

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Иркутский государственный аграрный университет  
им. А.А. Ежевского**

**Кафедра «Эксплуатация машинно - тракторного парка,  
безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение»**

## **ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Учебное пособие  
для студентов инженерного факультета  
направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация  
транспортно - технологических машин и комплексов,  
35.03.06 Агроинженерия**

**Молодёжный, 2020**

УДК УДК 681.3.025.06

Рекомендовано к изданию учебно - методической комиссией инженерного факультета Иркутского ГАУ (протокол № 9 от «21» мая 2020 г.).

Рецензент:

Бураев М.К. – заведующий кафедрой «Технический сервис и общеинженерные дисциплины», д.т.н., профессор.

Основы научных исследований : Учебное пособие для студентов инженерного факультета направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно - технологических машин и комплексов, 35.03.06 Агроинженерия / Составитель: Н.В. Степанов. – Молодёжный : Изд - во Иркутского ГАУ, 2020. - 88 с. – Текст : электронный.

Пособие к лекциям и практическим работам содержит систематизированное изложение по основам научных исследований. В пособии даётся понятия о науке и методологии научных исследованиях, представлена информация по планированию и обработке результатов экспериментов. Кроме этого, в пособии приводятся данные о методике и технике измерений, общая характеристика измерительной аппаратуры, указывается точность измерений.

© Н.В. Степанов, 2020

© Иркутский ГАУ им. А.А. Ежовского, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Современная научно - техническая политика.....	4
2 Основы научного исследования.....	5
2.1 Понятие о науке.....	5
2.2 Определение и классификация научных исследований.....	6
2.3 Структура научного исследования.....	8
2.4 Постановка проблемы.....	11
2.5 Изучение материалов.....	13
2.6 Рабочая гипотеза.....	17
2.7 Основные методы теоретического исследования.....	18
2.8 Статистический подход.....	20
2.9 Понятие о выборочном методе.....	21
3 Понятие о корреляционном анализе.....	25
4 Понятие о статистической проверке гипотез.....	26
5 Методика и техника измерений.....	28
5.1 Основные измеряемые величины.....	29
5.2 Общая характеристика измерительной аппаратуры.....	32
5.3 Точность измерений.....	33
5.4 Методы измерения физических величин.....	37
6 Планирование и анализ результатов эксперимента.....	67
6.1 Определение и этапы эксперимента.....	67
6.2 Постановка задачи эксперимента.....	69
7.Типы планов эксперимента.....	74
8 Анализ результатов эксперимента.....	76
8.1 Обработка эксперимента по рандомизированному плану.....	79
8.2 Элементы дисперсионного анализа.....	80
9 Оформление результатов научно-исследовательской работы.....	81
9.1 Виды информации о результатах научного исследования.....	81
9.2 Структура и содержание реферата и отчета.....	82
9.3 Научный язык.....	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	86

## **1 СОВРЕМЕННАЯ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА**

Основные направления современной научно - технической политики:

Опережающее развитие фундаментальных исследований. Укрепление опытно - экспериментальной базы науки. Концентрация ресурсов на приоритетных направлениях НТП. Ускорение внедрения научно - технических достижений и прогрессивных технологий. Форсированный рост машиностроения и коренная техническая реконструкция всех отраслей народного хозяйства. Развитие новых форм интеграции науки с производством. Программно-целевые методы планирования НТП. Создание единой системы непрерывного образования и улучшения подготовки научно - технических кадров. Активизация научно - технического творчества масс. Дальнейшее развитие международной научно - технической интеграции.

Важнейшим компонентом научного потенциала любой страны являются научные кадры. К числу научных работников в России относятся лица, имеющие ученую степень или ученое звание, не зависимо от места и характера их работы. Наибольшую долю составляют специалисты, ведущие научно - исследовательскую работу в научных учреждениях и научно - педагогическую работу в высших учебных заведениях, с наличием или отсутствием у них ученой степени или ученого звания, специалисты с высшим образованием промышленных предприятий, проектных, проектно - конструкторских и проектно - технологических организаций, не имеющие ученой степени и ученого звания, но систематически занимающиеся научной работой по утвержденному вышестоящей организацией плану работ.

Система высшего и среднего образования служит базой для постоянного пополнения кадров науки. С ростом объема научных исследований расширяется подготовка научных кадров через аспирантуру.

## 2 ОСНОВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Понятие о науке

Наука – сложное общественное, социальное явление, особая сфера приложения целенаправленной человеческой деятельности, основной задачей которой является получение, освоение новых знаний и создание новых методов и средств для решения этой задачи. Наука сложна и многогранна, и дать ей однозначное определение невозможно.

Наука – это целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающую систему научных знаний об объективных законах природы, общества и человеческого сознания, научную деятельность людей, направленную на создание и развитие этой системы, и учреждения, обеспечивающие научную деятельность.

Система научных знаний классифицируется:

- 1) по отраслям знаний: естественные науки (о природе), технические науки, общественные науки;
- 2) по научным дисциплинам: математика, физика, химия, сопротивление материалов, теория автомобиля и т. д.;
- 3) по результатам научной деятельности: публикации (книги, статьи), патенты, конструкторские разработки и т. д.

Научная деятельность, научная работа или научный труд – это творческая деятельность, направленная на получение, освоение, переработку и систематизацию новых научных знаний, результаты которые характеризуются следующими основными признаками:

- новизной и оригинальностью. Если результатом деятельности исследователя будет нечто уже объективно известное, то такая деятельность не является научной;
- уникальностью и неповторимостью. Результаты научной деятельности, ни при каких условиях не могут быть серийными и тем более массовыми.

ми. Каждый результат научного труда уникален, т. е. он единственный в своем роде. И если он удачен, то в повторении не нуждается, кроме случая проверки своей правильности;

- вероятностным характером и риском, который неизбежен во всякой настоящей научной работе. Всегда трудно предугадать, успешно ли закончится задуманное исследование и будет ли получен предполагаемый результат. Поэтому в научной работе всегда имеется риск получения отрицательного результата. Творчество – это всегда поиск;

- доказательностью, т. е. убедительностью, результатов научной работы и их воспроизводимостью (под последней понимается возможность повторения научной работы с получением тех же результатов, что и в первоначальной работе; если повторить результаты какого-либо исследования, особенно в прикладных науках, невозможно, эти результаты теряют всякую ценность).

Научная деятельность классифицируется:

1) по целевому назначению: развитие теории, разработка новой техники, совершенствование технологии и т. д.;

2) по видам научных работ: фундаментальные и прикладные исследования, разработки;

3) по диапазону исследовательских работ: направления в науке, научная проблема, научная тема и подтема, научный вопрос;

4) по методу исследования: теоретическое, экспериментальное, смешанное.

