

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра строительной техники и инженерной механики
имени доктора технических наук, профессора Н.А. Ульянова

**ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НАЗЕМНЫХ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

Воронеж 2017

УДК 629.33 (07)
ББК 39.33

Составитель В.А. Жулай

Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин: метод. указания к вып. лаб. работ/ ВГТУ; сост.: В.А. Жулай – Воронеж, 2017. – 46 с.

Методические указания разработаны для выполнения лабораторных работ по курсу «Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин».

Предназначены для студентов всех форм обучения направлений подготовки УГСН 23.00.00 «Наземные транспортно-технологические средства», «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Ил. 23. Табл. 5. Библиогр.: 9 назв.

УДК 629.33 (07)
ББК 39.33

Печатается по решению учебно-методического совета ВГТУ

Рецензент – А.В. Василенко, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств

ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент является важнейшей составной частью научных исследований. Он представляет собой целенаправленное наблюдение за исследуемым объектом в организованных условиях его работы. Результаты измерений, проводимых при экспериментальных исследованиях, позволяют получить представление о работе отдельных механизмов, агрегатов и машины в целом, а также определить значения ее основных оценочных показателей.

Реализация целей экспериментальных исследований во многом зависит от возможностей устройств для получения первичной информации об исследуемом объекте и измерительно-информационных систем, обеспечивающих прием, преобразование, визуализацию и выдачу измерительной информации.

В применяемых в настоящее время для испытаний мобильных транспортно-технологических машин современных цифровых измерительно-информационных системах, их основные метрологические характеристики определяются свойствами аналого-цифрового преобразователя, который осуществляет дискретизацию по времени и квантование непрерывного сигнала на выходе аналоговой части системы.

Для измерения усилий, крутящих моментов, давлений, ускорений и других неэлектрических величин, когда в результате воздействия измеряемой величины имеет место упругая деформация чувствительного элемента, применяют тензодатчики. С помощью этого гибкого средства измерений, отличающегося простотой, надежностью, малой стоимостью, стабильностью, быстродействием и малыми габаритами, решаются самые разнообразные исследовательские задачи. Поэтому в методических указаниях обращено особое внимание вопросам их практического применения при испытаниях наземных транспортно-технологических машин и комплексов.

Оценку новых конструкторских и технологических решений проводят по результатам их полевых испытаний. Поэтому такие испытания проводятся по методикам, изложенным в стандартах или других нормативных документах. Требования, приведенные в этих методиках, обеспечивают сравнимость результатов испытаний независимо от времени их проведения и исполнителя.

Выполнение представленных лабораторных работ поможет студентам получить практический опыт в организации и проведении экспериментальных исследований наземных транспортно-технологических машин и комплексов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение общего устройства, принципа работы и определение требуемых значений основных параметров информационно-измерительных систем.

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Информационно-измерительная система (ИИС) – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки с целью представления потребителю (в том числе ввода в АСУ) в требуемом виде либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации (ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения: ГОСТ 8.437-81).

Возрастающая сложность машин, повышение требований к качеству их работы, усложнение условий их эксплуатации вызвали необходимость увеличения объема и скорости получения измерительной информации при испытаниях. Рабочие процессы машин для разработки грунтов, как правило, многофакторны, а, следовательно, их изучение требует многофакторной информации. Это вызвало создание сложных измерительных устройств и целых измерительно-информационных систем, необходимость автоматизации процессов измерений и обработки их результатов.

При современной оценке динамических, экономических, эксплуатационных и других качеств машин уже недостаточно определить мгновенные значения изучаемых величин или статические характеристики объекта испытаний. Необходимо исследовать динамические характеристики машин, изменение показателей их работы во времени, тем более, что большинство рабочих режимов машин для разработки грунта, имеют случайный, колебательный характер. Исследовать такие процессы можно лишь с помощью *измерительно-информационных систем, представляющих собой комплекс устройств для получения, преобразования и выдачи измерительной информации.*

Информационно-измерительные системы могут быть различной конструкции, иметь один или несколько каналов различного назначения, но все они построены по одной структурной схеме (рис. 1), которая включает в себя: первичный преобразователь (датчик с чувствительным элементом); согласующее устройство, нормализующее сигнал; промежуточный преобразователь, производящий кодирование и функциональный преобразование; устройство хранения информации.

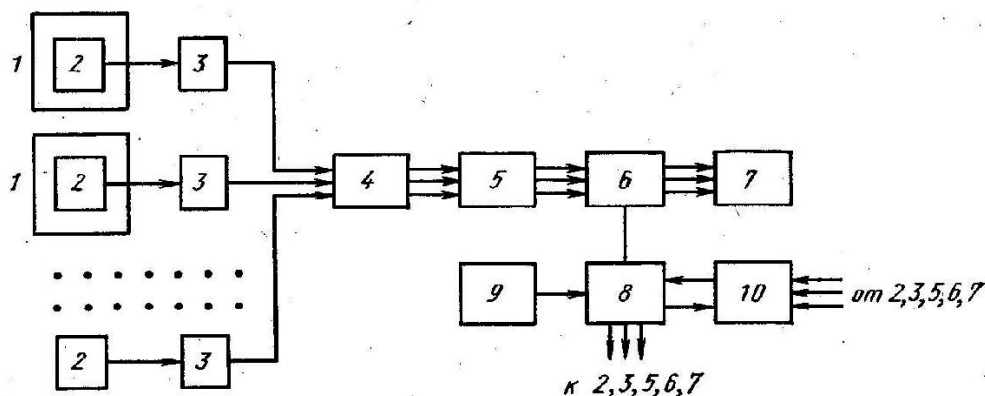


Рис. 1.1. Типовая структурная схема информационно-измерительной системы

Чувствительный элемент 1 (упругий стержень, вал или колесо с отметчиком и т. п.) воспринимает измеряемую величину и передает измерительное воздействие (деформацию, перемещение и т. п.) на датчик 2, который преобразует измерительное воздействие в электрический сигнал. Часто чувствительный элемент и датчик объединены в одном приборе.

Сигнал датчика поступает на промежуточный преобразователь 3 (обычно это измерительный или уравнивающий мост), где происходит масштабное преобразование, компенсация постоянной составляющей, а также температурных и прочих изменений. Далее нормализованный сигнал через токоъемник и кабель 4 (иногда через радиопередающее устройство) поступает на измеритель 5 и дальше – на функциональный преобразователь 6. Здесь происходит усиление сигнала, его кодирование и функциональное преобразование (вычисление среднего арифметического, умножение, интегрирование и т. п.). Окончательный результат выдается на устройство 7 хранения и выдачи информации (указатель, осциллограф или ЭВМ). Пульт 8 позволяет включить систему или отдельные ее элементы в работу или выключить их, установить необходимый режим работы, осуществить контроль за работой системы, проверить масштаб и др. Блок питания 9 является не только получателем или аккумулятором энергии, но и преобразователем напряжения и тока. С помощью блока градуировки 10 происходит периодическая поверка измерительных сигналов.

Это наиболее общее устройство. Реальные ИИС могут не иметь некоторых, приведенных на рис. 1.1 блоков.

Результат измерения является основным видом информации при оценке параметров объекта испытаний. Результат измерения любой величины должен сопровождаться критерием его точности. Измерение без указания его точности не имеет смысла. Точность измерения определяется метрологическими и динамическими характеристиками измерительной аппаратуры. К основным метрологическим характеристикам измерительного устройства относят точность, чувствительность, пределы измерения и некоторые другие.

К динамическим характеристикам относят характеристику переходного процесса, частотные характеристики (амплитудно-частотную, фазово-частотную, амплитудно-фазовую) и передаточную функцию системы. Числовыми характеристиками отдельных динамических свойств системы служат: время переходного процесса (время перестановки, время разгона), постоянная времени системы и отдельных ее элементов, коэффициент усиления системы, полоса пропускаемых частот, частота среза, частота собственных колебаний системы, резонансная частота.

Для передачи сообщений по линии связи или для их обработки могут быть использованы две формы: аналоговая или дискретная (цифровая). Аналоговый сигнал – сигнал данных, у которого каждый из параметров описывается функцией времени и непрерывным множеством возможных значений. Цифровой сигнал – сигнал данных, у которого каждый из параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений.

С датчиков обычно аналоговый сигнал, а для последующей обработки на ЭВМ, с целью получения требуемых характеристик, необходим цифровой сигнал. Поэтому рассмотрим основные метрологические и динамические характеристики цифровых ИИС.

В этих ИИС основные метрологические характеристики будут определяться свойствами аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который осуществляет дискретизацию по времени и квантование непрерывного сигнала на выходе аналоговой части системы.

В преобразовании сигналов из аналоговой формы в цифровую можно выделить следующие процессы: дискретизацию, квантование, кодирование.

Дискретизацией называется измерительное преобразование непрерывного сигнала $x(t)$ в последовательность мгновенных значений этого сигнала $X(k_i\Delta t)$, соответствующих определенным моментам времени $k_i\Delta t$ (Δt – шаг дискретизации). Процесс дискретизации (рис. 1.2) заключается в том, что из непрерывного во времени сигнала выбираются отдельные его значения, соответствующие моментам времени, следующим через определенный временной интервал Δt .

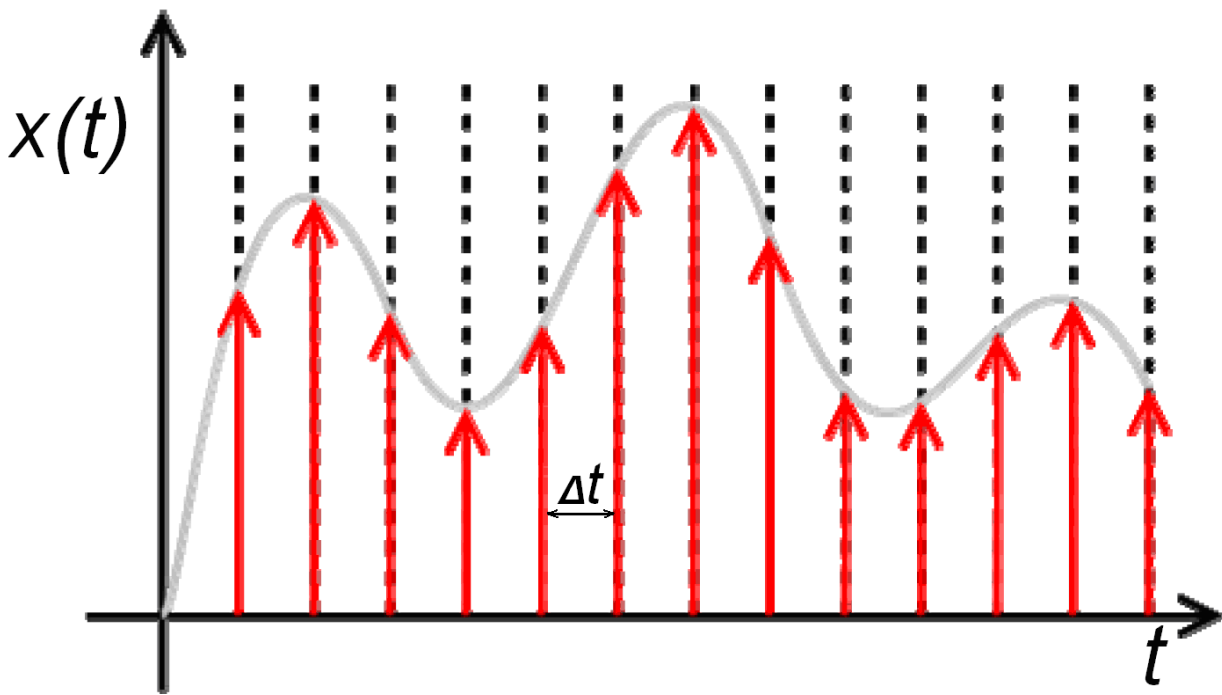


Рис. 1.2. Схема дискретизации аналогового сигнала по времени

Частота дискретизации – частота взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации, обычно измеряется в Герцах (Гц).

Дискретные значения сигнала следует отсчитывать с таким малым шагом дискретизации Δt , чтобы по ним можно было бы восстановить сигнал в аналоговой форме без искажений.

Важное значение для представления сигнала в цифровой форме имеет частота его дискретизации по времени, определяющая погрешность восстановления исходного сигнала. Теоретически, для дискретизации аналогового сигнала без потери информации частота отсчетов должна быть в два раза выше верхней граничной частоты спектра сигнала.

В соответствии с теоремой В.А. Котельникова (теорема Найквиста — Шеннона) минимальная частота дискретизации должна быть

$$f_{\Delta} = 2f_{max}, \quad (1.1)$$

где f_{max} – максимальная частота значимых составляющих в спектре сигнала.

Процесс, обратный дискретизации, называется восстановлением. Возможность точного воспроизведения такого представления зависит от интервала времени между отсчётами (Δt). Для получения более точных оценок спектральных характеристик частота дискретизации f_{Δ} должна быть выше в (3 ... 10) раз. Если максимальная частота в сигнале будет превышать половину частоты дискретизации, то способа восстановить сигнал из дискретного в аналоговый без искажений не существует.

Квантование – операция преобразования аналогового сигнала в дискретный сигнал посредством разбиения диапазона значений аналогового сигнала на конечное число непересекающихся интервалов. Суть квантования (рис. 3) заключается в округлении мгновенных значений аналогового сигнала до некоторой заданной фиксированной величины – шаг квантования. Различают квантование по времени и квантование по амплитуде сигнала. Процесс квантования приводит к погрешности, создавая так называемый шум квантования.

