліни.
2. Уважно слухати та ретельно виконувати розпорядження та рекомендації керівника роботи.
3. Не зачіпати руками, та не наступати на кабелі, що прокладені в лабораторії.
4. Не вмикати або вимикати будь-яке електричне обладнання без дозволу керівника.
5. Уважно слідка вати за положенням рухомих частин лабораторного обладнання, находячись від них на безпечній відстані.
6. Вчасно інформувати керівника про замічені неполадки в роботі обладнання та приладів.

5.3 завдання на розрахунково–графічну роботу для студентів МЕФ денній і заочної форми навчання напряму „Машинобудування”

5.1. Розрахунково – графічна робота містить десять варіантів, в які входять 4 запитання, на які потрібно дати повну відповідь, скласти схеми і записати розрахункові формули. Номер варіанту задає викладач по табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ варіанту	№ запитань	№ варіанту	№ запитань
1	1,11,21,31	6	6,16,26,36
2	2,12,22,32	7	7,17,27,37
3	3,13,23,33	8	8,18,28,38
4	4,14,24,34	9	9,19,29,39
5	5,15,25,35	0	10,20,30,40

Перелік запитань, на які потрібно дати відповідь

1. Дати класифікацію типів випробувань машин і обладнання.
2. Описати експлуатаційні випробування.
3. Описати лабораторні випробування.
4. Як проводяться випробування?
5. Відомчі і міжвідомчі випробування.



6. Організація проведення випробувань.
7. Підготовча робота до випробувань.
8. Ведення журналу випробувань.
9. Вимірювальна і тензометрична апаратура.
10. Обробка результатів, матеріали, документація випробувань.
11. Яке обладнання входить до складу ґрунтового каналу?
12. З яких умов вибираються розміри ґрунтового лотка?
13. Який механізм привода візка використовується на ґрунтовому каналі НУВГП?
14. Що служить тяговою станцією ґрунтового каналу?
15. Яким чином змінюється швидкість руху візка?
16. В яких діапазонах можна змінювати швидкість руху візка?
17. Які недоліки привода візка на ґрунтовому каналі кафедри БДММіО?
18. Яку максимальну ширину різання можна досліджувати ґрунтовому каналі НУВГП? Чому?
19. На чому ґрунтоване вимірювання механічних величин з допомогою тензоопорів?
20. Які бувають тензоопори за конструкцією, їх схеми і недоліки?
21. Монтажні схеми танзометрів при вимірюванні напружень розтягу і стиску, згину і кручення.
22. Схеми ввімкнення тензоопорів при вимірюванні напружень розтягу і стиску, згину і кручення.
23. Загальна будова магнітоелектричного осцилографа.
24. Конструкція петлевого вібратора. Робота осцилографа.
25. Що входить в комплект осцилографа К 115.
26. Порядок підготовки осцилографа К 115 до роботи.
27. Правила користування осцилографом К 115.
28. З якою метою проводять тарування тензоелементів?
29. Методика проведення тарування тензоелементів.
30. Чи можна змінювати ступінь підсилення після тарування при проведенні експерименту?
31. Для чого проводять ступінчасте розвантаження тензоелемента?
32. Як будується тарувальний графік?
33. Як визначити дійсне значення вимірювальних величин?
34. Яке призначення ударника ДорНИИ?



35. В чому суть підготовки тензостанції до роботи?

36. Будова і робота програмно – апаратної тензостанції ТС – 8.

37. Описати порядок сертифікації машин.

38. Як впливає кут загострення ножа на значення сили різання?

39. Проаналізуйте результати експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків.

40. Моделювання в проведенні досліджень і випробувань.

5.2. В Розрахунково – графічну роботу входить практичне завдання – розшифровка осцилограми, отриманої на лабораторних заняттях, або виданої викладачем згідно варіанту, і побудова графіка залежності $P_{lcp} = f(\phi)$, де ϕ – фактор, який впливає на зусилля P_{lcp} , наприклад глибина різання, кут загострення, кут різання, ширина робочого органа, тощо.