## **2.2 Определение и классификация научных исследований**

Научное исследование, или научно - исследовательская работа (труд), как процесс любого труда включает в себя три основных компонента составляющих): целесообразную деятельность человека, т. е. собственно научный труд, предмет научного труда и средства научного труда.

Научные исследования в зависимости от своего целевого назначения, степени связи с природой или промышленным производством, характера научной работы подразделяются на несколько основных типов: фундаментальные, прикладные и разработки.

Фундаментальные исследования – получение принципиально новых знаний и дальнейшее развитие системы уже накопленных знаний. Цель фундаментальных исследований - открытие новых законов природы, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий. Фундаментальные исследования связаны со значительным риском и неопределенностью с точки зрения получения конкретного положительного результата, вероятность которого не превышает 10 %. Несмотря на это именно фундаментальные исследования составляют основу развития как самой науки, так и общественного производства.

Прикладные исследования – создание новых либо совершенствование существующих средств производства, предметов потребления и т. п. Прикладные исследования, в частности исследования в области технических наук, направлены на «овеществление» научных знаний, добытых в фундаментальных исследованиях. Прикладные исследования в области техники не имеют, как правило, непосредственного дела с природой; объектом исследования в них обычно являются машины, технология или организационная структура, т. е. «искусственная» природа. Практическая ориентация (направленность) и отчетливое целевое назначение прикладных исследований делают вероятность получения ожидаемых от них результатов весьма значительной, не менее 80 - 90 %.

Разработки – использование результатов прикладных исследований для создания и отработки опытных моделей техники (машин, устройств, материалов, продуктов), технологии производства, а также усовершенствование существующей техники. На этапе разработки результаты, продукты научных исследований принимают такую форму, которая позволяет использовать их в других отраслях общественного производства.

## 2.3 Структура научного исследования

Научное исследование есть процесс познания объективной действительности, закономерностей и связей между явлениями реального мира.

Познание – это сложный процесс движения человеческого сознания, человеческой мысли от незнания к знанию, от неполных или неточных знаний к более полным и точным знаниям, который осуществляется с помощью научных исследований.

Научное исследование, проводимое в области прикладных наук и особенно техники, проходит ряд этапов, которые и составляют структуру научного исследования.

Структуру научного исследования можно представить в виде схемы (рисунок 1), включающей семь основных этапов.

1. Постановка проблемы. Этот этап состоит не только в поиске проблемы, которую необходимо исследовать, но и в точной, четкой формулировке задачи научного исследования. Чрезвычайно важно правильно сформулировать задачу исследования, так как от этого в значительной мере зависит его успешный исход.

В постановке проблемы включается весьма важная работа по сбору и обработке исходной информации – данных о технических теоретических методах и средствах решения аналогичных задач (если такие имеются), о результатах других исследований в смежных областях.

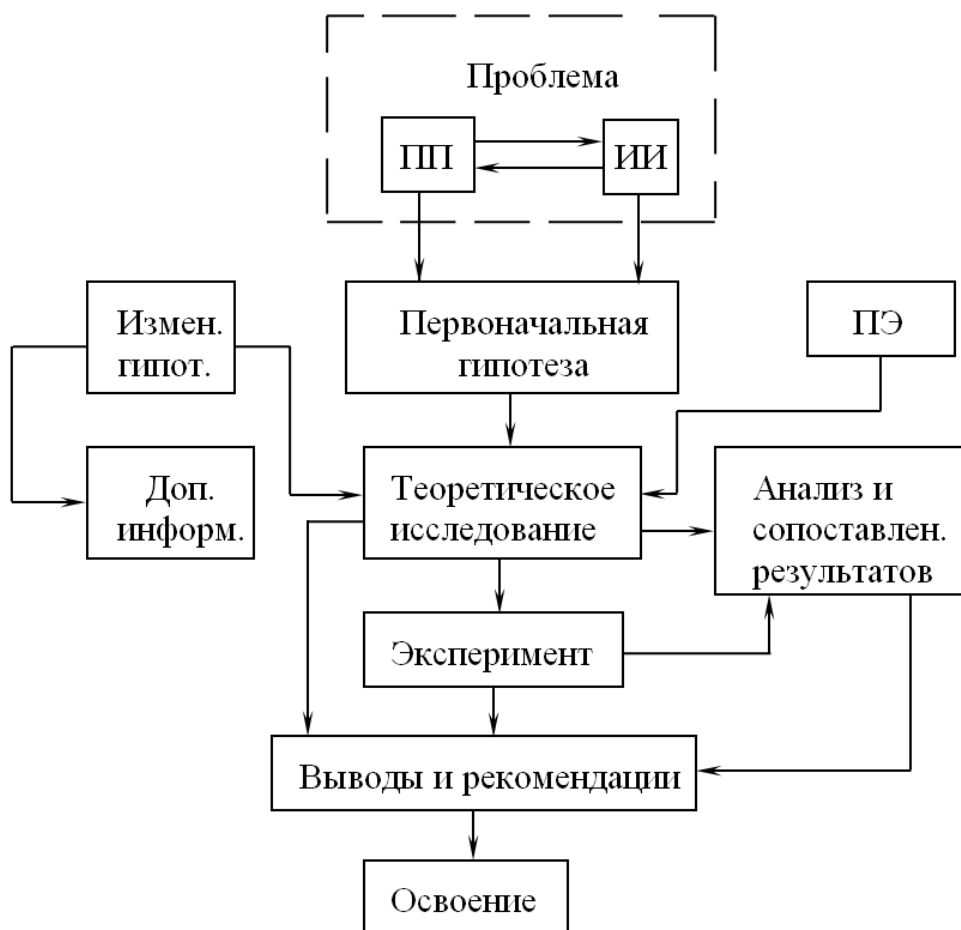
Сбор информации производится не только в начале, но и в процессе всего исследования.

2. Выдвижение и обоснование первоначальной гипотезы.

В подавляющем большинстве случаев выработка рабочей гипотезы осуществляется на основе четко сформулированной задачи исследования и критического анализа собранной исходной информации. При этом рабочая гипотеза может иметь несколько вариантов, из которых следует выбрать наиболее целесообразный, не оставляя в то же время без внимания остальные



варианты. Для уточнения рабочей гипотезы иногда приходится проводить предварительные эксперименты, которые позволили бы более глубоко изучить исследуемый объект.



**ПП – постановка проблемы, ИИ – исходная информация, ПЭ – предварительные эксперименты.**

Рисунок 1 – Структура научного исследования

3. Теоретическое исследование. В прикладных технических исследованиях, теоретическое исследование заключается в анализе и синтезе закономерностей (полученных в фундаментальных науках) и их применение к исследуемому объекту, а также в добывании с помощью аппарата математики, теоретической механики и других дисциплин новых, неизвестных еще закономерностей.