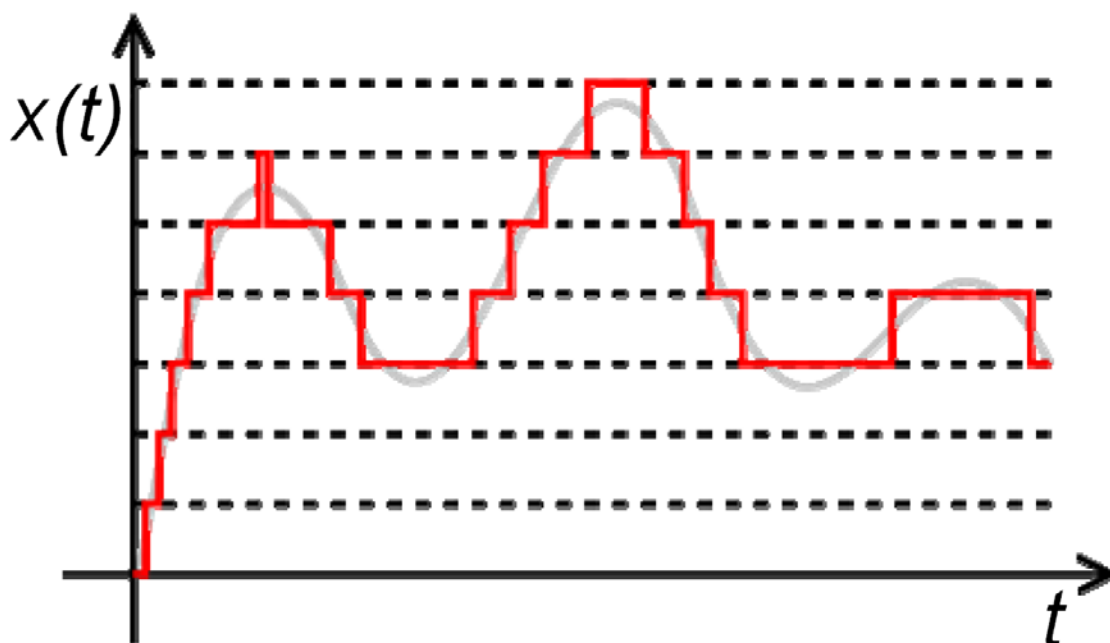


Рис. 1.3. Схема квантования сигнала по уровню

Полученные в результате дискретизации значения исходного аналогового напряжения заменяются ближайшими к ним уровнями квантования. Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым (рис. 1.4).

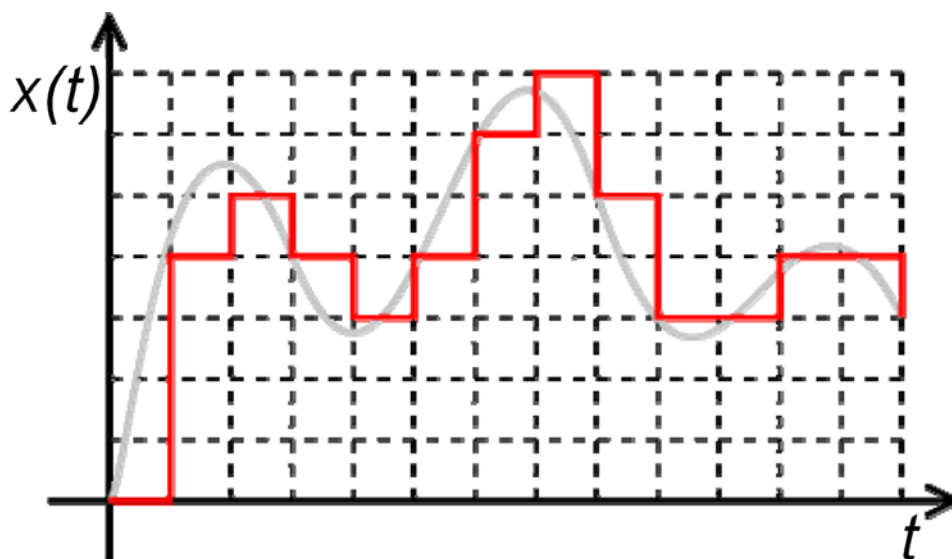


Рис.1.4. Схема оцифрованного сигнала

Квантование по уровню – представление величины отсчётов цифровыми сигналами. Для квантования в двоичном коде диапазон напряжения сигнала от U_{min} до U_{max} делится на 2^n интервалов. Величина получившегося интервала (шага квантования; разрешения по напряжению)

$$\Delta = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^n}, \quad (1.2)$$

где n – разрядность АЦП.

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. Измеряется в битах. Например, АЦП, способный выдать $N = 2^8 = 256$ дискретных значений от 0 до 255, имеет разрядность 8 бит (Бит – один разряд двоичного кода (двоичная цифра) может принимать только два взаимоисключающих значения: «да» или «нет», «1» или «0», «включено» или «выключено», и т. п.).

При оцифровке сигнала уровень квантования называют также глубиной дискретизации или битностью. Глубина дискретизации измеряется в битах и обозначает количество бит, выражающих амплитуду сигнала. Чем больше глубина дискретизации, тем точнее цифровой сигнал соответствует аналоговому.

Определение значений исходного аналогового сигнала выполняется в течение некоторого момента времени, необходимого для осреднения этого сигнала. Во избежание возникновения значительной погрешности, обусловленной возможным изменением сигнала в интервале времени преобразования, необходимо обеспечить такую длительность преобразования t_{np} (апертурное время), при которой приращение исходного сигнала с некоторой скоростью изменения не превысит, например, величины шага квантования.

На основании анализа характеристик рабочих процессов наземных транспортно-технологических машин получена оценка длительности преобразования каждого отсчета, с

$$t_{np} \leq (\pi N f_{\Delta})^{-1}, \quad (1.3)$$

где N – число квантов АЦП,
 f_{Δ} – частота дискретизации, Гц.

Для наших машин это десятки мкс.

Чтобы исключить возможность возникновения значимой погрешности, которая может возникнуть вследствие изменения сигнала в интервале времени преобразования, на входе АЦП установлено устройство выборки-хранения, "замораживающее" входной сигнал на время преобразования.

Кодирование – представление аналогового сигнала в виде двоичного кода. Округление значения напряжения, осуществляемое при операции квантования,

позволяет эти значения представлять числами – номерами соответствующих уровней квантования.

Каждому интервалу присваивается n -разрядный двоичный код – номер интервала, записанный двоичным числом. Каждому отсчёту сигнала присваивается код того интервала, в который попадает значение напряжения этого отсчёта (рис. 1.5). Таким образом, аналоговый сигнал представляется последовательностью двоичных чисел, соответствующих величине сигнала в определённые моменты времени, то есть цифровым сигналом. Имея фиксированную частоту дискретизации по полученному двоичному коду можно однозначно восстановить аналоговый сигнал.

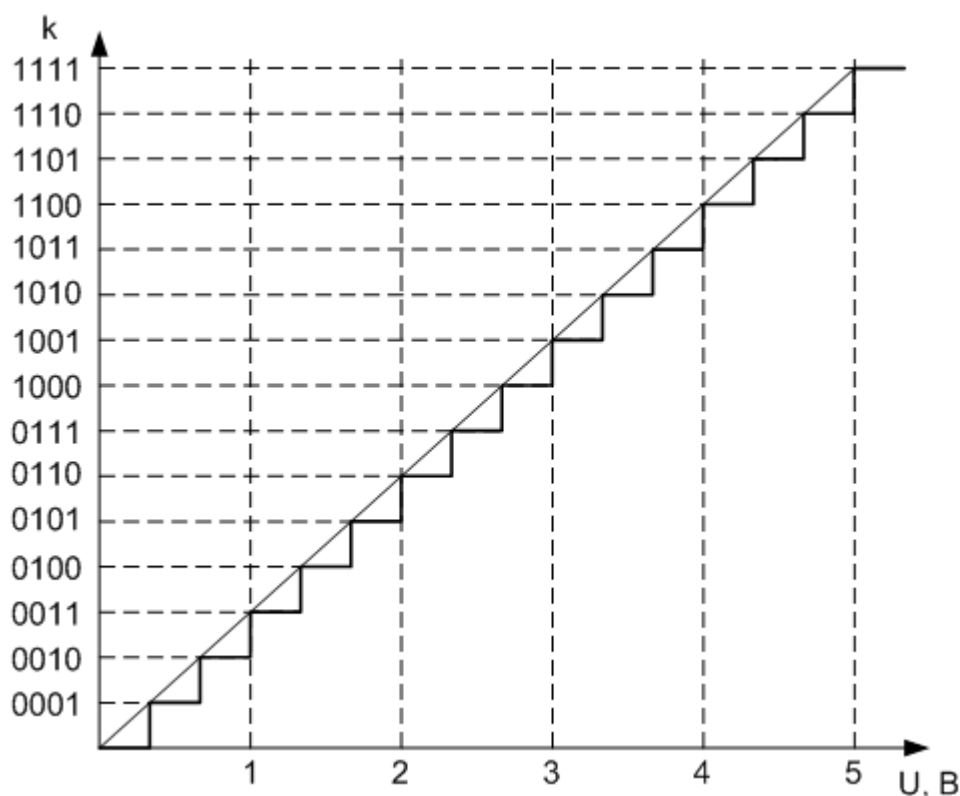


Рис. 1.5. Схема кодирования аналогового сигнала

Для регистрации информации с нескольких датчиков применяется метод последовательного опроса каналов с помощью коммутатора и одного АЦП. При этом возникает межканальная задержка, обусловленная конечной длительностью соединения каждого из каналов, что снижает частоту дискретизации. Величину этой задержки приближенно можно оценить по длительности преобразования t_{np} , приняв ее равной длительности коммутации t_{km} . Для каждого канала

$$t_{km} = k \cdot t_{np}, \quad (1.4)$$

где k – число каналов.

Ошибки квантования присущи любому аналого-цифровому преобразованию. Эти ошибки измеряются в. В приведённом выше примере 8-битного двоичного АЦП ошибка в 1 МЗР составляет 1/256 от полного диапазона сигнала, то есть 0,4 %,

Ошибки квантования являются следствием ограниченного разрешения АЦП. Этот недостаток не может быть устранён ни при каком типе аналого-цифрового преобразования. Абсолютная величина ошибки квантования при каждом отсчёте находится в пределах от нуля до половины единицы, называемой МЗР – младший значащий разряд. Как правило, амплитуда входного сигнала много больше, чем МЗР. В этом случае ошибка квантования не коррелирована с сигналом и имеет равномерное распределение. Её среднеквадратическое значение совпадает со среднеквадратичным отклонением распределения, которое равно

$$\delta_{кв} = \frac{0,289}{N} 100\%. \quad (1.5)$$

В случае 8-битного АЦП это составит 0,113 % от полного диапазона сигнала.

1.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В соответствии с указаниями преподавателя, для конкретных характеристик ИИС, определить следующие параметры.

- Необходимую частоту дискретизации (ф-ла 1.1) и шаг квантования (ф-ла 1.2).
- Определить максимальные величины апертурного времени (ф-ла 1.3) и длительности коммутации (ф-лы 1.4).
- Определить среднеквадратическое отклонение ошибки квантования (ф-ла 1.5).

Контрольные вопросы

1. Что такое информационно-измерительная система?
2. Назначение информационно-измерительных систем.
3. Что включает в себя типовая информационно-измерительная система?
4. Назначение чувствительного элемента и датчика.
5. Назначение промежуточного преобразователя.
6. Назначение аналого-цифрового преобразователя.
7. Назовите основные характеристики динамических свойств ИИС.
8. Что такое аналоговый сигнал?
9. Что такое цифровой сигнал?
10. Какие процессы происходят в аналого-цифровом преобразователе?

11. Что такое дискретизация?
12. Как определяется минимальное значение частоты дискретизации?
13. Что такое квантование?
14. Как определяется разрешение по напряжению?
15. Что такое разрядность АЦП?
16. Что такое апертурное время?
17. Как производится кодирование сигнала.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ.

МОНТАЖ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с принципом действия и устройством тензорезисторов. Освоение практических навыков по выбору типа датчиков, способам монтажа и контролю качества тензорезисторных преобразователей.

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метод электротензометрии в настоящее время широко применяется для исследования напряжено-деформированного состояния конструкций, а также для измерений силовых и кинематических параметров машин. Наиболее часто при этом используются тензодатчики электрического сопротивления – тензорезисторы. Действие тензорезисторов основано на использовании эффекта изменения омического сопротивления датчика при изменении удельного сопротивления и геометрических размеров его чувствительного элемента. Изменение омического сопротивления тензорезистора соответствует деформации в точке поверхности детали, на которую наклеен тензодатчик.

При этом считается, что сопротивление проводника или полупроводника зависит (при неизменном объеме V) от его длины l :

$$R = \rho l / S = \rho l^2 / V, \quad (2.1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала, Ом/см;

S – площадь поперечного сечения, см.

Таким образом, при механическом воздействии на проводник изменение его сопротивления вызывается изменением его длины $\Delta l/l$, площади поперечного сечения $\Delta S/S$ или удельного сопротивления, $\Delta \rho/\rho$.

Отношение изменения активного сопротивления тензорезисторов к вызвавшей это изменение относительной деформации называется чувствительностью

$$k = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 1 + 2\mu \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}, \quad (2.2)$$

где μ - коэффициент Пуассона.

Тензорезисторы обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими аналогичными по назначению измерительными преобразователями. К их положительным качествам относятся: высокая чувствительность преобразования; большой частотный диапазон измерений, малые габариты и вес, возможность дистанционного многоканального измерения.

Тензорезисторы по типу используемого материала чувствительной решетки делятся на две группы: проводниковые и полупроводниковые. Проводниковые тензорезисторы в свою очередь подразделяются на проволочные и фольговые.

Для изготовления тензорезисторов используют константан, нихром, никель, висмут, а также кремний и германий.