Обробка і розшифровка осцилографа

В результаті реалізації кожного дослідження на стрічці осцилограми залишається безперервний запис величини реєстрованого параметра P_l . Загальний вигляд отриманої осцилограми показано на рис. 5.1

Для обробки осцилограми методом координат потрібно:

– гостро заточеним олівцем на осцилограмі відмітити нульову лінію;

– по пікам максимальних і мінімальних відхилень реєструючого сигналу провести верхню і нижню огинаючі криві;

– на кривій реєстрації відмінити початок і кінець сталої стадії процесу, що вивчається і через вказані відмітки опустити на нульову лінію перпендикуляри 1...5;

– довжину відрізка нульової лінії між ординатами початку і кінця реєстрації перпендикулярами 2,3,4 розділити на рівні інтервали миттєвих значень вимірювального параметра. Кількість інтервалів залежить від потрібної кількості значень вимірювального параметра P_l . Для учбового експерименту пропонується кількість інтервалів приймати в межах 8-ми або 10-ти;

– відрізки $1^1, 1^2, 2^1, 2^2, \dots, 10^1, 10^2$, що відображають миттєвий інтервал вібрації параметра P_l при перетині ординатами 1,2,...5 верхньої і нижньої огинаючих кривих, поділити на дві рівні частини. Користуючись вимірювачем заміряти середні значення ординат y_1, y_2, \dots, y_{10} . Отримані значення в мм за допомогою тарувального графіка або коефіцієнта тарування K_m перевести в розмірність сили (H)



і занести в робочу таблицю, форма якої надається в кожній наступній лабораторній роботі;

– отриманий масив цифрової інформації підлягає статистичному аналізу, на основі якого при потребі будуються відповідні графіки та діаграми.

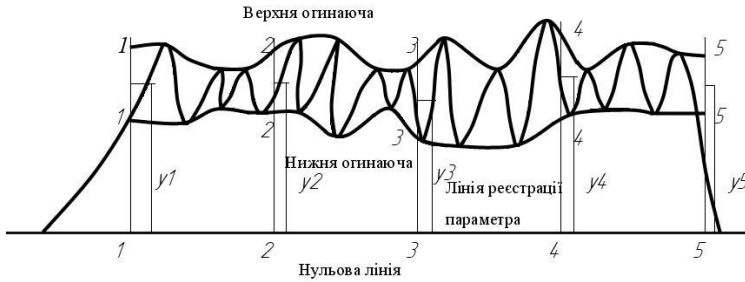


Рис.5.1 Схема фрагменту осцилограми

лі

Середнє значення випадкової величини визначається по форму-

$$P_I = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Ii}}{n}, \quad (5.1)$$

де n - кількість інтервалів

При відомому вибіркового значенні визначаємо дисперсію

$$S_{(P_I)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{Ii} - P_I)^2}{n-1}, \quad (5.2)$$

та середньоквадратичне відхилення

$$S_{(P_I)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{Ii} - P_I)^2}{n-1}}. \quad (5.3)$$

Тоді коефіцієнт варіації P_I буде дорівнювати

$$K_{var} = \frac{S_{(P_I)} 100}{P_I} \%. \quad (5.4)$$

Для оцінки довірчого інтервалу змінити середнього значення використовується наступна розрахункова залежність



$$\Delta P_I = \frac{t \cdot S(P_I)}{\sqrt{n}}, \quad (5.5)$$

де t – критерій ст'юдента – табулювальна величина, значення якої визначається числом повторних вимірювань n і довірчою ймовірністю α_0 . При довірчій ймовірності $\alpha_0=0,95(95\%)$ його значення визначається по табл.5.2.

Таблиця 5.2

Значення критерію ст'юдента (t -критерію) для різного числа вимірювань при $\alpha_0=0,95$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	12,71	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23	2,2	2,18
n	14	15	16	17	18	19	20	30	40	60	120	
t	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,0	2,0	2,0	2,0	

При відомому ΔP_I довірчі межі для середнього значення визначаються із співвідношення:

$$P_{Icp} = P_I \pm \frac{t \cdot S(P_{Ii})}{\sqrt{n}}. \quad (5.6)$$

Для побудови графіка залежності $P_{Icp}=f(\phi)$, який описується, як правило, кривою лінією, необхідно отримати не менше трьох значень $P_{Icp}; P_{2cp}; P_{3cp}$; розшифрувавши три ділянки осцилограми. Після побудови графіка по характеру кривої виводиться математична залежність сили різання від змінного фактора Φ

5.3. Розрахунок тензоланки (рис. 5.2) проводять на розтяг по максимальному отриманому значенню зусилля P_{max} , враховуючи лінійні співвідношення сторін і товщини тензоланки, а також вибраного матеріалу (як правило сталі відповідної марки).