Цель теоретического исследования – как можно полнее обобщить наблюдаемые явления, связи между ними, получить, возможно, больше следствий из принятой рабочей гипотезы. Иными словами, теоретическое исследование аналитически развивает принятую гипотезу и должно привести к

разработке теории исследуемой проблемы, т. е. к научно обобщенной системе знаний в пределах данной проблемы. Эта теория должна объяснять и предсказывать факты и явления, относящиеся к исследуемой проблеме. И здесь решающим фактором выступает критерий практики.

4. Экспериментальное исследование. Эксперимент, или научно поставленный опыт, технически наиболее сложный и трудоемкий этап научного исследования. Цель эксперимента различна. Она зависит от характера научного исследования и последовательности его проведения. При «нормальном» развитии исследования эксперимент проводится после теоретического исследования. В этом случае эксперимент подтверждает, а иногда и опровергает результаты теоретических исследований. Однако часто порядок исследования бывает иным: эксперимент предшествует теоретическому исследованию. Это характерно для поисковых экспериментов, для случаев, не таких уж редких, отсутствия недостаточной теоретической базы исследования. При таком порядке проведения исследования теория объясняет и обобщает результаты эксперимента.

5. Анализ и сопоставление результатов. Следствием сопоставления результатов экспериментального и теоретического исследования является окончательное подтверждение выдвинутой гипотезы и формулирование следствий, вытекающих из нее, или необходимость видоизменения гипотезы. В редких случаях возможен и отрицательный результат, когда гипотезу следует отвергнуть.

6. Заключительные выводы. На этом этапе подводятся итоги исследования, т. е. формулируются полученные результаты и их соответствие поставленной задаче. Для чисто теоретических исследований этот этап является заключительным. Для большинства работ в области техники возникает еще один этап.

7. Освоение результатов – это этап подготовки к промышленной реализации полученных результатов, разработка технологических или конструкторских принципов реализации, которая зачастую не укладывается в рамки

чисто инженерной «доводки» и требует неперенного участия авторов исследования.

Рассмотренная структура научного исследования является схематичной, и в серьезных, крупных исследованиях отдельные этапы могут повторяться, последовательность этапов, представленная на рисунке 1, может меняться, но перечисленные этапы остаются в любом виде исследования.

Ниже рассмотрим подробнее первые три этапа: постановку проблемы, включая и сбор исходной информации, выдвижение гипотезы и основные методы теоретического исследования.

## **2.4 Постановка проблемы**

Любое научное исследование невозможно без постановки научной проблемы. Проблема – это сложный теоретический или практический вопрос, требующий изучения, разрешения; это задача, подлежащая исследованию. Следовательно, проблема – это то, чего мы еще не знаем, что возникло в ходе развития науки, потребности общества – это, образно говоря, наше знание о том, что чего - то не знаем.

Проблемы не рождаются на пустом месте, они всегда вырастают из результатов, полученных ранее. Нелегко правильно поставить проблему, определить цель исследования, вывести проблему из предшествующего знания. Вместе с тем, как правило, существующего знания достаточно, чтобы поставить проблему, но не достаточно, чтобы решать ее до конца. Для разрешения проблемы необходимы новые знания, которые и дает научное исследование.

Таким образом, любая проблема содержит два неразрывно связанных элемента:

- а) объективное знание о том, что мы чего - то не знаем;
- б) предположение о возможности получения новых закономерностей либо принципиально нового способа практического применения ранее полу-

ченного знания. При этом предполагается, что это новое знание практически необходимо обществу.

Следует различать три этапа в постановке проблемы: поиск, собственно постановку и развертывание проблемы.

1. Поиск проблемы. Многие научные и технические проблемы лежат, как говорят на поверхности, их не надо искать. На них поступает социальный заказ, когда надо определить пути и найти новые средства для разрешения возникшего противоречия. Такой проблемой является, например, создание «чистого» двигателя, не загрязняющего воздушную среду. Но есть проблемы далеко не такие отчетливые и очевидные. Такова, в частности, проблема создания транспортного средства на воздушной подушке. Она возникла в связи с необходимостью повысить проходимость автомобиля и отойти от ограниченных возможностей такого древнего движителя, как колесо. Это пример крупных научно - технических проблем; они имеют в своем составе множество более мелких проблем, которые, в свою очередь, могут стать темой научного исследования.

2. Постановка проблемы. Как отмечалось выше, правильно поставить проблему, т. е. четко сформулировать цель, определить границы исследования и в соответствии с этим установить объекты исследования – дело далеко не простое и, главное, весьма индивидуальное для каждого конкретного случая.

Однако можно указать на четыре основных «правила» постановки проблемы, обладающие определенной общностью:

- строгое разграничение известного от неизвестного. Чтобы поставить проблему, необходимо хорошо знать новейшие достижения науки и техники в данной области, чтобы не ошибиться в оценке новизны обнаруженного противоречия и не поставить проблему, которая уже ранее была решена;

- локализация (ограничение) неизвестного. Следует четко ограничить область неизвестного реально возможными пределами, выделить предмет

конкретного исследования, так как область неизвестного бесконечна, и невозможно охватить ее одним или серией исследований;

- определение возможных условий для решения. Следует уточнить тип проблемы: научно - теоретический или практический, специальный или комплексный, универсальный или частный, определить общую методику исследования, что в значительной мере зависит от типа проблемы, задать масштабы точности измерений и оценок;

- наличие неопределенности или вариантности. Это «правило» предусматривает возможность замены в ходе развертывания и решения выбранных методов, способов, приемов новыми, более совершенными или более подходящими для решения данной проблемы, или неудовлетворительных формулировок новым, а также замены ранее выбранных частных отношений определенных как необходимые для исследования, новыми, более отвечающими задачам исследования.

Насколько строго должна ограничиваться и локализоваться область неизвестного при постановке проблемы (первые два «правила»), настолько же строго должно выполняться третье «правило», требующее, чтобы в проблеме было заложено как можно больше неопределенности, потому что разрешение любой проблемы есть вторжение в область, полную неожиданностей, для которых может не оказаться известных уже способов исследования и оценок.

3. Развертывание проблемы. Решение научной или научно - технической проблемы нельзя рассматривать как однократный акт. Решение проблемы зачастую совпадает с ее развертыванием, т. е. с возникновением и формулированием дополнительных вопросов, которые группируются вокруг центрального вопроса, являющегося узловым пунктом любой проблемы.

## **2.5 Изучение материалов**

Проведение любого научного исследования начинается с изучения и анализа опыта предшественников и материалов исследователей в смежных

областях наук. Зачастую из - за плохой осведомленности исследователь ломится, как говорят, в открытую дверь, делает поспешные, мало обоснованные выводы, неправильные заключения, повторяет в своей работе уже давно сделанное.

В изучении материалов можно выделить два этапа.