Наибольшее значение коэффициента тензочувствительности из перечисленных материалов имеют полупроводники. Так, у кремния значение k достигает 170. Кроме того, кремний имеет наименьший температурный коэффициент сопротивления.

Конструктивно тензорезисторы выполняют из проволоки, фольги или прямоугольников полупроводникового материала (рис. 2.1), наклеенных на тонкую бумагу или пленку лака. К концам тензоэлемента припаивают (приваривают) медные выводные проводники.

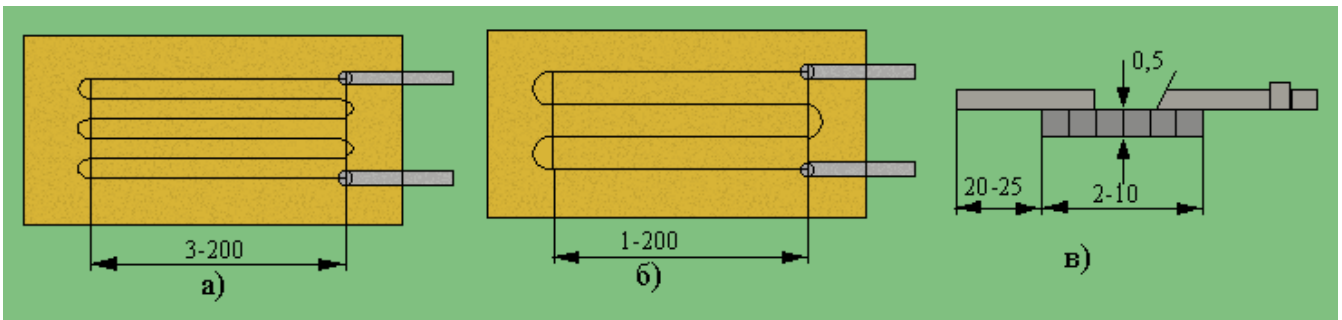


Рис. 2.1 Устройство проволочного (а), фольгового (б) и полупроводникового (в) тензорезисторов

По форме чувствительной решетки тензорезисторы различают на одиночные, розеточные и мембранные.

Наиболее распространенный тип наклеиваемого проволочного тензорезистора имеет следующее устройство. На полоску тонкой бумаги или лаковой пленки наклеивается так называемая решетка из зигзагообразно

уложенной тонкой проволоки диаметром 0,02 - 0,05 мм. К концам проволоки присоединяются (пайкой или сваркой) выводные медные проводники. После высыхания слоя клея сверху преобразователь покрывается защитным слоем лака.

Если такой преобразователь наклеить на поверхность испытуемой детали, то он будет воспринимать деформации ее поверхностного слоя. Измерительной базой преобразователя является длина детали, занимаемая проволокой. Наиболее часто используются проволочные преобразователи с базами 5-20 мм, обладающие сопротивлением 50-500 Ом.

Тензопреобразователи с решеткой из фольги получают путем химического травления фольги 2 толщиной 4 ... 12 мкм, нанесенной сплошным слоем на поверхность подложки из непроводящего материала. Фольговые преобразователи имеют меньшие габариты, чем обычные проволочные и могут иметь базу 0,5 ... 5 мм.

Металлические пленочные тензорезисторы изготавливаются путем напыления в вакууме на поверхность тонкой подложки слоя тензочувствительного материала с последующим травлением слоя проводящего материала с целью формирования решетки тензорезистора. Пленочные тензорезисторы имеют толщину 1 мкм и менее, базу 0,1... 0,5 мм и конфигурацию, аналогичную фольговым тензорезисторам.

В настоящее время в практику измерений все шире стали внедряться интегральные полупроводниковые тензорезисторы имеющие коэффициент тензочувствительности $k \approx 50 \dots 200$. Непосредственно на упругом элементе, выполненном из кремния или сапфира, с использованием планарной технологии микроэлектроники формируется тензорезистор из монокристаллического кремния. Такие тензорезисторы обеспечивают большую точность преобразования, чем пленочные или фольговые, поскольку между поверхностью упругого элемента и решеткой тензорезистора отсутствует слой клея, являющийся источником погрешностей при передаче деформаций от упругого элемента к тензорезистору.

Характерный вид одиночного, проводникового тензорезисторного преобразователя показан на рис. 2.1, к его основным элементам относятся: чувствительная решетка (1), подложка (2), выводные электроды (4).

Чувствительная решетка представляет собой уложенную в виде спирали проволоку или фольгу, изготовленную из материала с высоким удельным сопротивлением типа: константан, элинвар, адванс, нихром. Основа датчика чаще всего изготавливается из полимеризующихся клеев или пленок, возможно использование бумаги или металла.

Подложка датчика, которой тензорезистор крепится к поверхности исследуемого объекта, изготавливается из бумаги, полимерных материалов или металла. Электроды изготавливаются из медной проволоки или фольги и

крепятся к выводам чувствительной решетки посредством припайки или приварки.

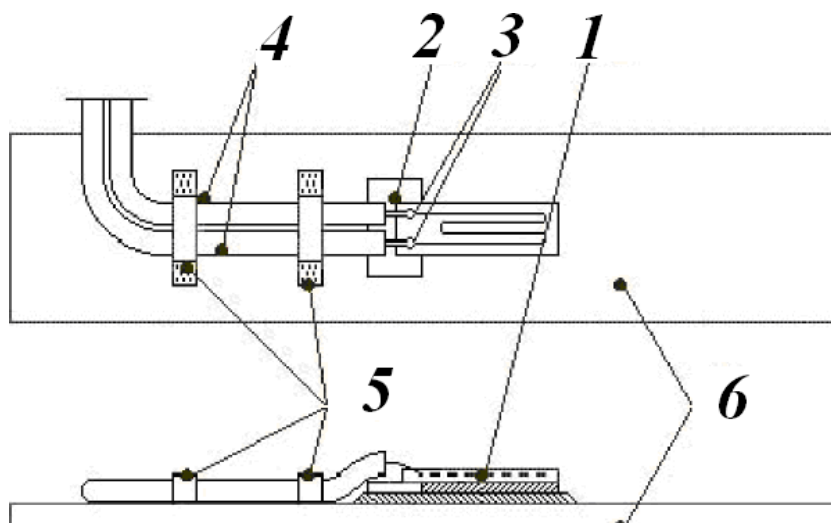


Рис. 2.2. Схема установки тензорезистора на тарировочную балку:
1 - тензорезистор; 2 - изолирующая прокладка; 3 - места спайки (сварки);
4 - соединительные провода; 8 - металлические скобки; 6 - тарировочная балка

Технические условия (ГОСТ 21616-91) предусматривают систему обозначений, включающую краткое описание технических характеристик тензорезисторов. Рассмотрим пример расшифровки условного обозначения тензорезистора: КФ4П1-10-200-АГ-12 – тензорезистор константановый, фольговый, прямоугольная розетка, база – 10 мм, $R_{ном} = 200$ Ом; качество группы А, клей горячего отверждения, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) материала $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Технологический процесс подготовки тензорезисторов к исследованиям требует скрупулезной точности и аккуратности при выполнении отдельных операций, неукоснительного соблюдения правил, обоснованных специальными исследованиями и многолетним опытом.

Процесс подготовки включает последовательное выполнение следующих основных операций:

1. Выбор и проверка исправности тензорезисторов с целью отбраковки и подбора групп датчиков с допустимым разбросом номинального сопротивления;
2. Подготовка поверхности детали с целью обеспечения требований технологии наклейки;
3. Выбор клея, составление клеевой композиции и наклейка тензорезисторов на деталь;
4. Монтаж тензорезисторов, включающий крепление соединительных проводов и их припайку к выводным электродам;

5. Термообработка наклеенных тензорезисторов с целью обеспечения условий полимеризации клеевого соединения;
6. Контроль исправности тензорезисторов и качества выполнения технологических операций;
7. Герметизация и защита тензорезисторов с целью предохранения их от механических повреждений и попадания влаги в процессе исследований.

Подробное описание процедур выполнения каждой из названных операций изложено в прилагаемой инструкции.

2.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

С целью приобретения навыков каждому студенту предлагается выполнить весь комплекс операций по созданию полумостовой тензометрической схемы. В качестве объекта используется упругий элемент типа балки, который затем испытывается в лабораторной работе № 3 для определения метрологических характеристик тензорезисторов.

Последовательность операций выполняется в соответствии с инструкцией:

2.2.1. Выбор и проверка исправности тензорезисторов. Из партии датчиков марки ПКБ или КФ с номинальным сопротивлением $R_{НОМ} = 100...200$ Ом с использованием вольтамперметра выбираются по два датчика с сопротивлением, отличающимся не более чем на 1%;

2.2.2. Подготовка поверхности детали производится вручную с использованием абразивной ленты (шкурки). После обработки поверхность балки должна быть гладкой с матовой поверхностью. Обезжиривание подготовленной поверхности осуществляется спиртом или другим растворителем с помощью тампона.

2.2.3. Наклейка тензорезисторов в зависимости от типа датчиков осуществляется клеем БФ-2 (БФ-4) или клеем типа "ЦИАКРИН АО" с точным и аккуратным выполнением всех требований инструкции.

2.2.4. Подготовка и электромонтаж измерительной схемы включает операции по подбору и лужению монтажных проводов, их крепление к упругому элементу посредством точечной сварки и припайке выводных электродов к монтажным проводам. После этого выполняется промежуточная проверка работоспособности тензорезисторов с использованием цифрового мультиметра типа DT 890.

2.5. Термообработка тензорезисторов осуществляется для каждого сорта клея по режимам рекомендуемым в соответствии с инструкцией.

Окончательный контроль качества наклейки и электромонтажа схемы включает визуальный осмотр и регистрацию конечного значения номинального сопротивления тензорезистора и контроль сопротивления изоляции тензорезисторов.

Завершающим этапом работ является герметизация датчиков с целью предохранения от механических повреждений и влияния влаги.

В процессе выполнения лабораторной работы студентом ведется протокол, в котором последовательно заносятся характеристики используемых датчиков и применяемых материалов, особенности технологии наклейки и режима термообработки. Протокол и подготовленная балка сдается преподавателю для последующего использования в лабораторной работе № 3.

ИНСТРУКЦИЯ

по подготовке тензорезисторных преобразователей к исследованиям

Процесс подготовки тензорезисторов к исследованиям включает следующие технологические операции:

1. Выбор и проверка тензорезисторов

Тип применяемых тензорезисторов, геометрические размеры и сопротивление чувствительной решетки зависят от размеров и конфигурации исследуемой детали; вида и характера измеряемой деформации, градиента напряжений в пределах исследуемого участка поверхности детали, измерительной схемы, типа применяемого измерителя и других факторов. Последовательность действий:

1.1. Внешний осмотр тензорезисторов проводится с целью обнаружения возможных механических дефектов: не параллельности нитей чувствительной решетки, повреждение основы и выводов; пузырей и пустот в клеевом слое основы, загрязнения и т. д.

1.2. Проверка тензорезисторов на целостность чувствительных решеток с помощью обыкновенного омметра. Для этого к выводным электродам проверяемого тензорезистора необходимо подключить прибор для измерения омического сопротивления. Если стрелка прибора отклонилась на величину, соответствующую номинальному сопротивлению $R_{НОМ}$, значит чувствительный элемент данного тензорезистора исправен.

1.3. Группировка тензорезисторов по величине номинального сопротивления производится специализированным прибором высокого класса точности (В7-27, Р-386 и т. д.). С этой целью на приборе устанавливается предел измерения, соответствующий сопротивлению тензорезисторов указанному в паспорте на партию тензодатчиков. Затем выводные электроды тензорезистора соединяются с входом регистрирующего прибора. Тензорезисторы данной партии распределяются по группам, разброс сопротивлений в каждой группе не должен превышать 1,0% от номинального сопротивления тензорезистора.

1.4. Обезжиривание поверхности основы и подложки выбранных тензорезисторов. Взяв тензорезисторный преобразователь одной рукой за выводные электроды, другой протирают одновременно обе поверхности тензорезистора тампоном, слегка смоченном в растворителе или спирте. Обезжиренные тензорезисторы кладут на чистую бумагу, прикрывая их сверху от попадания пыли и влаги.

2. Подготовка поверхности детали

Одно из основных условий прочного и надежного соединения тензорезисторов с исследуемой деталью (независимо от типа применяемого клея) состоит в том, что поверхность детали должна быть ровной, гладкой, с матовым оттенком, чистой и сухой. Последовательность действий:

2.1. Удаление с поверхности детали краски, масляных пятен, ржавчины, окалины и т.п. Для этого используются растворители, жесткие металлические щетки, напильники и шаберы.

2.2. Зачистка поверхности до матового оттенка, так как к шлифованным или полированным поверхностям тензорезисторы приклеиваются плохо. Зачистка поверхности абразивной лентой (шкуркой) выполняется так, чтобы риски располагались перпендикулярно оси наклеиваемых датчиков или перекрещивались с ней под углом 45° (рис. 2.3 а).

2.3. Обезжиривание поверхности чистым тампоном, смоченным в спирте или других растворителях; тампон меняют несколько раз до тех пор пока он не будет оставаться совершенно чистым (рис. 2.3 б).

2.4. Просушка обработанной поверхности в течение 5... 10 минут. До начала наклейки нельзя прикасаться к подготовленной поверхности детали.



а)



б)

Рис. 2.3.. Подготовка поверхности детали к наклейке тензорезисторов

3. Выбор клея и наклейка тензорезисторов на деталь

В зависимости от условий выполняемых исследований и типа применяемых тензорезисторов применяют различные марки клеев; наибольшее распространение получили клеи горячего отверждения типа БФ-2 (БФ-4) и клей холодного отверждения типа "Циакрин АО".