Вибравши матеріал тензоланки з відповідними напруженнями σ_T , визначають необхідну площу перерізу тензоланки і приводять схему розташування тензоопорів і їх марки згідно табл. 5.3

Таблиця 5.3

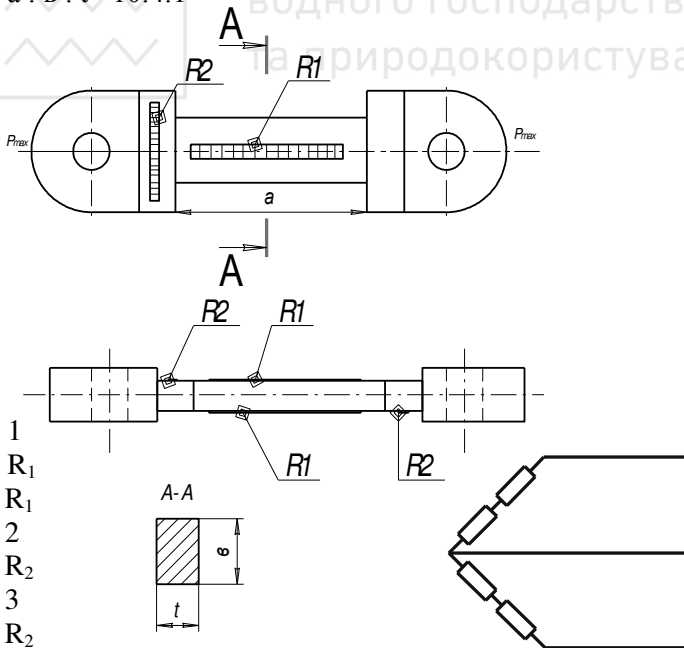
Характеристика тензорезисторів

Тензорезистор	Опір, Ом	База, мм	Допустима температура °С	Клей для з'єднання з деталлю
1	2	3	4	5
Дротяний				
2ППКБК-10-150	150	10	-48...+52	Ціакрин, 192-Т
				БФ-2



1	2	3	4	5
ПКП-5-100	100	5	-48...+52	ВЛ-4, ВЛ-931, Ціакрин
К-6-100	100	6	-178...+57	Ціакрин, ВС-10Т
Е428-035	145	3	22...142	БФ-2
ЛХ-354	700	23	-48...+302	Цемент
Фолієвий				
2ФКПА-10-50	50	10	-38...+72	ВЛ-931
2ФКРВ-10-100	100	10	-38...+72	ВЛ-931
2ФКРБ-30-100	100	30	-38...+72	ВЛ-931
2ФКМВ-10-100	100	10	-38...+72	ВЛ-931
Напівпровідниковий				
Ю-8А і Ю-8Б	109...111	1,4	-80...+115	ВЛ-931
	1			
Ю-12А і Ю-12Б	216...220	2,4..6,4	-60...+115	ВЛ-931

$a : b : t = 10 : 4 : 1$



До підсилювача

Рис. 5.2

**6. Тестові завдання**

Знайдіть всі правильні відповіді на поставлені запитання, враховуючи, що кожне із завдань містить певну кількість як правильних так і неправильних відповідей. Оцінка кожного завдання, на які дано всі правильні відповіді складає 2 (два) бали. Хоча б одна невірна відповідь в завданні дає результат 0 (нуль) балів для всього завдання.