Первый этап – поиск источника информации. Изучение необходимо начинать с монографий, посвященных тому направлению, в котором предполагается проводить исследования. Этим достигается две цели: во - первых, ознакомление с современной точкой зрения на исследуемую проблему, подход к ней и методикой исследований и, во - вторых, знакомство с основной литературой, так как монографии, как правило, имеют достаточно полный библиографический указатель.

Дальнейшая последовательность подбора литературных источников должна быть примерно следующей:

- ознакомление с литературой, указанной в библиографии; это могут быть книги, брошюры, статьи в журналах, диссертации и пр.;

- просмотр реферативных журналов по соответствующему разделу науки и техники и информационных изданий (экспресс - информация, информлистки, сборники НИИ информации автомобильной промышленности и других отраслей техники);

- изучение специализированных журналов «Автомобильная промышленность», «Автомобильный транспорт», «Вестник машиностроения», «Тракторы и сельхозмашины», «Автоматика и телемеханика», и др.;

- изучение трудов институтов, тезисов докладов конференций, авторефератов диссертаций.

Источники информации следует искать повсюду: в библиотеках, республиканских и зональных информационных центрах, НИИ, вузах, интернете помня о том, что научная деятельность – это не менее чем на 30 - 35 % информационный поиск, не прекращающийся ни на один день.

Вся найденная информация должна быть занесена на карточки и скопирована в картотеку. Такая картотека облегчит поиск нужного материала и позволит быстро составить алфавитный перечень использованных литературных источников в будущем отчете о проведенных исследованиях.

Второй этап – ознакомление с источниками информации. Бытуют две крайности: либо смотрят оглавление книги, журнала и, если не находят там ничего близкого к интересующему исследователя вопросу, книгу откладывают, теряя при этом иногда очень ценную информацию по смежному вопросу, либо читают все и, что еще хуже, конспектируют материал подряд, придерживаясь варварски расточительного принципа: потом разберусь, что мне нужно, а что лишнее.

Этап изучения информации состоит из двух подэтапов: ознакомления и чтения.

Ознакомление ведется по следующей схеме:

Объект внимания	Получаемая информация
Переплет	Заглавие книги и фамилия автора
Титульный лист	Подзаголовок
	Год издания; издание (1 - е , 2 - е и т. д., исправленное, дополненное)
	Допущен (рекомендован, утвержден) в качестве учебника или учебного пособия
Оригинальная книга или перевод	
Выходные данные	Дата сдачи в набор
Аннотация	Основное содержание
	Категория читателя
Оглавление	Содержание глав и параграфов
	Объем отдельных подразделов

Если в результате беглого ознакомления с книгой или другим информационным материалом окажется необходимым более детальное знакомство с ним, то и тогда не рекомендуется читать все подряд. Установлено, что

научно - технический текст имеет не менее 70 % избыточности. Следует читать текст книги или статьи так, чтобы мысль концентрировалась только на содержательной части текста, «схватывала» и критически анализировала его по следующей схеме:

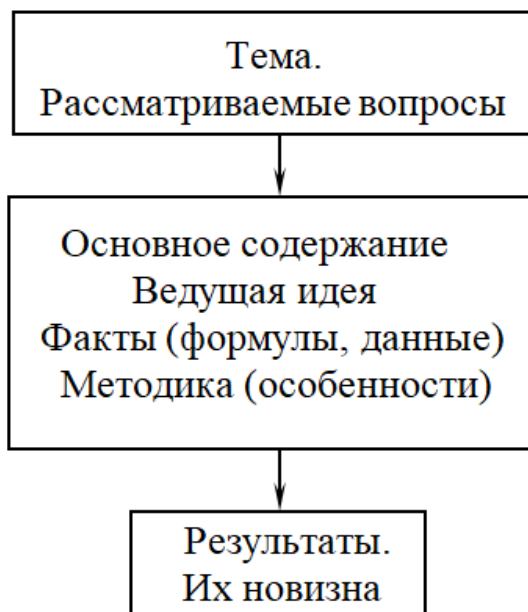


Рисунок 2 – Схема анализа материала

По такой же схеме следует конспектировать необходимый материал исследований, который затем критически анализируется примерно в таком плане:

- фиксируется достигнутый уровень знаний в исследуемом направлении;
- выясняются оригинальные идеи, интересные методы в этой области;
- выявляются недостатки предыдущих исследований;
- намечаются возможные пути дальнейших исследований.

Критический анализ выполненных исследований должен быть обоснованным и доказательным, особенно по замеченным недостаткам (не полноте исследования, устарелости методики и др.). Критика должна быть непредвзятой: с одной стороны, нельзя считать, что все, сделанное ранее – плохо; с другой – нельзя безоговорочно принимать все, что предложено авторитетным предшественником. Но всегда надо помнить старую мудрость, утверждаю-



щую, что нет настолько плохой книги, из которой нельзя было бы извлечь что - нибудь полезное для ее читателя.

В тех случаях, когда мнения и выводы авторов изученной литературы по оценке важности, весомости отдельных факторов расходятся, рекомендуется прибегать к математическому анализу степени согласованности этих мнений методом ранговой корреляции.

## **2.6 Рабочая гипотеза**

Анализ исходной информации позволяет выдвинуть рабочую гипотезу. Дело в том, что существующего в науке и технике знания в избранном направлении, как правило, вполне достаточно, чтобы поставить новую проблему или указать на нерешенный вопрос, но недостаточно, чтобы их решить. Для разрешения новой научной проблемы необходимы новые научные знания, новые факты, т. е. объективные явления или процессы, которые совершаются в действительности и обладают достоверностью.

Собирание фактов – одна из важнейших составных частей научного исследования. Факты собираются в соответствии с выдвинутой научной проблемой, но сами по себе они не составляют научного исследования. На первых этапах исследования факты нужны для выдвижения определенного предположения, т. е. рабочей гипотезы.

Рабочая гипотеза – это высказанное исследователем обоснованное предположение о вероятной причине возникновения наблюдаемых фактов либо о вероятном, предположительном развитии процесса или явления.

Для гипотезы характерно то, что в ней формулируются положения с новым содержанием, выходящим за пределы имеющего знания, выдвигаются новые идеи, носящие вероятный характер, на основе которых происходит поиск новых научных результатов. Именно в этом суть и ценность гипотезы как формы развития науки.

Первоначально новая мысль появляется в форме догадки, выдвигаемой в значительной мере интуитивно. Большое значение в этом вопросе имеет научная фантазия, без которой в науке не выскажешь ни одной новой идеи. Чтобы сделать догадку достоянием науки, необходимо превратить ее в научную гипотезу, а фантазия заключается в строгие рамки, установленные наукой. Следовательно, не всякое произвольное предположение о причине определенного явления есть гипотеза. Гипотезой является лишь такое предположение, которое, во - первых, не противоречит всем научно установленным предположениям и законам в данной области науки, например в механике, и, во - вторых, вероятность истинности высказанного предположения может и должна быть обоснована. Если высказанное предположение находится в противоречии с твердо установленными научными положениями, то его нельзя считать научной гипотезой. Примером может служить гипотеза о возможности создания вечного двигателя, противоречащая закону сохранения энергии.