Чтобы прочно и надежно связать тензорезисторы с поверхностью испытываемой детали и добиться при этом высокой степени электрической изоляции, термостойкости и стабильности свойств клеевого слоя, необходимо строго выполнять ряд условий.

Последовательность действий:

3.1. Наклейка тензорезисторов должна выполняться только кондиционным клеем. Перед применением клеи следует тщательно перемешать; для повышения жидкотекучести клеи подогревают или разбавляют соответствующим растворителем.

Температура поверхности детали должна быть не ниже 18...20 °С при влажности не более 80%. Необходимо предотвратить возможность конденсации влаги на поверхности детали, для этого в случае необходимости деталь следует подогревать с помощью нагревательных приборов.

3.2. Дополнительная изоляция мест пайки выводных электродов; для этого на деталь к пассивной части тензорезистора подклеивается бумажная полоска, длина которой позволяет расположить на ней выводные электроды.

3.3. Нанесение на поверхность детали меток для точной ориентации продольной оси чувствительной решетки датчика. При известных направлениях главных деформаций одиночные датчики ориентируются соответственно, в противном случае на поверхность детали наклеиваются трехкомпонентные розетки.

3.4. Наклейка тензорезисторов клеями горячего отверждения (БФ-2, 4) включает непрерывную последовательность операций: на подготовленную поверхность детали ровным слоем наносят клей, площадью, перекрывающей поверхность тензорезистора. Нижнюю (рабочую) поверхность тензорезистора, включая бумажную полоску, также покрывают тонким слоем клея.

Тензорезистор держат за выводные проводники, не касаясь пальцами основы. Клею дают просохнуть, после чего наносят второй слой клея, и выдерживают его до "отлипа". Затем тензорезистор накладывают на поверхность и прокатывают его резиновым валиком. При этом нужно следить за тем, чтобы не нарушалась правильная ориентация тензорезистора, а давление было достаточно сильным, но не чрезмерным, так как можно повредить чувствительную решетку датчика. С помощью прикатывания и приглаживания пальцами выдавливают излишки клея, устраняют образующиеся в нем пузырьки воздуха и пустоты, добиваясь равномерного распределения клея и плотного соприкосновения соединяемых поверхностей по всей площади тензорезисторов.

При применении клеев холодного отверждения ("Циакрин АО") на подготовленную поверхность (рис. 2.4 а) наносят тонкий слой клея (рис. 2.4 б); после чего, без выдержки, выдержки, накладывается тензорезистор (рис. 2.4 в) который равномерно прижимается к поверхности детали через полиэтиленовую пленку(рис. 2.4 г) в течение 1 ... 2 минут.

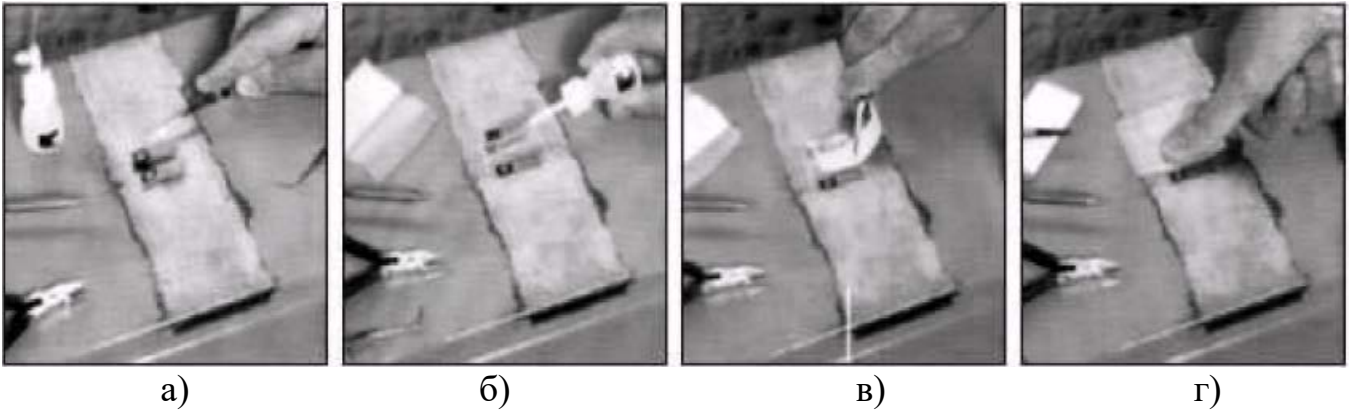


Рис. 2.4.. Этапы установки тензорезистора на поверхность исследуемой детали

4. *Электромонтаж тензорезисторов*

Последовательность действий:

4.1. Подбор монтажных проводов одинаковой длины, предназначенных для соединения тензорезисторных преобразователей с измерительным прибором; концы проводов зачищаются и залуживаются.

4.2. В непосредственной близости от выводных электродов тензорезисторов на поверхность детали приклеиваются пластинки из металлизированного гетинакса.

4.3. Монтажные провода с металлическими скобками крепятся на поверхности детали посредством точечной сварки.

4.4. Выводные электроды тензорезисторов и монтажные провода припаиваются к соответствующим контактам гетинаксовых пластинок (рис. 2.5).

4.5. Выполняется текущая проверка исправности чувствительной решетки тензорезистора и определяется электрическое сопротивление между одним из контактов датчика и поверхностью исследуемой детали. Датчик считается достаточно хорошо изолированным от поверхности детали, если сопротивление изоляции превышает 2 МОм.

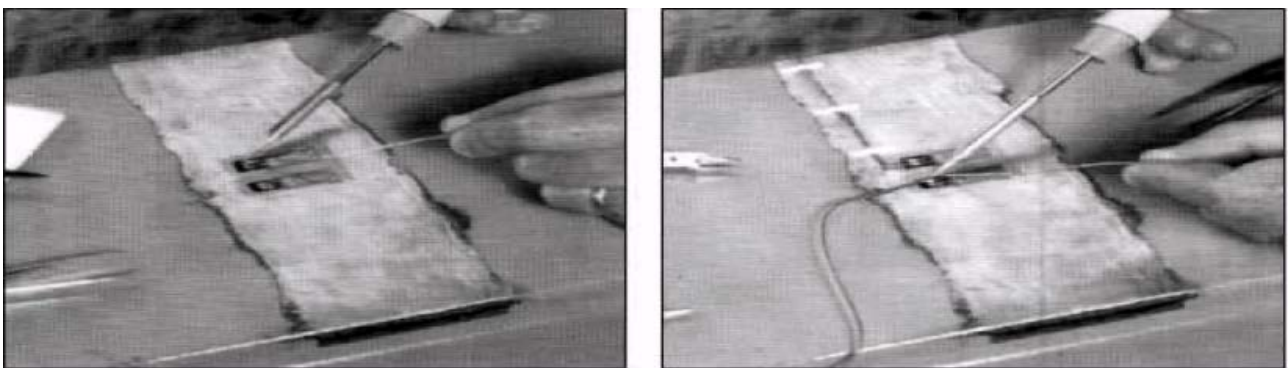


Рис. 2.5. Монтаж и присоединение удлиняющих проводов к тензорезисторам

5. Термообработка клеевого слоя тензорезисторов

В зависимости от типа используемого клея применяются различные режимы термообработки клеевого слоя тензорезисторов. Для клея типа БФ-2 режим термообработки включает двухчасовую выдержку на воздухе с последующей термообработкой по режиму: нагрев до 70 °С выдержка 1 час в печи нагрев до 140 °С, выдержка 2 часа; нагрев до 180°С, выдержка 2 часа; охлаждение вместе с печью.

6. Контроль качества наклейки тензорезисторов

После термообработки производят окончательную проверку качества установки тензорезисторов, которую начинают с внешнего осмотра и заканчивают измерением сопротивления решеток и сопротивления изоляции. Во время внешнего осмотра можно обнаружить ряд механических дефектов, таких как : нарушение правильной ориентации тензорезистора; искривление петель, темные пятна, наличие воздушных пузырей, вздутий; коробление и отслаивание основы от поверхности детали и т.п.

О наличии пустот можно судить по показанию измерителя: при хорошем качестве наклейки после нажатия на чувствительную решетку указатель сразу возвращается в прежнее положение, если же прибор фиксирует наличие остаточной деформации величиной 40...60 $\frac{\text{мкм}}{\text{м}}$, то налицо дефектность наклейки.

Некачественно наклеенный тензорезистор имеет пониженную в 1,5...2,0 раза чувствительность к измеряемой деформации; плохую воспроизводимость результатов при повторных нагрузках и значительный гистерезис.

Контроль качества изоляции и электрического сопротивления тензорезисторов выполняется по пункту 4.5 настоящей инструкции.

7. Герметизация тензорезисторов

Защита тензорезисторов от вредного влияния окружающей среды (механических повреждений, влаги, температуры и т.п.) достигается путем применения специальных покрытий (рис. 2.6).

При выборе защитных средств исходят из конкретных условий испытаний, свойств сред, в которых будет находиться испытываемая деталь, и свойств клеевого материала, применявшегося для наклейки тензорезистора.

Основные требования, предъявляемые к средствам герметизации:

- простота и удобство применения;
- защитные средства не должны растворять клей, которым наклеены тензорезисторы;
- непроницаемость для воды и газа, наличие высоких электроизоляционных свойств, противодействие агрессивным средам и механическому воздействию.

В качестве герметизирующих средств широко используются: вазелин, парафин, воск, клеи, применяемые для наклейки тензорезисторов.



Рис. 2.6 Герметизация тензорезистора.

Контрольные вопросы

1. Для чего используется метод электротензометрии?
2. На использовании какого эффекта основано действие ов?
3. Что такое чувствительность тензорезистора?
4. Виды тензорезисторов по типу используемого материала чувствительной решетки.
5. Из каких материалов изготавливают тензорезисторы?
6. Формы чувствительной решетки тензорезисторов.
7. Основные элементы одиночного проводникового тензорезисторного преобразователя.
8. Какие операции включает технологический процесс подготовки тензорезисторов к исследованиям?
9. Как производится выбор и проверка тензорезисторов?
10. Как производится подготовка поверхности детали?
11. Как производится выбор клея и наклейка тензорезисторов на деталь?
12. Как производится электромонтаж тензорезисторов?
13. Как производится термобработка клеевого слоя тензорезисторов?
14. Как производится контроль качества наклейки тензорезисторов?
15. Как производится герметизация тензорезисторов?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Освоение методов определения основных метрологических характеристик тензорезисторных преобразователей; привитие навыков работы с современной многоканальной измерительной тензоаппаратурой.

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Измерение проводниковыми тензорезисторами основано на эффекте изменения электрического сопротивления чувствительной решетки при ее деформации. При этом изменение омического сопротивления тензорезистора обусловлено двумя явлениями: изменением продольного и поперечного размеров проводника с одной стороны и удельного сопротивления материала с другой. Зависимость вида

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu + m) \times \varepsilon = k \times \varepsilon \quad (3.1)$$

называется основным уравнением электротензометрии, где $\Delta R/R$ – относительное изменение активного сопротивления чувствительного элемента тензорезистора, мкОм/Ом.;

ε – деформация исследуемой детали, единиц относительной деформации (е.о.д.);

μ – коэффициент Пуассона;

m – коэффициент изменения удельного сопротивления материала от деформации ;

k – коэффициент тензочувствительности тензорезистора.

Поскольку каждый тензорезистор может быть наклеен на поверхность детали только один раз, непосредственная тарировка этого типа преобразователей невозможна. Поэтому в соответствии с методикой ГОСТ 21616-91 для определения метрологических характеристик партии датчиков из нее отбирается 10% от общего количества для проведения механических и термических испытаний.

Выбранные тензорезисторы наклеиваются на поверхность тарировочного образца (балки), изготовленного из стали с высокими упругими характеристиками (60С2, 62С, 65Г, 30ХГСА и т.д.).

Для проведения механических испытаний используется специальное тарировочное устройство, схема которого приведена на рис.3.1.

Основными метрологическими характеристиками тензорезисторов являются:

1. *База тензорезистора L_6* . База тензорезистора равна длине прямолинейного участка чувствительного элемента датчика. Отечественной промышленностью выпускаются тензорезисторы базой от 0,5 до 100 мм. Малобазные тензодатчики ($L_6 < 3$ мм) используются для анализа напряженно-деформированного состояния в области значительных градиентов напряжений, например в зоне концентрации напряжений. При тензометрировании конструкций изготовленных из материалов, имеющих неоднородную структуру (типа бетона и т.д.) используются тензорезисторы с большой базой ($L_6 > 50$ мм), чтобы исключить влияние местных напряжений.

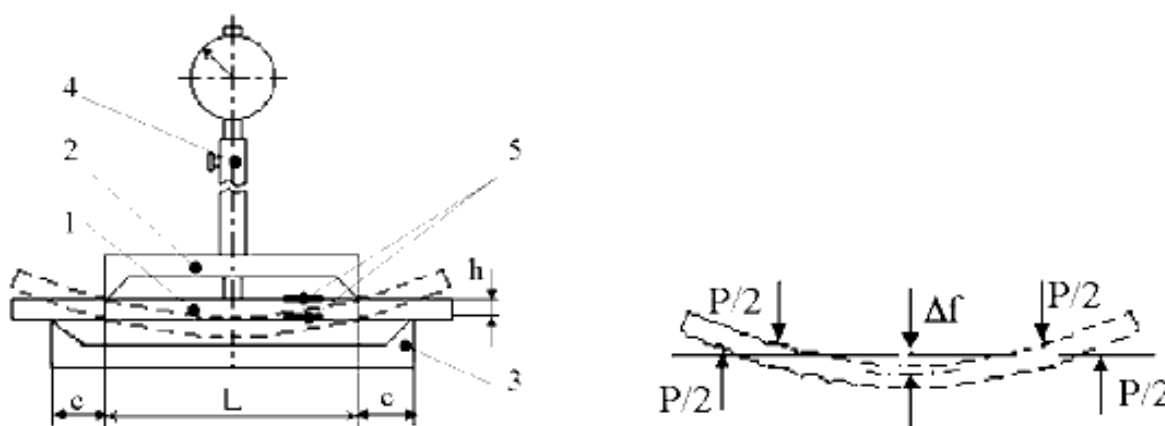


Рис. 3.1. Схема тарировочного устройства:

- 1 - упругий элемент с наклеенными тензорезисторами;
- 2 - верхняя траверса; 3 - нижняя траверса;
- 4 - индикатор часового типа со штоком;
- 5 - исследуемые тензорезисторы

2. *Номинальное сопротивление $R_{ном}$* – значение активного сопротивления чувствительной решетки тензорезистора в Омах. В настоящее время выпускаются тензодатчики сопротивлением от 50 до 800 Ом. Выбор датчиков по $R_{ном}$ выполняется для согласования выходного сопротивления измерительной схемы и входного сопротивления используемой тензометрической аппаратуры.