Завдання 1 Яке призначення випробувань машин?	1 – професійний інтерес, 2 – покращення конструкції машин, 3 – виявлення недоліків, 4 – визначення техніко-економічних показників машин, 5 – отримання сертифікату якості.
Завдання 2 Які бувають види випробувань за призначенням?	1 – дослідні, 2 – стендові, 3 – контрольні, 4 – порівняльні, 5 – визначальні.
Завдання 3 Які бувають види випробувань за рівнем проведення?	1 – державні, 2 – міждержавні, 3 – відомчі, 4 – міжвідомчі, 5 – національні.
Завдання 4 Які бувають випробування за стадією розробки?	1 – доводчі, 2 – попередні, 3 – приймальні, 4 – дослідні, 5 – стендові.
Завдання 5 Які види випробувань бувають за стадією виробництва?	1 – кваліфікаційні, 2 – пред'явні, 3 – приймально-здавальні, 4 – експлуатаційні, 5 – періодичні.
Завдання 6 Які види випробувань бувають за властивостями, що контролюються:	1 – на безвідмовність, 2 – на енергомісткість, 3 – на довговічність, 4 – на збереженість, 5 – на ремонтоздатність.

<p>Завдання 7 Які види випробувань бувають за стадією виробництва:</p>	<p>1 – періодичні, 2 – інспекційні, 3 – польові, 4 – типові, 5 – атестаційні.</p>
<p>Завдання 8 Які види випробувань бувають за місцем проведення:</p>	<p>1 – лабораторні, 2 – стендові, 3 – натурні, 4 – полігонні, 5 – експлуатаційні.</p>
<p>Завдання 9 На які види випробування поділяються за протяжністю:</p>	<p>1 – нормальні, 2 – уповільнені, 3 – скорочені, 4 – прискорені, 5 – польові.</p>
<p>Завдання 10 Яке призначення ґрунтових каналів:</p>	<p>1 – для проведення експлуатаційних випробувань, 2 – для проведення експериментальних досліджень, 3 – для проведення лабораторних випробувань, 4 – для проведення прискорених випробувань, 5 – для проведення державних випробувань.</p>
<p>Завдання 11 Які напруження в металоко- нструкціях машин можна визначити методом тензомет- рії?</p>	<p>1 – розтягу, 2 – стиску, 3 – кручення, 4 – згину, 5 – розтягу і кручення.</p>
<p>Завдання 12 Які існують методи визна- чення деформацій в деталях машин?</p>	<p>1 – метод тензометрії, 2 – рентгеноскопії, 3 – лакових покриттів, 4 – дактилоскопії, 5 – ділильних сіток.</p>
<p>Завдання 13 Які види пересувних тензо- лабораторій існують?</p>	<p>1 – змонтовані на базі машин, що ви- пробовують, 2 – ті, що рухаються самостійно, 3 – на причіпних транспортних засобах, 4 – на базових тракторах, 5 – на спеціальних шасі.</p>

<p>Завдання 14 Яке призначення приладу «п'яте колесо»?</p>	<p>1 – для вимірювання шляху, 2 – для вимірювання швидкості, 3 – для вимірювання частоти обертання, 4 – перше і друге, 5 – для вимірювання прискорення.</p>
<p>Завдання 15 З яких основних частин складається пересувна тензометрична лабораторія?</p>	<p>1 – базового автомобіля, 2 – вимірювально-реєструючого обладнання, 3 – системи електроживлення, 4 – набору інструменту, 5 – всього вище перерахованого.</p>
<p>Завдання 16 Методом тензометрії визначають:</p>	<p>1 – пластичні деформації металу, 2 – пружні деформації, 3 – релаксацію матеріалу, 4 – деформації удару. 5 – деформації пружно-пластичної зони.</p>
<p>Завдання 17 Які види тензорезисторів застосовують при тензометрії?</p>	<p>1 – дротяні, 2 – фолієві, 3 – напівпровідникові, 4 – паперові, 5 – магнітоелектричні.</p>
<p>Завдання 18 Які переваги тензометричного способу вимірювань?</p>	<p>1 – універсальність, 2 – висока точність, 3 – синхронність запису великої кількості параметрів, 4 – можливість отримання графічних залежностей, 5 – простота обладнання.</p>
<p>Завдання 19 Які недоліки динамометричного способу вимірювань?</p>	<p>1 – невисока точність вимірювань, 2 – висока вартість обладнання, 3 – неможливість отримання декількох параметрів, 4 – потребують джерела живлення, 5 – потребують високої кваліфікації оператора.</p>
<p>Завдання 20 Яка мета тарування вимірювальних систем?</p>	<p>1 – забезпечення точності, 2 – забезпечення швидкості, 3 – визначення відповідності між реєструючим сигналом і навантаженням, 4 – отримання достовірних результатів, 5 – отримання досліджуваних параметрів.</p>