## **2.7 Основные методы теоретического исследования**

Научное исследование не может осуществляться беспорядочно; оно должно иметь определенную систему и подчиняться заранее разработанному плану. Если исследователь будет действовать наугад, то вряд ли он сможет добиться ценных результатов.

Метод исследования – это прием или совокупность приемов, используемых для достижения цели, т. е. получения новых знаний или углубления уже имеющихся. Рассмотрим кратко основные методы, обладающие наибольшей степенью универсальности и применяемые при научном исследовании в технических науках.

*Анализ* – метод научного познания, заключающийся в том, что объект исследования мысленно расчленяется на составные части или выделяются присущие ему признаки и свойства для изучения их в отдельности.

**Синтез** – метод научного исследования объекта или группы объектов как единое целое во взаимосвязи всех его основных частей или присущих ему признаков. Метод синтеза характерен для исследования сложных систем после анализа всех его составных частей. Таким образом, анализ и синтез взаимосвязаны и дополняют друг друга.

**Индуктивный метод** исследования заключается в том, что от наблюдения частных, единичных случаев переходят к общим выводам, от отдельных фактов – к обобщению. Индуктивный метод самый распространенный в естественных и прикладных науках, и суть его состоит в переносе свойств и причинных связей с известных фактов и объектов на неизвестные, еще не исследованные.

**Дедуктивный метод** в противоположность индуктивному, основан на выводе частных положений из общих оснований (общих правил, законов, суждений).

**Абстрагирование научное.** Метод абстракции применяется в научном исследовании, когда необходимо отвлечься от частных, иногда несущественных сторон рассматриваемого явления, для того чтобы сосредоточить внимание на общих, существенных его сторонах, свойствах.

**Формализация** как метод научного исследования заключается в том, что исследуемое явление, объект (его свойства, признаки), процесс выражаются (описываются) математическими терминами и формулами, с которыми затем выполняют действия по определенным правилам. Формализация составляет сущность математического абстрагирования. Она позволяет использовать математический аппарат в отдельных от математики науках.

**Аналогия, или подобие** – это сходство по какому-то признаку в целом различных объектов. Метод аналогий заключается в том, что из сходства некоторых признаков или свойств изучаемых объектов делается вывод о сходстве и других признаков или свойств, до того не изученных.

**Моделирование** – это процесс научного исследования некоторых свойств и признаков объекта не непосредственно на нем самом, а на других, более доступных изучению объектах (моделях), аналогичных данному.

#### Понятие о моделировании

Метод моделирования – один из эффективных методов научного исследования, который в последние годы получил широкое распространение и может с успехом применяться в исследованиях машиностроительной техники.

Модель в переводе с французского языка означает образец. В научном исследовании под моделью понимается некоторая искусственно созданная исследователем система, которая в определенном отношении сходна с исследуемым объектом, т. е. воспроизводит его характерные черты и явления, происходящие в натуральных условиях. Метод моделирования – это исследование объекта или явления не в натуральных условиях, а на модели этого объекта или явления. Моделирование применяется обычно в тех случаях, когда исследование непосредственно на объекте почему-либо затруднительно, неудобно или опасно.

Моделирование бывает двух видов: вещественное (физическое или механическое) и воображаемое (логическое и идеальное).

Математическое моделирование (логическое или идеальное) осуществляется на вычислительных машинах и позволяет получить результаты решения систем дифференциальных уравнений, в форме так называемых табулярограмм или в форме графиков. При этом следует иметь в виду, что любое аналитическое выражение описывает процесс или явление с более или менее грубыми допущениями.

## 2.8 Статистический подход

Любое научное исследование в области прикладных технических наук связано с проведением пассивных или активных экспериментальных наблю-

дений и установлением научных фактов. На их основе строится все здание науки. При этом чтобы накопить достаточное количество фактов, необходимо проводить исследования неоднократно.

Организация наблюдений и экспериментов должна отвечать определенным требованиям, правилам, а полученные результаты соответствующим образом обработаны. Все эти правила, расчетные формулы и специальные методы, основывающиеся на теории вероятности, рассматриваются в специальном разделе - математической статистике.

**Математическая статистика** – наука, которая исследует методы получения необходимой информации путем специальной математической обработки данных массовых явлений или событий, носящих вероятностный характер, с целью их анализа и получения обобщенных характеристик.

## 2.9 Понятие о выборочном методе

Во многих научных исследованиях, особенно в области исследования надежности автомобилей, их агрегатов и деталей в условиях эксплуатации, а также при статистическом контроле качества выпускаемой продукции используется выборочный метод.

**Выборочный метод** состоит в том, что вместо общей, или генеральной совокупности, т. е. значительной массы некоторых единиц, обладающих определенными общими свойствами, существенными для их характеристики, изучается только часть этих единиц. Иными словами, производится выборка из генеральной совокупности.

Основной признак выборочного метода – случайный отбор единиц из генеральной совокупности. Иначе говоря, любая из единиц генеральной совокупности имеет равную возможность с остальными единицами попасть в выборку. Полученная, в результате такого отбора выборка является представительной (репрезентативна, правильно отражает все характерные особенности генеральной совокупности), и называется случайной выборкой.

Закон распределения генеральной совокупности, как правило, не известен. По вариационному ряду выборки рассчитывается эмпирическое распределение и числовые характеристики – среднее арифметическое, дисперсия и т. д.

Существует два типа оценок: точечная и доверительная (интервальная).

Точечная оценка статистической характеристики дается одним значением, единственным числом.

В качестве точечных оценок для математического ожидания и дисперсии генеральной совокупности применяют:

- среднюю арифметическую выборки  $\bar{x}$  и
- выборочную (исправленную) дисперсию  $\sigma^2$ , которую рассчитывают по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 . \quad (1)$$

Точечным оценкам предъявляют три требования: состоятельность, несмещенность и эффективность.

Состоятельность оценки заключается в том, что при увеличении объема выборки  $n$  оценка стремится к своему математическому ожиданию.

Несмещенность – отсутствие систематической ошибки в сторону завышения или занижения, для чего необходимо, чтобы и при небольшом  $n$  среднее значение выборочных оценок совпадало с параметрами генеральной совокупности.

Эффективность оценки – наименьшая ее дисперсия, т. е. рассеивание вокруг несмещенной оценки.

Доверительная оценка статистической характеристики по данным выборки позволяет указать тот интервал (доверительный интервал) значений, в котором с заранее заданной вероятностью (доверительной вероятностью) лежит истинное, но неизвестное значение параметра распределения генеральной совокупности.

Доверительные границы для среднего, т. е. границы доверительного интервала, при неизвестных среднем значении и дисперсии генеральной совокупности определяются по формулам.