3. *Максимально допустимый ток питания измерительной схемы I_{max}* – допустимый ток в мА, при котором не происходит заметного нагрева тензорезистора, способного повлиять на характеристики тензорезистора. В зависимости от типа исследуемого тензорезистора I_{max} принимается равным 30 мА для проволочных датчиков и до 0,5 А для фольговых. Это отличие объясняется более благоприятными условиями теплопередачи через плоскую поверхность чувствительной решетки фольговых датчиков.

4. *Предел измеряемой деформации ε_{max}* – наибольшее значение деформации, до которого гарантируется надежная работа тензорезисторов и линейность их метрологических характеристик. Часто величину ε_{max} измеряют в единицах относительной деформации (е.о.д.) или в процентах (%). Отожженная константановая проволока до деформации порядка 10% (100000 е.о.д.) сохраняет линейность преобразования. У наклеиваемых датчиков линейность преобразования сохраняется до 1,5% (15000 е.о.д.). Заводы-изготовители ограничивают верхний предел использования проволочных и фольговых тензорезисторов величиной деформации 0,3 % (3000 е.о.д.).

5. *Температурный диапазон работоспособности D_t* – область изменения температуры, при которой погрешности измерения, обусловленные влиянием температуры на свойства тензорезистора, не выходят за допустимые пределы. Температурный диапазон работоспособности указывается в паспорте на партию датчиков.

6. *Коэффициент тензочувствительности k* – отношение приращения (относительного) сопротивления наклеенного тензорезистора к деформации образца, измеренной в направлении оси базы тензорезистора

$$k = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon} \quad (3.2)$$

Коэффициент k зависит от большого числа различных факторов и прежде всего от материала чувствительного элемента, свойств клеевого соединения базы тензорезистора, качества наклейки тензодатчиков на поверхности детали и других. Коэффициент тензочувствительности проволочных и фольговых датчиков изменяется в диапазоне от 1,9 до 2,6. На рис.3.2 приведен пример статической характеристики тензорезисторного преобразователя, с использованием которой может быть определен коэффициент тензочувствительности тензодатчиков.

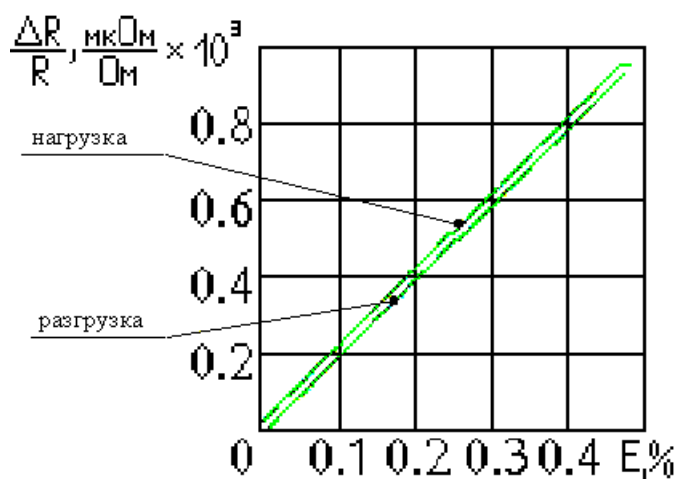


Рис. 3.2. Статическая характеристика наклеиваемого тензорезистора:
1 - нагрузка; 2 - разгрузка.

7. *Ползучесть* – явление уменьшения чувствительности наклеенного тензорезистора, при действии деформации постоянной величины. Величина ползучести P_τ определяется

$$P_\tau = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\tau - \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\varepsilon}{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\varepsilon} \times 100\%, \quad (3.3)$$

где $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\tau$ – показания тензорезистора, регистрируемые через заданный промежуток времени (τ) с тарировочной балки при $\varepsilon = \text{const}$;

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\varepsilon$ – показания тензорезистора, регистрируемые с момента нагружения конструкции до значения $\varepsilon = \text{const}$.

Явление ползучести связано с упругопластическими свойствами основы и клея, применяемого для наклейки тензорезисторов. Наличие ползучести ухудшает воспроизводимость результатов измерений. Различают временную и температурную ползучесть. На рис.3.3 приведен график, иллюстрирующий явление временной ползучести тензорезисторных преобразователей.

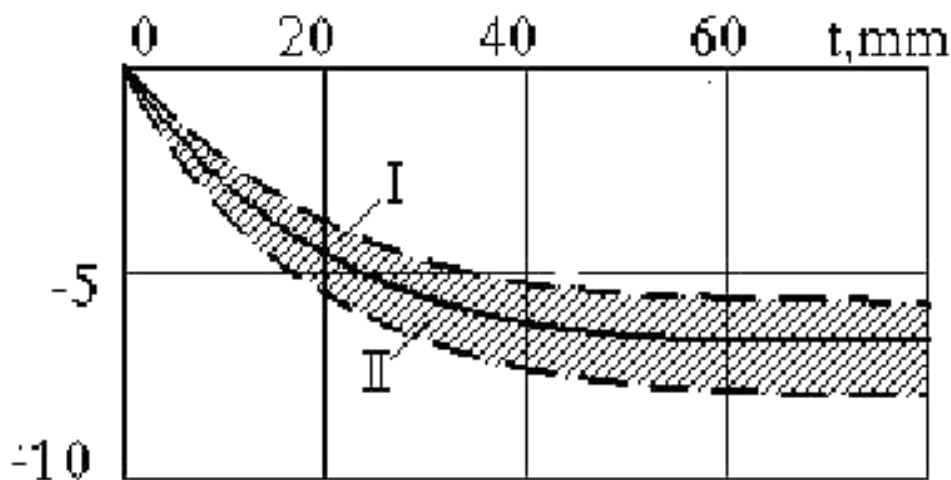


Рис. 3.3. Кривая (временной) ползучести тензорезисторов типа КФ4, КФ5:

I - зона разброса характеристик ползучести;

II - среднее значение кривой ползучести.

8. *Механический гистерезис* Γ_m – явление несовпадения тарировочных зависимостей тензорезисторов, снятых при нагрузке и разгрузке. Величина

механического гистерезиса Γ_m пропорциональна площади ограниченной кривыми «нагрузка-разгрузка» на графике статической характеристики тензорезисторных преобразователей (см. рис.3.2).

$$\Gamma_{mi} = \frac{\left| \left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{загр} - \left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{разгр} \right|}{\left(\frac{\Delta R}{R} \right)_{max}} \times 100\% , \quad (3.4)$$

9. *Температурный гистерезис* – явление несовпадения температурных характеристик наклеенного тензодатчика, снятых при нагреве и охлаждении тарировочного образца. Величина температурного гистерезиса Γ_m определяется экспериментально.

10. *Температурный коэффициент сопротивления (Т.К.С) α_t* – коэффициент, характеризующий зависимость относительного сопротивления тензорезистора от изменения температуры. Сопротивление тензорезистора изменяется с температурой по двум причинам: во-первых, ТКС проволоки не равен нулю, во-вторых ввиду различия температурных коэффициентов расширения (ТКР) материала проволоки и детали. С учетом сказанного, температурный коэффициент сопротивления тензорезистора определяется по формуле

$$\alpha_t = \alpha_n - (\beta_n - \beta_m)k_n, \quad (3.5)$$

где α_n – ТКС свободной проволоки;

β_n, β_m – ТКР проволоки и детали, соответственно;

k_n – коэффициент тензочувствительности свободной проволоки.

11. *Температурный "дрейф нуля"* – явление поэтапного уменьшения чувствительности наклеенного тензорезистора, находящегося под воздействием максимально допустимой для данного датчика температуры.

Температурный "дрейф нуля" определяется как максимальное значение приращения кажущейся деформации за 1 час действия на образец предельной положительной температуры (измеряется в мкм/м). Значение D_t определяется экспериментально.

12. *Сопротивление изоляции $R_{из}$* (сопротивление утечки) – электрическое сопротивление, измеренное между любым выводом наклеенного тензорезистора и массой исследуемой детали. Клей должен не только прочно связывать тензорезистор с поверхностью исследуемой детали, но и обеспечивать достаточную электрическую изоляцию нитей чувствительной решетки от массы детали. Если диэлектрические свойства клея недостаточно высоки, то нити решетки шунтируются сопротивлением утечки клеевого слоя.

Уменьшение приводит к уменьшению чувствительности тензорезистора. При несовершенстве изоляции тензорезистора относительно металлических частей детали в измерительную цепь могут проникать различного рода паразитные токи, которые, накладываясь на полезный сигнал, будут вносить погрешность в результаты измерений. На практике стремятся к тому, чтобы $R_{из}$ тензорезистора находилось на уровне сотен и даже тысяч МОм.

13. *Предельная частота измеряемой деформации f_{max}* – максимальная частота динамических деформаций, которую можно измерять с помощью металлических тензорезисторов. f_{max} зависит от материала детали, на которую они наклеены и базы используемых для этого тензодатчиков. Величина предельной частоты для применяемых тензорезисторов превышает значение 50 кГц.

14. *Полный механический ресурс P_c* – гарантируемое заводом-изготовителем число циклов динамической нагрузки при ε_{max} , в течение которых свойства тензорезистора сохраняются в заданных пределах. Установлено, что под воздействием динамических деформаций происходит постепенное уменьшение чувствительности тензорезистора в результате ослабления связи между тензорешеткой и основой, между основой и поверхностью детали, либо происходит нарушение контакта в месте соединения тензорезистора с выводами и другие виды повреждений.

3.2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика определения некоторых характеристик тензорезисторов описана ниже.

Для проведения работ по определению метрологических характеристик тензорезисторов используются упругие элементы с датчиками, подготовленные при выполнении лабораторной работы № 2.

3.2.1. База тензорезистора определяется с использованием штангенциркуля или линейки.

3.2.2. Номинальное сопротивление наклеенного тензодатчика определяется с использованием цифрового мультиметра типа DT 890. В соответствии с инструкцией по эксплуатации измерительного прибора необходимо подключить его к сети и установить соответствующий диапазон измерений сопротивления (как правило, до 1 кОма). После этого произвести измерение сопротивления исследуемого датчика путем одновременного замыкания выводов датчика с соответствующими контактами соединительного кабеля. Указанную процедуру проделать не менее трех раз, полученные результаты осреднить и записать в журнал испытаний тензорезисторов.

3.2.4. Коэффициент тензочувствительности k тензорезисторных преобразователей определяется на специальном тарировочном устройстве (рис. 3.1). Упругий элемент в виде планки постоянного сечения подвергается изгибу по схеме, представленной на рис. 3.4. Между точками приложения силы планка подвергается чистому изгибу, который вызывает равномерную деформацию

рабочего участка длиной b . Производится 2-3 цикла приложения нагрузки. На каждом этапе регистрируются показания тензорезисторов по прибору АИД-4 и измеряется стрела прогиба f с помощью индикатора часового типа ИЧ-10. Результаты измерений заносятся в табл. 3.1. Относительную деформацию наружных волокон определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{12h}{3l^2 - 4a^2} f, \quad (3.6)$$

где h – толщина балки, мм;

l – длина балки между опорами, мм;

f – стрела прогиба на базе l , мм .

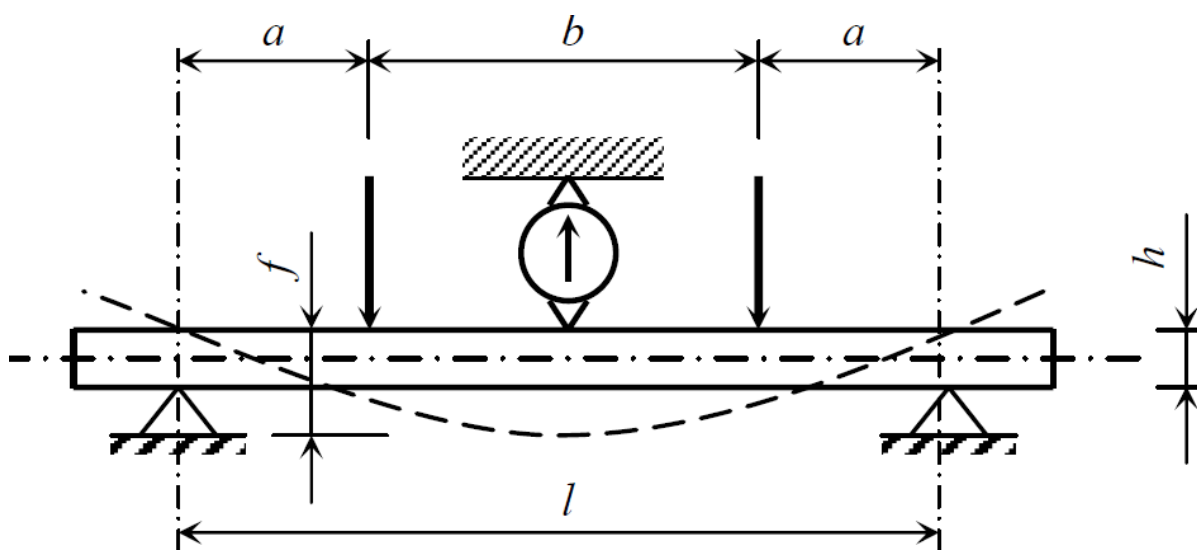


Рис. 3.4 Схема установки для тарирования тензорезисторов

Задавая различные значения f , регистрируют соответствующие изменения относительного сопротивления $\Delta R/R$ и строят статическую характеристику тензорезистора $\Delta R/R = f(\varepsilon)$. Коэффициент тензочувствительности определяется по формуле (3.2).