<p>Завдання 21 Моделювання робочих процесів машин буває:</p>	<p>1 – фізичне, 2 – технічне, 3 – математичне, 4 – фізико-механічне, 5 – геометричне.</p>
<p>Завдання 22 В якості моделі робочого середовища машин для земляних робіт використовують:</p>	<p>1 – піщано-глинисту суміш, 2 – земляний віск, 3 – парафін, 4 – гліцерин, 5 – бітум.</p>
<p>Завдання 23 Які фактори впливають на опір різанню робочого середовища?</p>	<p>1 – фізико-механічні властивості ґрунту, 2 – кут різання, 3 – глибина різання, 4 – все вище перераховане, 5 – швидкість руху.</p>
<p>Завдання 24 Методика експерименту включає в себе:</p>	<p>1 – визначення мети експерименту, 2 – визначення задач, 3 – визначення предмету дослідження, 4 – визначення обладнання і вимірювальних приладів, 5 – все вище перераховане.</p>
<p>Завдання 25 Тарувальна осцилограма має вигляд:</p>	<p>1 – прямої лінії, 2 – ступінчастої лінії, 3 – гіперболи, 4 – параболи, 5 – гіперболічного тангенса.</p>
<p>Завдання 26 Тарувальний графік має вигляд:</p>	<p>1 – прямої, 2 – параболи, 3 – гіперболи, 4 – синусоїди, 5 – евольвенти.</p>
<p>Завдання 27 В залежності від кількості змінних факторів експеримент буває:</p>	<p>1 – одно факторний, 2 – багатофакторний, 3 – перше і друге, 4 – безфакторний, 5 – масовофакторний.</p>
<p>Завдання 28 Потрібна мінімальна кількість вимірювань забезпечує:</p>	<p>1 – отримання об'єктивних результатів, 2 – мінімальні витрати часу, 3 – мінімальні витрати засобів, 4 – все вище перераховане, 5 – високу точність.</p>

<p>Завдання 29 Планування експерименту включає в себе визначення:</p>	<p>1 – кількості дослідів, 2 – точності приладів, 3 – затрат праці, 4 – затрат часу, 5 – затрат засобів.</p>
<p>Завдання 30 Технічна експертиза випробувань буває:</p>	<p>1 – первинна, 2 – поточна, 3 – проміжна, 4 – заключна, 5 – основна.</p>

7. Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

- опрацювання лекційного матеріалу - 7 год.
- підготовка лабораторних занять - 7 гд.
- підготовка до практичних занять - 3 год.
- опрацювання матеріалу, що не розглядається на лекціях - 18 год.

7.1. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Особливості проведення випробувань вантажо-підйомних машин	6
2	Фактори, що впливають на експериментальні випробування	4
3	Методика проведення багатофакторного експерименту	4
4	Суть та методи фізичного і математичного моделювання	4
	Разом	18

7.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни "Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання" є складання письмового звіту за темами вказаними в п. 7.1.

Загальний обсяг звіту визначається з розрахунку 0,5 сторінки на 1 год. самостійної роботи. Звіт включає план, вступ, основну части-



ну, висновки, список використаної літератури, додатки.

Звіт виконується на стандартному папері формату А4 (210x297) з одного боку. Рисунки, схеми і таблиці розміщуються за текстом і повинні мати нумерацію в межах розділу. Формули пишуться посередині і нумеруються. Отримані в результаті розрахунків дані повинні мати одиниці виміру згідно системі СІ. Графіки залежностей виконуються олівцем на міліметровому папері, криві лінії викреслюються за допомогою лекала і позначаються певним кольором.

Звіт кожної попередньої самостійної роботи захищається студентом на наступному занятті або при поточному модульному контролі (ПМК).

8. Порядок оцінювання знань студентів.

Оцінювання знань студентів з навчальної дисципліни „Випробування і експериментальні дослідження машин і обладнання” здійснюється на основі результатів поточного модульного контролю (ПМК) і підсумкового контролю знань (ПКЗ), враховуючи результати самостійної роботи, розрахунково-графічної роботи (індивідуальне завдання), а також шляхом перевірки конспектів з лекційного матеріалу.