При этом формула доверительного интервала записывается так:

$$I_{\beta} = \left[ (\bar{x} - \varepsilon_{\beta}), (\bar{x} + \varepsilon_{\beta}) \right]. \quad (2)$$

Здесь величина  $\varepsilon_{\beta}$  – ошибка, возникающая при замене математического ожидания генеральной совокупности средней выборки при заданном уровне доверительной вероятности  $\beta$ . Последняя означает вероятность того, что доверительный интервал «накроет» значение математического ожидания генеральной совокупности. Величина  $\varepsilon_{\beta}$  равна

$$\varepsilon_{\beta} = \pm t_{\beta} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

где  $t_{\beta}$  – величина, определяемая для данных  $\beta$  и  $n$ ;

$\sigma$  – выборочное среднеквадратическое отклонение;

$n$  – объем выборки.

Доверительная вероятность в практике расчетов обычно принимается равной 95 %. Величина зависит от объема выборки  $n$ .

Для того чтобы выборка, по которой определяются характеристики генеральной совокупности, была репрезентативной, необходимо, чтобы ее объем, т. е. число измерений, удовлетворял формуле (3).

Преобразуем эту формулу таким образом, чтобы представить ошибку в долях среднего квадратического отклонения, тогда

$$n = \frac{t_{\beta}^2}{\Delta^2} \quad (4)$$

где  $t_{\beta}$  – принимается по таблице 1 в зависимости от заданной вероятности (или надежности). Так как обычно принимают  $\beta = 95 \%$ , то  $t_{\beta} = 1,96$ . Более точно объем необходимой выборки можно определить по таблице 2, составленной по формуле (4) и с учетом данных таблицы 1, составленной по формуле (4) и с учетом данных таблицы 1;

$\Delta = \frac{\varepsilon_{\delta}}{\sigma}$  – относительная ошибка, или точность, которая задается для данных исследования. Рекомендуется задавать  $\Delta \leq 0,5$ .

Таблица 1 – **Необходимое количество опытов**

Заданная надежность или вероятность $\beta$	Относительная ошибка					
	1,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,80	3	7	11	19	42	182
0,90	4	11	18	31	71	282
0,95	6	16	26	45	102	408
0,99	10	29	46	81	173	729



### 3 ПОНЯТИЕ О КОРРЕЛЯЦИОННОМ АНАЛИЗЕ

В окружающем нас мире все явления в природе и технике взаимосвязаны и взаимообусловлены, и нет явлений, происходящих изолированно. Одна из основных задач науки в целом и ее отдельных отраслей – выяснение взаимосвязи явлений.

Корреляция – буквально: соотношение или соответствие. В математической статистике понимается как связь.

Система случайных величин – это две или несколько случайных величин, которые в большей или меньшей мере связаны между собой или находятся в определенном взаимодействии.

Корреляционный анализ осуществляется для того, чтобы получить числовую количественную оценку степени взаимной связи между случайными величинами, составляющими систему.

Корреляция – это чисто математическое понятие, и факт обнаружения коррелированности случайных величин  $X$  и  $Y$  еще не свидетельствует об их причинном взаимодействии.

## 4 ПОНЯТИЕ О СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКЕ ГИПОТЕЗ

Под статистической гипотезой понимается определенное предположение о распределении или статистических характеристиках случайных величин. Проверяемую, или нулевую, гипотезу можно сформулировать.

Проверка гипотезы – правило, по которому гипотеза принимается или отвергается.

Проверка гипотез может сопровождаться ошибкой, так как принятие решения основывается на выборочных характеристиках. Вероятность ошибки, при которой отвергается верная в действительность гипотеза, обозначается  $\alpha$ . Это так называемый уровень значимости, который обычно принимается  $\alpha = 0,05$ . По величине уровня значимости определяется критическая область, ограниченная односторонним или двухсторонним критическим отклонением, при котором нулевая гипотеза отвергается. Величину определяют по таблице распределения Стьюдента (таблица 2).

Таблица 2 – Критическое отклонение  $Z_\alpha$  (из таблицы Стьюдента)

	Уровень значимости $\alpha$					
	при односторонней критической области					
	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001	0,0005
	при двухсторонней критической области					
	0,100	0,050	0,020	0,010	0,002	0,001
$z_{\alpha=}$	1,64	1,96	2,33	2,58	3,09	3,29

При проверке гипотезы о среднем значении при нормальном распределении обычно в качестве критерия принимают нормированное отклонение выборочной средней от математического ожидания генеральной совокупности, которое равно

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \cdot \sqrt{n}. \quad 5)$$

Статистический подход не обеспечивает абсолютно достоверных суждений или категорических решений, поскольку приходится иметь дело со случайными величинами и их распределениями, т. е. с понятием вероятности.

В то же время статистический подход в научном исследовании позволяет количественно исследовать массовые исследования и принимать целесообразные решения в условиях большой неопределенности.

В настоящее время статистическая обработка данных, умение пользоваться статистическими сведениями в практической работе необходимы каждому инженерно - техническому работнику, в том числе инженеру - транспортнику.

## 5 МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЯ

**Измерение** – это процесс сравнения путем специального физического эксперимента данной величины, подлежащей определению, с некоторым ее значением, принятым за единицу.

Если измеряемая величина  $A$ , а единица измерения  $a$ , то числовой результат измерения  $n$  будет равен

$$n = \frac{A}{a} .$$

Измеряемая величина, называется также переменной, может быть независимой, зависимой и внешней.

**Независимая переменная** – это физическая величина, которая изменяется при изменении независимых переменных (например, скорость движения автомобиля при изменении угла открытия дроссельной заслонки или при переключении передач в коробке передач).

**Внешняя переменная** – это физическая величина, оказывающая влияние на результаты эксперимента, но не контролируемая исследователем (например, скорость встречного ветра при определении скорости, при определении скорости движения автомобиля).

Приборы и измерительная аппаратура классифицируется по физической их основе:

- механические: пружинные динамометры, механические дисселерометры (измерители ускорений), штангенинструменты и др.;
- оптические: измерительные микроскопы, дымомеры, интерферометры, спектрометры и др.;
- пневматические: пневмомикрометры и др.;
- гидравлические: масляные мессдозы, манометрические трубки;
- акустические: шумомеры и звукоанализаторы;
- электрические: (практически большинство современных измерительных приборов);

- специальные, использующие некоторые физические эффекты при измерениях: радиоизотопные методы, методы лаков и пленок, фотоупругости и др.

Неэлектрические методы измерения (механические и др.) в настоящее время применяются главным образом для измерения в статике или при медленно изменяющихся процессах (например, температуры подкапотного пространства и др.). Измерение быстро протекающих процессов, вплоть до ударных, производится электрическими методами. С их помощью измеряются практически любые механические, тепловые, акустические и другие параметры автомобилей, их агрегатов и систем, а также технологическое оборудование на автотранспортных предприятиях и АРЗ.