3.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.3.1. Определить базу проверяемого тензорезистора в соответствии с пунктом 3.2.2.

3.3.2. Измерить номинальное сопротивление датчиков в соответствии с пунктом 3.2.3. Записать данные в журнал испытаний.

3.3.3. Произвести распайку разъема для подключения тензорезисторов к тензоусилителю по полумостовой схеме. Установить тарировочную балку в

нагрузочное приспособление и подключить разъем к тензометрической системе. Задавая прогиб балки, контролируемый по стрелочному индикатору ($f_{min} = 0$; $f_{max} = 5,0$; $\Delta f = 0,5$ мм), фиксируют показания тензоаппаратуры при нагрузке и разгрузке балки. Полученные значения занести в таблицу. Опыт повторить не менее трех раз для каждой тарировочной балки.

Таблица 3.1

Результаты испытаний тензорезисторов

№ п/п	f_i , мм	ε , е.о.д.	$\Delta R/R$
1
...
i

Полученные данные осреднить и построить графики для нагрузки и разгрузки. По полученной статической характеристике тензорезистора определить среднее арифметическое значение и величину доверительного интервала коэффициента тензочувствительности k .

3.4. Определение сопротивления изоляции $K_{из}$ в соответствии с п.4.5 лабораторной работы № 2.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры связывает основное уравнение электротензометрии?
2. Принцип определения метрологических характеристик тензорезисторов.
3. Назовите основные метрологические характеристики тензорезисторов.
4. Что такое база тензорезистора?
5. Почему используются тензорезисторы с различным номинальным сопротивлением?
6. Как определяется максимально допустимый ток питания измерительной схемы?
7. Что такое предел измеряемой деформации?
8. Что такое коэффициент тензочувствительности?
9. Что такое ползучесть и с чем связано это явление?
10. Что такое механический гистерезис?
11. Как определяется коэффициент тензочувствительности?
12. Какое значение должно иметь сопротивление изоляции?

ГРАДУИРОВКА ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ТЯГОВЫХ ЗВЕНЬЕВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Освоение методов градуировки и определения основных метрологических характеристик тензометрических звеньев

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тензометрические звенья являются первичными измерительными преобразователями (ИП) усилий, непосредственно воспринимающими измеряемую величину и преобразующими её в электрический сигнал. К метрологическим характеристикам ИП относят коэффициент преобразования K_u и среднее квадратическое отклонение σ_x , характеризующее случайную составляющую его погрешности. Метрологические характеристики ИП определяются при их поверке или градуировке, которые проводятся по приборам более высокого класса точности.

Поверка средств измерений – это определение метрологическим органом погрешности средства измерений и установление его пригодности к применению. Градуировка средства измерений – определение его градуировочной характеристики.

При испытаниях машин для разработки грунтов динамометрические и тяговые звенья обычно поверяют на рычажных поверочных установках с переносными образцовыми динамометрами системы Н.Г. Токаря разряда III. Они предназначены для юстировки и поверки испытательных машин и приборов или для измерения статических нагрузок с высокой точностью. Образцовые переносные динамометры III-го разряда представляют собой кольцеобразные стержни. Их деформацию при нагружении измеряют индикатором, показания которого в определенном масштабе соответствуют величине приложенной к динамометру нагрузки. На рис. 4.1 показан переносной образцовый динамометр растяжения разряда III (типа ДОР).



Рис. 4.1. Образцовый динамометр растяжения

Под действием нагрузки стальное кольцо деформируется, вследствие чего перемещается стержень индикатора, нажимающего на упор кольца. Пружина индикатора выбирает зазоры в измерительной цепи. Такие динамометры изготавливают работающими на сжатие или на растяжение, а также универсальными для нагрузок от 100 до 1000 кН (100000 кгс).

Для измерения механических напряжений, давления и тяговых усилий в машинах для разработки грунтов используются упругие элементы. Преобразователем таких элементов является упругое стальное кольцо (рис. 4.2), на внутренней или наружной поверхности которого наклеены тензорезисторы. Комплект таких элементов позволяет измерить тяговые усилия от 10^3 до 10^6 Н.

При поверке (градуировке) рабочих тензодинамометров по переносному образцовому динамометру разряда III поверяемый и образцовый динамометры включают в одну силовую цепь, т. е. подвешивают последовательно один к другому на поверочном стенде и нагружают.

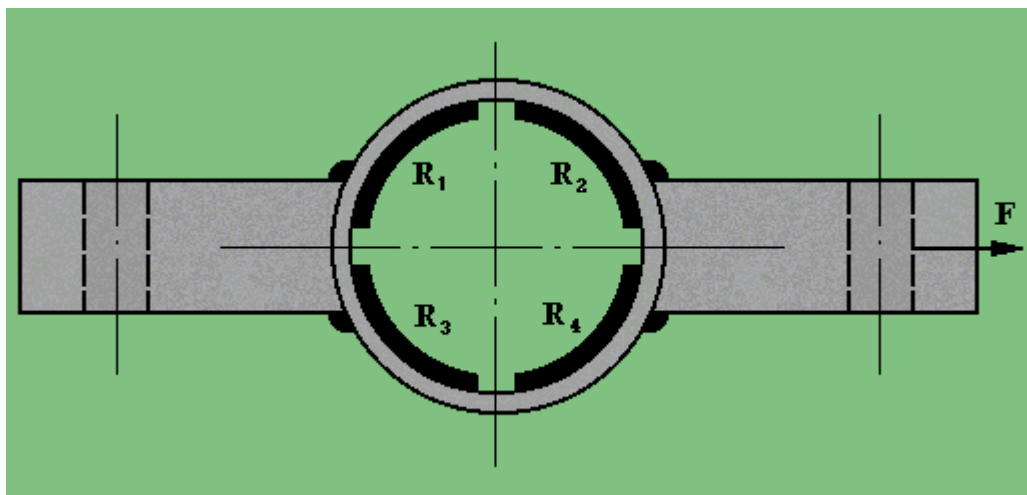


Рис. 4.2. Кольцевой упругий элемент.

Стенд для поверки рабочих тензодинамометров по образцовым разряда III, разработанный в КубНИИТИМе (рис. 4.3) показан в момент поверки кольцевого тензометрического звена по образцовому динамометру. Для создания нагрузки станок оборудован гидropередачей, состоящей из гидроцилиндра, установленного на головке станка, и педальным насосом. Такие станки выпускаются также и с механическим натяжным устройством и ручным приводом.

4.1.1 Методика проведения градуировки тензометрического звена.

Для тензометрических звеньев, как и для всех силоизмерительных приборов, в качестве стандартного, утвержден статический метод градуировки.

При градуировке тензометрического звена весь диапазон нагрузок, соответствующий его диапазону измерения, разбивают на несколько ступеней

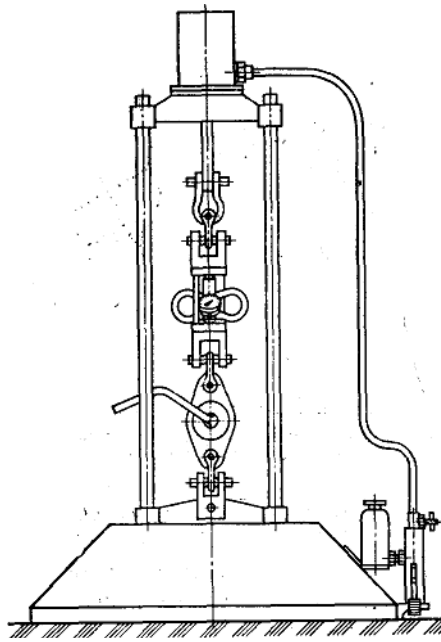


Рис. 4.3. Стенд для поверки рабочих тензодинамометров по образцовым

(обычно на десять). Градуировку с использованием информационно-измерительной системы (ИИС) производят в следующем порядке: подвесив тензометрическое звено на поверочный стенд, и установив нулевую линию, его постепенно нагружают до величины, заданной для первого опыта (первая ступень) и записывают показания. Затем нагрузку снова увеличивают до определенной величины (вторая ступень), которую так же записывают, и т. д. до наибольшей нагрузки. При ее достижении тензометрическое звено несколько перегружают и получают дополнительную ступень. После этого в обратном порядке плавно производят ступенчатую разгрузку, записывая показатели каждой ступени на ленту. В результате такого процесса получают градуировочную диаграмму (рис. 4.4). Площадки ступеней этой диаграммы должны быть строго параллельны нулевой линии.

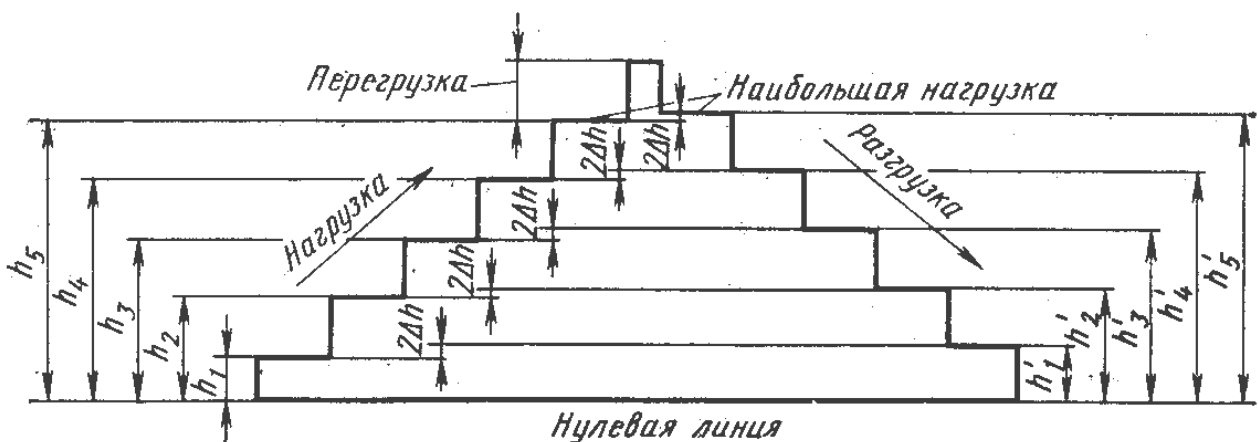


Рис. 3.4. Градуировочная диаграмма тензометрического звена

Из-за наличия нечувствительности тензометрического звена (упругий гистерезис, трение и зазоры в механизмах прибора и др.) линии разгрузок не будут совпадать с линиями нагрузок, в результате чего высота ступеней разгрузки градуировочной диаграммы будет отличаться от высоты ступеней нагрузки на величину двойного порога чувствительности $2\Delta h$, Чем выше чувствительность прибора, тем меньше его статическая погрешность Δh , представляющая собой отклонение показания ИИС от действительной величины нагрузки в статических условиях.

При градуировке тензометрического звена нагрузку и разгрузку, обычно, производят 3 раза (записывают три диаграммы), что обеспечивает необходимую точность. Результаты обработки градуировочных диаграмм тензозвена оформляют в виде таблицы (табл. 4.1). Для показывающих динамометров в таблицу вписывают непосредственно показания по шкале используемого прибора (вольтметра, амперметра).

Таблица 4.1

Результаты градуировки тензометрического звена

Эталонная нагрузка, H	Ордината, мм (B)						средняя по нагрузке и разгрузке	Коэффициент преобразования K_u $H/мм(B)$
	при нагрузке			при разгрузке				
	1	2	3	1	2	3		

Коэффициент преобразования K_u тензометрического звена определяют как отношение истинной нагрузки данной ступени к средней ординате нагрузки и разгрузки.

Устойчивость показаний тензозвена оценивают вариацией (разбросом) результатов измерений, которые для каждой ступени нагрузок определяются разностью между отдельными показаниями опыта, повторяемого несколько раз при нагрузке или при разгрузке для данной ступени. Вариацию в процентах определяют относительно номинальной нагрузки. Вариация характеризует предельную погрешность однократного измерения и для тяговых динамометров не должны превышать 0,5%.

На основании результатов поверки тензозвена строят масштабную диаграмму (рис. 4.5). На этой диаграмме наносят средние значения ординат h_{cp} нагрузок в функции эталонной нагрузки P и по этим точкам проводят масштабную линию.