Оцінювання знань студентів здійснюється за системою ECTS. Переведення даних 100-бальної шкали оцінювання в 4-бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється в наступному порядку (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Розподіл балів, що присвоюються студентам

Поточне тестування та індивідуальне завдання							Су ма	
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Індивідуаль- не завдання
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3		
7	8	8	8	8	8	8	45	100



Сума балів за всі форми навчання	Оцінка ECTS	Для заліку
90 – 100	A	“зараховано”
82 – 89	B	
74 – 81	C	
64 – 73	D	
60 – 63	E	
35 – 59	Fx	“не зараховано” з можливістю повторного складання
0 – 34	F	“не зараховано” з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

10. Термінологічний словник (глосарій)

Авто [< гр. Autoscam] – перша складова частина складних слів, що відповідає цьому значенню, наприклад: автомобіль, авто скрепер тощо.

Аграрний [< лат. agrarius - земельний] – те, що відноситься до землеволодіння, землекористування.

Агрегат [< лат. agregatus - присєднаний] – поєднання декількох різнотипних машин, апаратів в одне ціле.

Апарат [< лат. apparatus] – прилад, технічне пристосування.

Аргумент [< лат. argumentum] – логічне доведення, що служить основою доказу.

Ареометр [< гр. arelos – рідкий + metros - міряти] – приклад для визначення щільності рідини і сипучих речовин

Арматура [< лат. armature – спорядження, озброєння] – набір пристосовань, кріпильних вузлів для певної споруди, конструкції, апарату.

База, базис [< гр. basis] – основа, опора, фундамент.

Баланс [< фр. balance – ваги] – система показників, що характеризують будь-які явище шляхом спів поставлення або проти поставлення окремих його сторін.

Балон [< фр. ballon – порожня куля] – ємність для зберігання і перевезення газів.

Бал [< фр. balle – м’яч, куля] – цифровий показник для оцінки успішності і поведінки учнів, студентів.



Баласт [< англ. ballast] – вантаж для забезпечення стійкості вантажопідійомних машин, наприклад, кранів.

Бампер, буфер [< англ. buff – пом'якшення] – пристосування для пом'якшення ударів.

Вакуум [< лат. vacuum - порожнеча] – стан розрідженого газу при тиску нижче атмосферного.

Вариатор [< лат. variare - змінювати] – механізм для плавної, безступеневої зміни швидкості обертання валів.

Вібратор [< лат. vibrare – коливати, хитати] – прилад для створення коливальних рухів для передачі їх на інші предмети і матеріали.

Вулканізація [< лат. vulcanus – бог вогню] – технологічний процес гумового виробництва під дією тепла.

Габарит [< фр. gabarit] – найбільші зовнішні розміри предметів, машин, споруд.

Газоаналізатор – прилад для визначення складу одного чи декількох компонентів газової суміші, наприклад, димових газів.

Гараж [< фр. garage] – приміщення для стоянки, заправки і технічного обслуговування машин.

Генератор [< лат. generator - виробник] – пристосування, апарат чи машина, що виробляє певний продукт, наприклад, електроенергію, пару тощо.

Дефектоскопія [< лат. defectus - недолік] – загальна назва методів виявлення невидимих дефектів в матеріалах чи виробках.

Діафрагма [< гр. diaphragma - перегородка] – пластина з отвором (або без нього), що встановлюється на шляху руху газів, повітря чи рідини.

Дизель [від прізвища німецького винахідника Diesel] – двигун внутрішнього згоряння із запаленням рідкого палива від стиску.

Дросель [< нім. drossel] – клапан для зменшення тиску рідини або газу.

Жиклер [< фр. giclur] – колібрований отвір і деталі для дозування витрати рідини або газу.

Експеримент [< лат. experimentum - проба] – науково поставлений дослід, спостереження явища, що досліджується.

Інструмент [< лат. instrumentum] – знаряддя для роботи, наприклад, слюсарний, вимірювальний.

Кабель [< гол. kabel] – один або декілька ізольованих провідників або канатів, які покриті герметичною оболонкою.

Картер [**< англ. carter**] – нерухома деталь машини, яка слугує опорою для робочих деталей і захищає машину від забруднення; нижня частина картера використовується як резервуар для оливи.