## **5.1 Основные измеряемые величины**

Научные исследования, проводимые в технических науках, в частности, в области эксплуатации автомобильного транспорта, отличаются значительным разнообразием, поэтому и измеряемые величины весьма разнообразны. Так, при исследованиях надежности машин и автомобилей приходится измерять износы деталей, т. е. их линейные размеры и массу, при исследованиях по технической диагностике измерения могут относиться к кинематике движения отдельных узлов: перемещения, скорости и ускорения кинематических пар, а также к динамике: величины усилий в отдельных узлах, напряжения, давления и т. д. Исследования в области технического обслуживания машин и автомобилей чаще всего связаны с измерением времени (хронометраж), расхода эксплуатационных материалов (воды, топлива, смазки) и с рядом других измерений.

Основные физические величины, подлежащие измерению при проведении научных исследований в области техники, даны в таблице 3.

**Таблица 3 – Основные измеряемые величины  
при научных исследованиях**

<b>Измеряемые величины</b>	<b>Характерные примеры измерений</b>
<b>Геометрические</b>	
Линейные размеры	Размеры и деформация деталей автомобиля и технологического оборудования. Зазоры в клапанах, свечах и др.
Объемы	Объемы баков и цистерн, рабочих цилиндров; объемы жидкостей
Углы	Углы поворота колес, рулевых тяг; углы подъема; углы поворота автомобиля; углы между продольными осями дышла и прицепа
Перемещения: линейные угловые	Перемещение рычагов, штоков; пройденный автомобилем путь; тормозной путь; путь разгона; угловые перемещения колес, рычагов
Амплитуды колебаний (вибрации)	Амплитуды колебаний колес, рамы, подвесочных и неподвесочных масс автомобиля; амплитуды вибрации двигателя
Кинематические Скорость движения: линейные угловые	Скорость движения автомобиля, скорости перемещения (линейные и угловые) рычагов и тяг; угловые скорости поворота рулевого колеса, управляемых колес автомобиля
Ускорения: линейные угловые	Ускорение автомобиля при разгоне и замедлении при торможении; ускорения колебания колес, вибрации (линейные и угловые) подвесочных масс автомобиля; угловые ускорения валов
Частоты вращения	Частота вращения валов двигателя и трансмиссии автомобиля; частота вращения колес автомобиля; частоты вращения колес электродвигателей технологического оборудования
Частоты колебаний, вибраций <b>Динамические Массы</b>	Частоты колебаний и вибраций масс валов Взвешивание автомобилей, прицепов, агрегатов, деталей и др.
Расходы жидкостей, газов	Расходы топлива (объемные и мгновенные) расходы воздуха при испытании двигателя
Силы, усилия	Усилия в различных тягах, на крюке автомобиля; усилия в гидро- и пневмоподъемниках; реакции вертикальные и горизонтальные на колесах автомобилей при разных режимах движения
Напряжения	Напряжения в отдельных точках конструкции (в рамах, кузовах, на валах и т. д.)
Давления	Давление в системах пневмо- и гидроприводов тормозов, в гидроцилиндрах подъемников; разряжение во впускном трубопроводе
Моменты сил	Моменты на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии автомобиля, полуосях; реактивные моменты в подвеске; моменты за-

	тяжки креплений
Работа	Величина работы подъема, трения, сопротивлений
Мощности	Мощность на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии; мощности электромоторов технологического оборудования и др.
<b>Другие величины</b>	
Время	Время движения, разгона и торможения автомобиля; время срабатывания тормозного привода, механизмов подъема кузова и др.
Температура	Температура охлаждающей воды; масла в картерах
Цвет	Цвета побежалости
Освещенность и сила света	Сила света фар; освещенность рабочего места; яркость свечения дорожных сигналов и др.
Акустические сигналы	Шум в помещении; стуки и шумы в отдельных агрегатах автомобиля
Параметры структурных свойств	Определение твердости материалов; жесткость воды
Параметры химических свойств	Измерение вязкости масел, дизельного топлива; анализ концентрации продуктов износов в картерном масле; плотность электролита; анализ выхлопных газов; состав нагара; примеси в масле; анализ конденсата в тормозной системе и т.д.
Излучения	Радиометрические измерения при использовании активных радиоизотопов

Диапазоны (пределы) измеряемых величин чрезвычайно широки. Например, линейные размеры могут меняться от нескольких микрометров (мкм) при измерении износов деталей до десятков и сотен метров – при изучении тормозных путей автомобилей или путей их разгона. Давления измеряются от 500 до 600 гПа при исследованиях системы питания (карбюраторов) двигателей и до 20000 кПа – при исследовании тормозных гидравлических приводов автомобилей.

Такие широкие пределы измеряемых величин предъявляют особые требования к измерительной аппаратуре. Одни и те же параметры, например, температуры, в одних случаях приходится измерять высокочувствительными термометрами, в других – обычными ртутными термометрами. Величину износа деталей измеряют точным измерительным микроскопом, а путь тормо-

жения или путь выбега автомобиля - металлической мерительной лентой, которая может дать ошибку в 1 - 1,5 см.

Все это свидетельствует о том, что одна из самых важных проблем правильной постановки экспериментов – это выбор соответствующей измерительной аппаратуры, наиболее подходящей для исследуемых параметров.

## 5.2 Общая характеристика измерительной аппаратуры

Эксперимент в целом может быть представлен в виде сложной системы, созданной для того, чтобы отвечать на задаваемые вопросы (рисунок 3). Эта система включает в себя не только материальное оборудование (объект исследования, установку или стенд и измерительную аппаратуру), но и такие нематериальные элементы, как комплекс подготовительных операций к эксперименту, план эксперимента, данные (необработанные) эксперимента, их обработку и анализ.