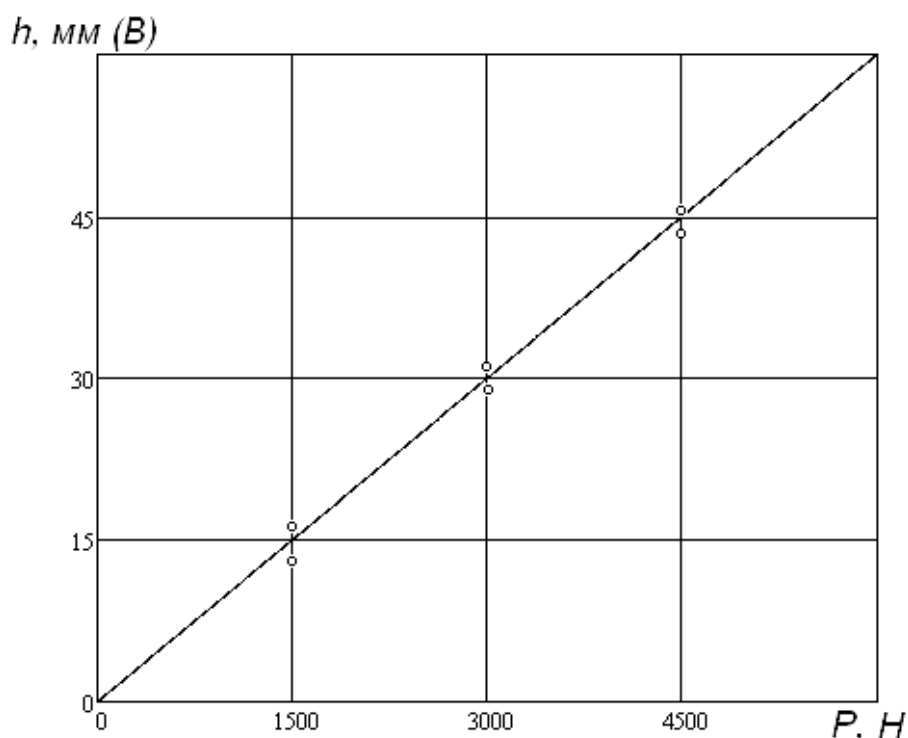


Рис. 4.5. Масштабная диаграмма

Чтобы избежать «ошибки нуля», способ установки нулевой линии на тяговой диаграмме (осциллограмме) должен быть одинаковым как при поверке тензометрического звена на поверочном стенде, так и при поверке нуля в полевых условиях. При проведении испытаний машин единственно приемлемым является способ установления нулевого показания в положении «после разгрузки»: тензозвено несколько нагружают, затем плавно разгружают; положение луча устройства визуализации без нагрузки принимают за нулевое. При поверке нуля в полевых условиях подвешенное между машиной и тормозным агрегатом тяговое звено несколько натягивают машиной, затем осторожно разгружают. Положение луча устройства визуализации должно при этом совпадать с нулевой линией.

При обработке тяговых диаграмм находят средние ординаты, а затем по градуировочной диаграмме определяют значение тягового усилия, соответствующее данной ординате. Если масштабная линия диаграммы прямая, т. е. величина масштаба при всех нагрузках одинакова (что требуется от каждого прибора), то можно пользоваться масштабом динамографа без градуировочного графика.

При динамометрировании машин для разработки грунтов, работающих в полевых условиях, когда нагрузка имеет характер случайного процесса, могут возникнуть недопустимые по величине динамические погрешности. Следует их оценить, а при необходимости учесть. В этом случае, кроме статической поверки, проводят динамическую тарировку динамометрической аппаратуры в диапазоне частот существенной части амплитудно-частотного спектра нагрузки.

4.2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И ПОРЯДКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для градуировки тензометрического звена грунтового канала используется специальный стенд (рис. 4.6) состоящий из рамы 1, нагружающего винтового механизма 2 и последовательно подвешенных к нему пружинного динамометра ДПУ-0,5-2 3 и кольцевого тензовывода 4.

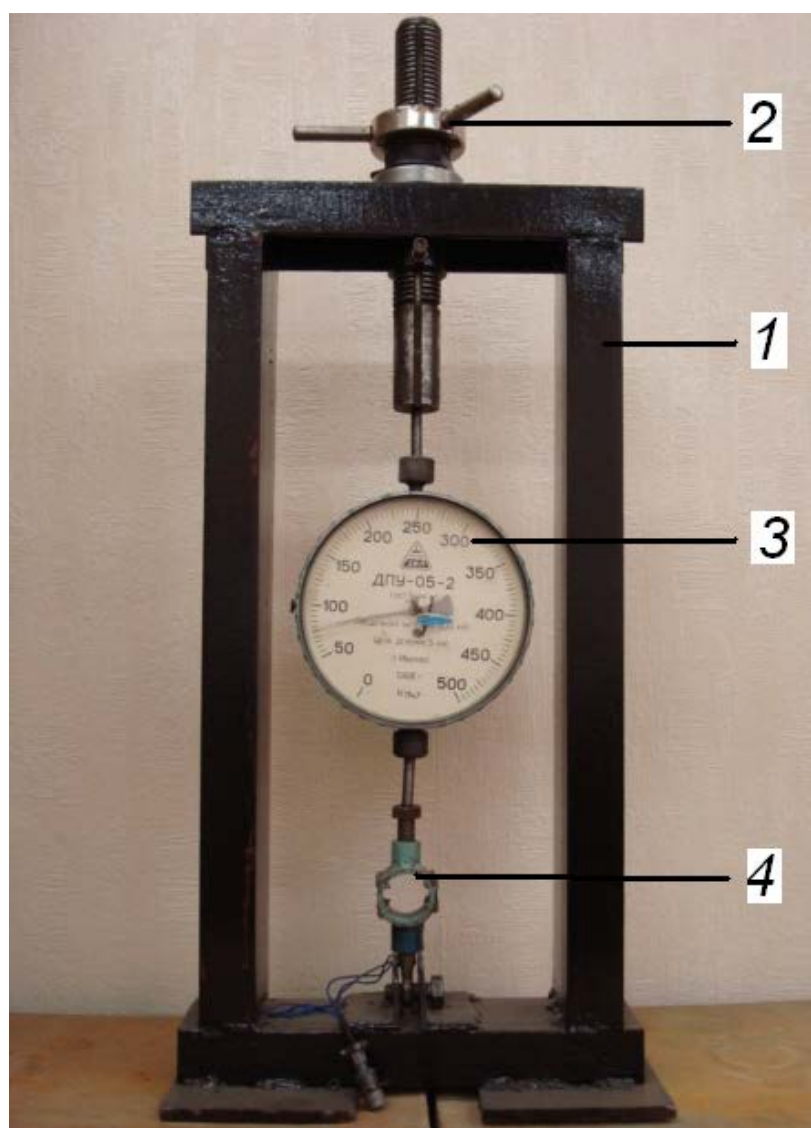


Рис. 4.6. Стенд для градуировки тензометрического звена

Конструкция стенда позволяет ступенчато нагружать и разгружать тензометрическое звено с контролем величины усилия по пружинному динамометру, выполняющему в данном случае роль эталонного.

Градуировка тензометрического звена выполняется в следующей последовательности.

4.2.1. Подвешивают последовательно один к другому на поверочном стенде пружинный динамометр ДПУ-0,5-2 3 и кольцевое тензозвено 4.

4.2.2. После установки тензозвена на стенд его с помощью специального кабеля подключают к информационно-измерительной системе, включающей согласующее устройство, промежуточный преобразователь и устройства хранения визуализации информации.

4.2.3. Провести градуировку тензометрического звена в соответствии методикой, изложенной в п. 1.1.

4.2.4. Занести результаты градуировки в таблицу 3.1, построить масштабную диаграмму (рис. 3.5).

4.2.5. С помощью метода наименьших квадратов определить значение коэффициента преобразования \bar{K}_u , среднее квадратическое отклонение s_K и коэффициент вариации $\delta = \frac{s_K}{\bar{K}_u}$, сравнить его с допускаемым.

Контрольные вопросы

- 1. Какие функции выполняют тензометрические звенья?*
- 2. Назовите метрологические характеристики измерительных преобразователей.*
- 3. Как определяются метрологические характеристики измерительных преобразователей?*
- 4. Что используется в качестве образцовых средств измерения при тарировке тяговых звеньев?*
- 5. Что является преобразователем тяговых звеньев?*
- 6. Методика проведения градуировки тензометрического звена.*
- 7. Почему не совпадают линии разгрузок с линиями нагрузок градуировочной диаграммы?*
- 8. Что представляет собой коэффициент преобразования тензометрического звена?*
- 9. Как устанавливается нулевое показание при проведении испытаний машин?*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕСНЫХ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Освоение метода определения тяговой характеристики колесных землеройно-транспортных машин

5.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тягово-сцепные качества землеройно-транспортных машин непосредственно влияют на их производительность, которая определяется величиной тяговой мощности развиваемой двигателями этих машин. Наиболее полно тягово-сцепные качества ЗТМ можно оценить с помощью тяговой характеристики.

Метод определения тяговой характеристики самоходных землеройных машин, в том числе агрегатированных, с навесным или прицепным рабочим оборудованием регламентируется ГОСТ 27247–87 Машины землеройные. Метод определения тяговой характеристики. Метод предусматривает определение зависимости от скорости движения тягового усилия, тяговой мощности и буксования колес или гусениц.

В научной школе созданной Н.А. Ульяновым принят другой вид тяговой характеристики – зависимость перечисленных параметров от силы тяги. Но методика определения тяговой характеристики остается такой же.

Настоящий метод распространяется на все типы самоходных землеройно-транспортных машин.

5.2. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА

Испытательная площадка представляет собой прямолинейный участок с горизонтальной поверхностью, обеспечивающей необходимый коэффициент сцепления при минимальном сопротивлении качению.

Рекомендуемая минимальная длина

Рекомендуется устанавливать длину измеряемого участка не менее 100 м с подъездными путями такой длины, чтобы до выезда на измеряемый участок можно было стабилизировать скорость движения и нагрузку. С обоих концов площадки следует предусматривать зоны разворота таких размеров, чтобы на них легко разворачивалось испытательное оборудование.

Уклон

Уклон площадки должен быть менее 0,5 %. Если испытания проводят на площадке с уклоном более 0,5 %, то заезды следует повторять в обоих направлениях с усреднением полученных результатов.

Уклон поперечного профиля от оси площадки к обочинам должен быть менее 3%.

5.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Примерный комплект приборов и оборудования показан на рис. 5.1.

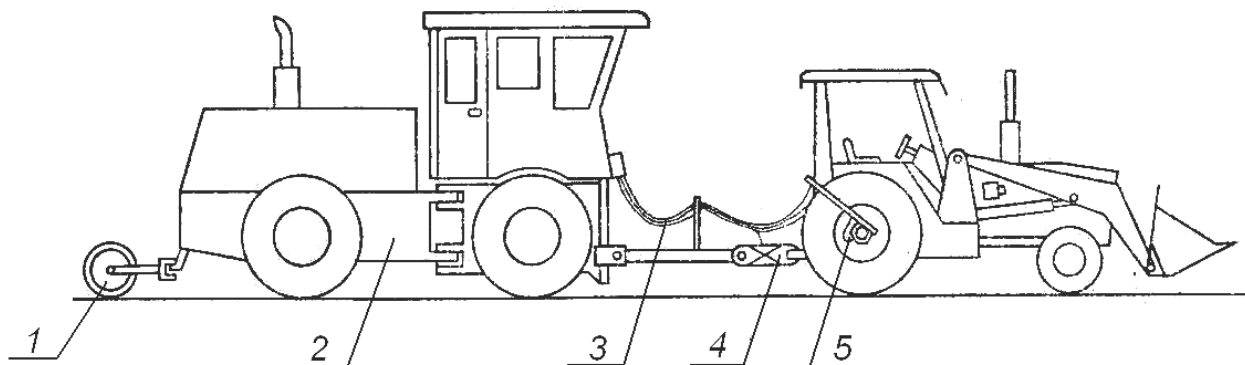


Рис. 5.1. Испытательное оборудование для определения тяговых характеристик

Для измерения скорости движения, тягового усилия, буксования колес, частоты вращения двигателя применяют приборы и оборудование: динамометрическая тележка 2, кабель 3, динамометр 4, счетчик оборотов 5, тахометр, датчик пути 1.

Динамометрическая тележка позволяет поддерживать в заданных пределах либо:

- частоту вращения двигателя, выходного вала бесступенчато регулируемой трансмиссии или ведущих колес машины, подвергаемой испытанию, либо
- тяговое усилие.

Тележка должна обеспечивать получение полной тяговой характеристики машины без нарушения пределов безопасности, соответствующих рабочим режимам самой тележки.

Погрешности измерений параметров и регистрации значений

Значения допускаемых погрешностей измерений приводятся в ГОСТ 27247–87 и составляют для различных параметров 0,5 ... 1,5 % .

5.4. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

Перед проведением испытаний следует измерять мощность двигателя и (или) отрегулировать его в соответствии с документацией изготовителя.

До начала испытаний следует

- убедиться, что:
 - все механические регулировки машины соответствуют указаниям изготовителя (проверить частоту вращения двигателя, тормоза, муфты и т.д.);

– марки горюче-смазочных материалов и охлаждающих жидкостей соответствуют указаниям изготовителя.

- Машину загружают, балластируют и (или) оснащают рабочим оборудованием в соответствии с требованиями условий испытаний.
- Регулируют давление в шинах в соответствии с указаниями изготовителя.
- Машину взвешивают для определения общей массы и распределения массы между ведущими колесами (оператор находится на рабочем месте, топливный бак полностью заправлен).
- Машину соединяют с динамометрической тележкой, устанавливают все необходимые измерительные приборы.

Высота точки прицепа должна соответствовать рекомендациям изготовителя. Сцепное устройство тележки регулируют таким образом, чтобы линия действия тягового усилия была горизонтальна.

Если машину используют в качестве тягача, то тележку следует крепить к сцепному устройству. К таким машинам, как автогрейдер или скрепер, нагрузку прикладывают на высоте не более 100 мм над уровнем площадки.

- Следует проверять работоспособность испытательного оборудования.

Пневмоколесную машину следует провести по испытательному треку на первой или второй передаче трансмиссии при частичном приложении нагрузки (0,5 ... 0,75 максимального значения). Необходимо обращать внимание на отпечатки выступов рисунка протектора шин. Если контакт происходит не по всей ширине беговой дорожки, то следует снижать давление в шинах.