Компресор [**< лат. compresus - стиснення**] – машина для стиснення газів, повітря до тиску вище 0,2 МН/м².

Кондиціонер [**< лат. conditio – умова, стан**] – агрегат для приготування повітря певної чистоти, температури і вологості.

Куратор [**< лат. curator - опікун**] – особа, якій доручено нагляд за певною роботою, особою.

Літраж [**< фр. litrage**] – об'єм будь-якої ємності, поданої в літрах, наприклад, в ДВЗ – сума робочих об'ємів всіх циліндрів.

Лонжерон [**< фр. longeron**] – поздовжній несучий елемент конструкції машини.

Люфт [**< нім. luft - повітря**] – зазор між деталями, що з'єднуються.

Макет [**< фр. maquette**] – модель, попередній зразок, наприклад машини, робочого органу тощо.

Манометр [**< гр. manos – рідкий, нещільний**] – прилад для вимірювання тиску рідини, газу, повітря.

Машина [**< лат. machina - споруда**] – сукупність механізмів для створення рухів і перетворення певного виду енергії в її інший вид.

Механізм [**< гр. mechane - знаряддя**] – пристрій для передачі і перетворення рухів.

Педаль [**< фр. pedale - нога**] – важіль, що приводиться в рух ногою в машинах, механізмах, приладах.

Програма [**< гр. programma – об'ява припис**] – план певної діяльності, роботи, навчання.

Реверс [**< лат. reversus - зворотній**] – механізм, що служить для зміни напрямку руху.

Резистор [**< англ. resistor опір**] – елемент електричного ланцюга для створення номінального опору електричного струму.

Ремонт [**< фр. remonte**] – приведення в робочий стан виробу, приміщення, споруди.

Ресора [**< фр. ressost**] – пружний елемент підвіски транспортної машини.

Серво [**< англ. serve - обслуговування**] – допоміжний, саморегулюючий пристрій.

Сертифікат [**< лат. certum – вірно + facere - роботи**] – документ, що засвідчує відповідність нормам або якості виробу, послуг, товару.

Тензометр [< лат. *tendere* – напружувати + *metre*] – прилад для вимірювання пружних деформацій, які викликаються механічними напруженнями в твердих тілах.

Тест [< англ. *test* - дослідження] – завдання стандартної форми, по яких проводять випробування, визначення рівня знань.

Хронометраж – метод вивчення затрат робочого часу на виконання трудових операцій.

Цикл [< гр. *kuklos* - коло] – сукупність взаємозв'язаних явищ, процесів, які створюють закінчене коло.

Шків [< гол. *schijf*] – колесо з рівчаком по колу для передачі руху.

11. Список літератури

1. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Высшая школа, 1981. – 355 с.
2. Васильев А. А. Дорожные машины / Учебник для техникумов по специальностям «Эксплуатация и ремонт дорожных машин и оборудования» и «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог». – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1979. 448 с., ил.
3. Домбровский Н. Г., Картвелишвили Ю. А., Гальперин М. И. Строительные машины. / Учебник для вузов / В 2 частях. 4.1-2. М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
4. Зеленин А. Н. и др. Лабораторный практикум по резанию грунтов./ Учебное пособие для студентов инженерно-строительных и автомобильно-дорожных вузов. – М.: Высш. Школа, 1969, – 310 с.
5. Мобіло Л.В. Особливості тестування при вивченні технічних дисциплін. Науково-методичний журнал. – Рівне. 2007. – 2 с.
6. Машины для земляных работ (теория и расчет) / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
7. Машины для земляных работ: Учебник / Ю. А. Ветров, А. А. Кархов, А. С. Кондра и др. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1981 – 383 с.
8. Машины для земляных работ: Учебник / Гаркави Н. Г., Аринченков В. И., Карпов В. В. и др.; под ред. Н. Г. Гаркави. – М.: Высш. школа, 1982. – 335 с., ил.
9. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности).



Національний університет

водного господарства

та природокористування

– М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

10. Проектирование машин для земляных работ / под ред. А. М. Холодова. Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 272 с.
11. Хмара Л.А. Методика проведення досліджень процесу взаємодії робочих органів ЗТМ з ґрунтом. Звіт по НДР. Дніпропетровськ, 2002. – 49 с.



Національний університет
водного господарства
та природокористування