Внимание! Не снижайте давление в шинах ниже нижнего предела для фактической нагрузки на каждую шину в соответствии с указаниями изготовителя.

Износ протектора шин не должен превышать 50% высоты нового грунтозацепа или глубины рисунка нового протектора.

- Определяют число оборотов ведущих колес или звездочек при свободном качении, т. е. при движении без тяговой нагрузки по измеряемому участку; для этого машина проходит по измеряемому участку длиной не менее 50 м своим ходом на низшей передаче трансмиссии, при работе двигателя с низкой частотой вращения коленчатого вала, без корректировки курса с помощью рулевого управления.
- Основные характеристики машины вносят в протокол.

5.5. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

1. Перед началом регистрации экспериментальных данных машину прогревают пробегом, пока жидкости в системах двигателя и трансмиссии не достигнут рабочих температур.

При выполнении испытательных заездов органы управления двигателем устанавливают в положение, соответствующее максимальной мощности.

2. Машина проходит измеряемый участок на определенной передаче трансмиссии (или при определенном передаточном отношении бесступенчато регулируемой трансмиссии) под нагрузкой, позволяющей поддерживать среднее значение частоты вращения двигателя, ведущих колес или звездочек на заданном уровне для каждого отдельного заезда; при этом регистрируют:
 - а) тяговое усилие;
 - б) время;
 - в) путь;
 - г) частоту вращения двигателя;
 - д) частоту вращения выходного вала бесступенчато регулируемой трансмиссии;
 - е) число оборотов ведущих колес.

В качестве альтернативного метода допускается регулировать тяговое усилие, поддерживая его на постоянном уровне в процессе каждого заезда; при этом регистрируют те же параметры.

Допускается автоматическое управление счетчиками оборотов датчика пути и ведущих колес с использованием электронного реле времени. В этом случае продолжительность каждого заезда определяют временем, а не пройденным расстоянием.

Время и путь, на котором регистрируют параметры в процессе испытательного заезда, должны быть достаточны для обеспечения требуемой точности измерений. Для построения отчетной тяговой характеристики машины при каждом выбранном значении тягового усилия или частоты вращения следует выполнять два заезда (по одному в каждом направлении) и усреднять их результаты.

При заезде с регистрацией параметров рулевое управление следует использовать минимально. Разность чисел оборотов ведущих колес (для колесных машин) не должна превышать 3 %.

В процессе любого заезда с регистрацией параметров мгновенные значения частоты вращения двигателя или выходного вала бесступенчато регулируемой трансмиссии не должны отличаться от заданного значения частоты вращения более чем на ± 3 %. Среднее значение частоты вращения по одному заезду не должно отличаться от заданного более чем на 3%, а среднее значение по двум заездам не должно отличаться от заданного более чем на 0,5 %.

3. На каждой передаче трансмиссии выполняют серию заездов при полностью открытой дроссельной заслонке или полной подаче топлива в двигатель. Нагрузку меняют от минимального до максимального значения, пока не будет достигнут максимальный крутящий момент привода либо пока буксование колес не достигнет 100 %.
4. Если на машинах с гидротрансформатором или бесступенчато регулируемой трансмиссией требуется измерять тяговое усилие при

стоповом режиме, то может возникнуть необходимость догрузки машины балластом для предотвращения буксования колес раньше момента достижения стопового режима.

5. Испытания следует проводить при рабочих скоростях движения, обеспечивающих безопасность в данных условиях.
Допускается определять ряд параметров расчетным путем.

5.6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Точность измерения исследуемых параметров оценивается по величине погрешностей, возникающих при тарировке (градуировке) измерительных каналов и при обработке осциллограмм.

По результатам тарировки определяются текущие значения тарировочного коэффициента для каждого измеряемого параметра. В результате статической обработки массива текущих значений тарировочного коэффициента K_i определяется методом «наименьших квадратов» его среднее значение (в первом приближении математическое ожидание) \bar{K} и среднее квадратичное отклонение σ_k .

Абсолютная погрешность результата измерений ΔK равна

$$\Delta K = t_p \cdot (n) \cdot \sigma_k, \quad (5.1)$$

где $t_p(n)$ - коэффициент Стьюдента для заданной вероятности P и числа измерений n . Для $P=0,95$ и $n=10$ /5/

$$t_p(10) = 2,28. \quad (5.2)$$

Относительная погрешность результата измеряемого параметра равна

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_m^2 + \varepsilon_{отс}^2}, \quad (5.3)$$

где $\varepsilon_{отс}$ - относительная погрешность отсчета на осциллограмме.

$$\varepsilon_{отс} = \frac{\Delta_{отс}}{H_{отс}}, \quad (5.4)$$

где $\Delta_{отс}$ - абсолютная погрешность отсчета, равная половине цены деления измерительного устройства (для стальной линейки $\Delta_{отсЛ} = 0,5$ мм, для отметок времени на осциллограмме $\Delta_{отсв} = 0,05$ с);

$H_{отс}$ - максимальная ордината отсчета измеряемого параметра на осциллограмме.

Статистические показатели тарировочных коэффициентов сводят в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Погрешность измерений при тяговых испытаниях.

Измеряемый параметр	$\Delta_{отс}$	$H_{отс}$, мм	Погрешности измерений, %		
			ε_T	$\varepsilon_{отс}$	ε
Сила тяги, Т	0,5	160	2,32	0,31	2,34
Скорость задних колес, $V_{кз}$	0,05	6	2,09	0,83	2,25
Скорость «пятого» колеса, $V_{к5}$	0,05	6	3,19	0,83	3,30

По результатам тяговых испытаний определяются расчетным путем следующие показатели.

Теоретическая скорость движения автогрейдера V_T , равная окружной скорости ведущих колес, м/с,

$$V_T = \frac{L_T}{t_o}, \quad (5.5)$$

где $L_T = n_m 2\pi r_m$ – путь ведущего колеса за время измерения, м;

n_m – количество оборотов ведущего колеса за время измерения;

r_m – динамический радиус ведущего колеса, м;

t_o – время измерения, с.

Действительная скорость движения автогрейдера, м/с,

$$V_{\partial} = \frac{L_{\partial}}{t_o}, \quad (5.6)$$

где $L_{\partial} = n_{\partial} 2\pi r_{\partial}$ – путь измерительного колеса за время измерения, м;

n_{∂} – количество оборотов измерительного колеса за время измерения;

r_{∂} – динамический радиус измерительного колеса, м;

t_o – время измерения, с.

Коэффициент буксования колесного движителя

$$\delta = 1 - \frac{V_{\partial}}{V_T}. \quad (5.7)$$

Тяговая мощность на рабочем органе автогрейдера, кВт,

$$N_T = T \cdot V_{\partial}. \quad (5.8)$$

Часовой расход топлива двигателем, кг/ч,

$$G_m = \gamma_{t0} \bar{G}_m, \quad (5.9)$$

где γ_{t^0} - объемная масса дизельного топлива при температуре топлива t^0 С.

Удельный расход топлива

$$g_T = \frac{G_m}{N_T}. \quad (5.10)$$

Обработанные первичные результаты испытаний заносятся в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Обработанные первичные результаты тяговых испытаний

T , кН	0						
V_T , м/с							
V_∂ , м/с							
δ , %	0						100
G_T , кг/ч							

Полученные значения обработанных первичных результатов тяговых испытаний наносятся в виде точек на график тяговой характеристики (рис. 5.2).

Затем по этим точкам проводятся осредненные кривые графических зависимостей $\delta = f(T)$, $V_T = f(T)$, $G_T = f(T)$, равно отстоящие от их экспериментальных значений (точек).

Полученные осредненные значения графических зависимостей $\delta = f(T)$, $V_T = f(T)$, $G_T = f(T)$ заносят в таблицу 5.3, в которую также вносят расчетные значения для зависимостей $V_\partial = f(T)$ (ф-ла 5.6), $N_T = f(T)$ (ф-ла 5.8) и $g_e = f(T)$ (ф-ла 5.10).

Таблица 5.3

Средние значения показателей тяговой характеристики

T ,кН	0	10	20					
V_T , м/с								
V_∂ , м/с								0
G_T ,кг/ч								
δ ,%	0							100
N_T ,кВт	0							0
g_e , г/кВт ч								

По данным таблицы 5.3 достраивают тяговую характеристику машины (рис. 5.2).

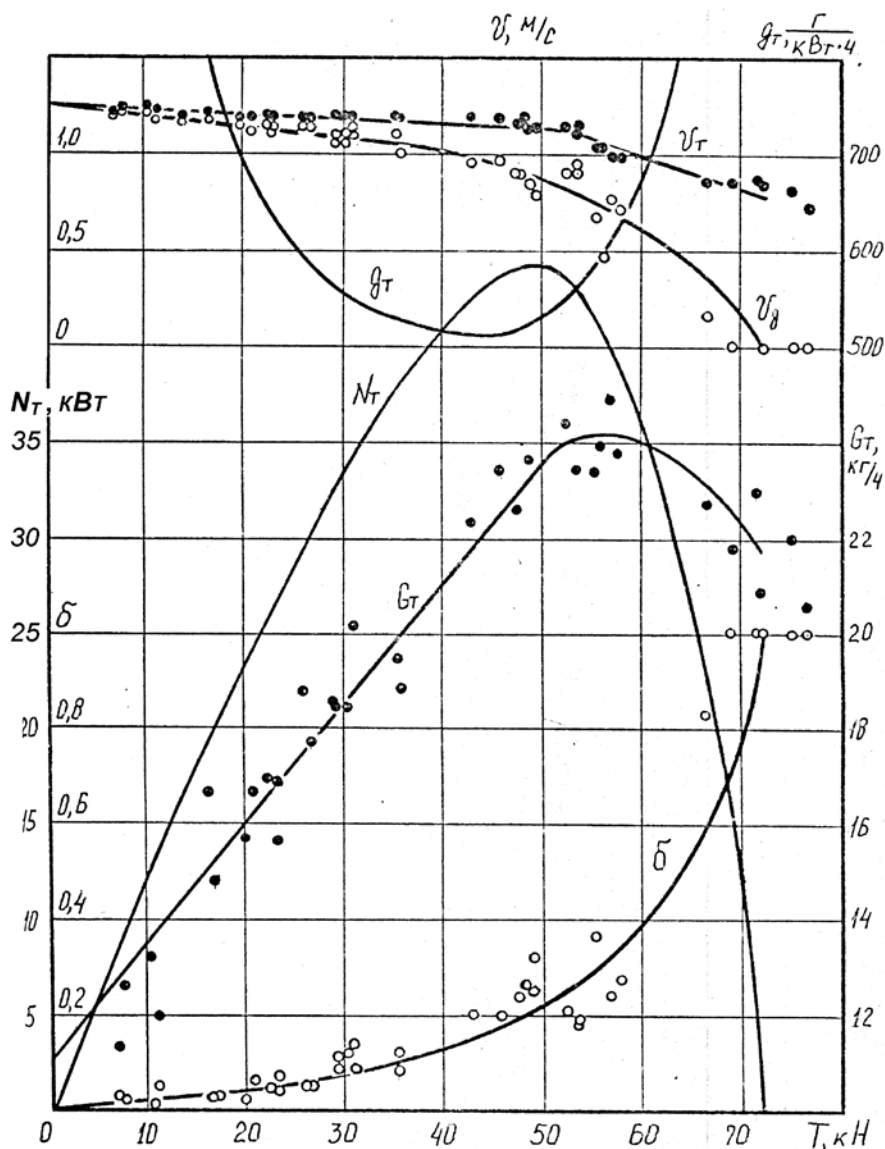


Рис. 5.2. Тяговая характеристика колесной ЗТМ

Контрольные вопросы

1. Что можно оценить с помощью тяговой характеристики?
2. Что представляет собой тяговая характеристика?
3. Перечислите требования к испытательной площадке для определения тяговой характеристики.
4. Какие работы проводят до проведения испытаний?
5. Требования к движению машины при испытаниях?
6. Какие параметры машины фиксируются при испытаниях?
7. Как определяется теоретическая скорость движения автогрейдера?
8. Как определяется действительная скорость движения автогрейдера?
9. Как определяется коэффициент буксования колесного движителя?
10. Как определяется тяговая мощность на рабочем органе машины?
11. Как определяются часовой и удельный расходы топлива?
12. Порядок действий при построении тяговой характеристики?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.437–81. ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М. Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.
2. Парахуда Р.Н. Информационно-измерительные системы: Письменные лекции/ Р.Н. Парахуда, Б.Я. Литвинов. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 74 с.
3. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. пособие для вузов/ Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров; Под общ. ред. Н.Н. Евтихьева. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
4. Литвак В.И. Тензореле. Расчет, конструирование, применение. – М.: машиностроение, 1989. – 160 с.
5. Березин И.Я. Экспериментальные методы исследований: Учебное пособие к лабораторным работам по разделу "Электромеханические измерения"/ И.Я. Березин, Рихтер Е.Е.; под ред. И.Я.Березина. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005г. – 83 с.
6. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок: учебное пособие / О.И. Поливаев, О.М. Костиков; под общ. ред. О.И. Поливаева. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 291 с.
7. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
8. ГОСТ 11030-93. Автогрейдеры. Общие технические условия. – М. Изд-во стандартов, 1995. – 25 с.
9. ГОСТ 27247-87. Машины землеройные. Метод определения тяговой характеристики. – М. Изд-во стандартов, 1987. – 15 с.

Составитель Жулай Владимир Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

Подп. в печать 12.01.2017. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 2,7.
Усл.-печ. л. 2,8. Бумага писчая. Тираж 60 экз. Заказ № _____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы
и учебно-методических пособий ВГТУ
394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84