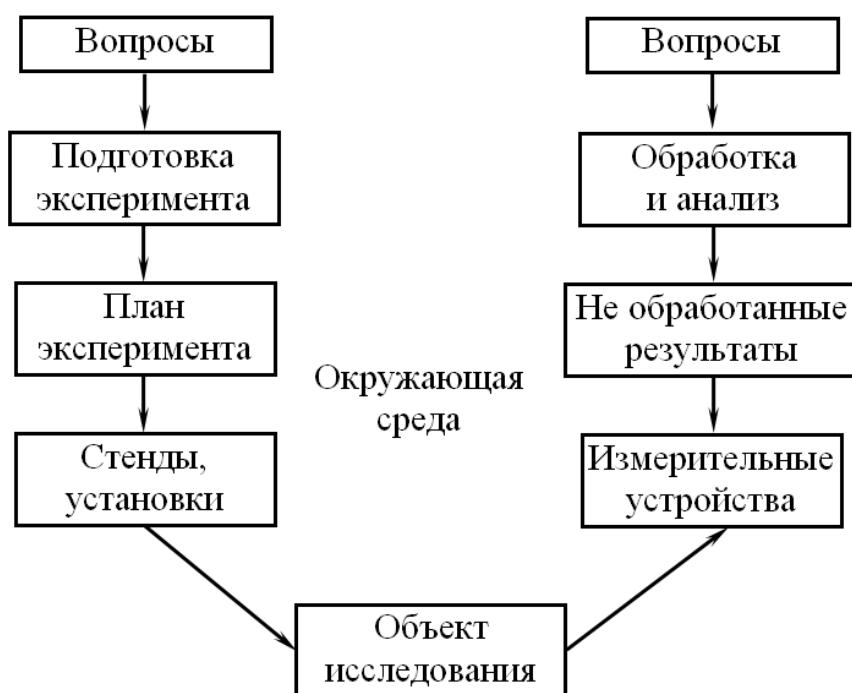


Рисунок 3 – Экспериментальное исследование как сложная система



### 5.3 Точность измерений

Надежность результатов исследования в значительной степени зависит от точности измерений. Ошибки опыта в зависимости от их величины и характера могут привести к серьезным последствиям: к неясности полученных закономерностей или, что еще хуже, к неверным выводам. **Точность** есть степень соответствия результата измерения действительному значению измеряемой величины. Чем это соответствие меньше, тем больше ошибка измерения. Существует, по меньшей мере, три основных источника ошибки:

- первый источник заключен в датчике, который неправильно реагирует на измеряемую величину. Например, если тензосопротивление плохо наклеено на упругий элемент, то деформация его решетки не будет соответствовать деформации упругого элемента;

- второй источник – измерительное устройство, в котором возможны погрешности из-за неправильного функционирования его механических и электрических элементов;

- третий источник – сам наблюдатель или исследователь, который из-за неопытности или усталости неправильно считывает показания прибора или ошибается при обработке осциллограммы.

Кроме того, ошибки измерения могут возникнуть из-за влияния измерительного устройства на объект измерения, методических погрешностей, допущенных экспериментатором.

Эти источники ошибок приводят к появлению двух типов ошибок (рисунки 4);

- **систематических**, т. е. возникающих по вполне определенным причинам, связанным главным образом с неисправностями измерительного устройства (заедание, люфт, т. е. свободный ход, подтекание и т. п.). Систематическая ошибка возникает, как правило, в одну сторону от действительного значения измеряемой величины и появляется независимо от количества

последовательных отсчетов. Примером систематических ошибок может служить график показаний тахометра.

При наличии систематической ошибки в показания прибора вносят соответствующие поправки. Устранить ее можно, произведя калибровку прибора, т. е. проверку его во всем диапазоне измеряемых величин с помощью эталона – образцового высокоточного прибора, или ремонт;

- случайных ошибок, причины которых неизвестны и из-за которых при последовательных отсчетах постоянной величины получаются различные результаты. Именно случайные ошибки обычно характеризуют точность измерений.

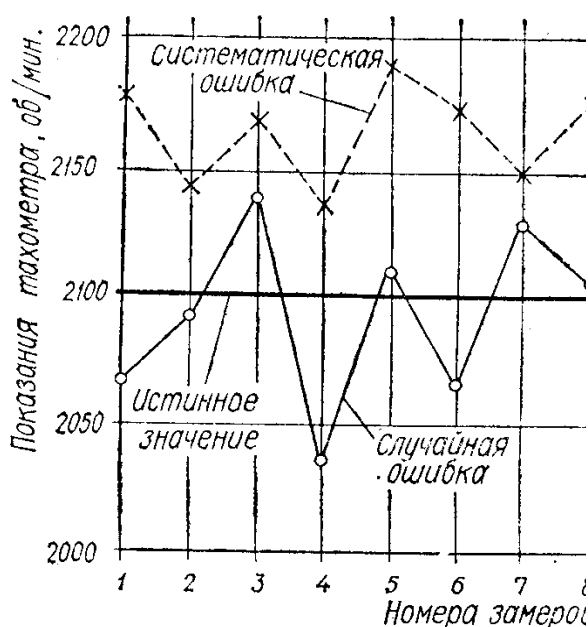


Рисунок 4 – Виды ошибок показаний измерительного прибора тахометра

Полностью избежать при измерениях случайных ошибок практически невозможно, но установить возможную ошибку опыта и, следовательно, точность выполненных измерений необходимо во всех случаях.

Случайные ошибки измерений по своей величине и характеру могут следующими:

- **абсолютная ошибка**  $\Delta$  представляет собой разность между измеренной и величиной  $a_i$  и действительным (истинным) значением этой величины  $x$ :  $\Delta = a_i - x$ . Действительное значение измеряемой величины не всегда заранее

известно, поэтому при  $n$  количестве равнозначных измерений за величину  $x$  можно принять среднее арифметическое, т. е.  $x = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}$ . Тогда абсолютная ошибка единичного измерения будет  $\Delta = a_i^{-x}$ . Абсолютная ошибка всегда имеет ту же размерность, что и измеряемая величина.

- **относительная ошибка**  $\Delta_0$  есть отношение абсолютной ошибки к действительному значению измеряемой величины:

$$\Delta_0 = \frac{\pm \Delta}{X}$$

Безмерным значением относительной ошибки или выражением ее в процентах, т. е.

$$\Delta_0 = \pm \frac{\Delta}{X} 100\%$$

оценивают точность измерения. При этом за действительное значение измеряемой величины принимается либо заранее известное значение, либо среднее  $\bar{X}$ ;

- предельная ошибка  $\Delta_n$  – наибольшая случайная абсолютная ошибка, которая может возникнуть и при правильной эксплуатации измерительного оборудования, и после устранения систематических ошибок или внесения поправок.

Предельные ошибки некоторых приборов и способов измерения приведены в таблице 4.

Данные таблицы 5 могут быть использованы для грубого подсчета точности результатов опыта при разных методах его проведения. Допустим, требуется определить путь, пройденный автомобилем при разгоне с места до достижения им некоторой определенной скорости. Это можно сделать по-разному. Первый способ – установить на колесе автомобиля датчик с контактным преобразователем, который делает отметки на самописце или ленте осциллографа. Рабочий же радиус колеса измеряется линейкой. Другой способ заключается в том, что путь определяется лентой по отметкам в момент трогания с места и в момент достижения необходимой скорости.

Таблица 4 – **Предельные значения некоторых измерительных устройств**

Измерительное устройство и методы измерения	Предельная ошибка, % к наибольшему значению измерений
Мерная металлическая лента (20 м)	0,20 - 0,30
Угломер оптический	0,50 - 2,00
Тахометр центробежный	0,40 - 2,50
Тахо генератор	2,50 - 4,00
Стробоскоп электронный	0,10 - 1,00
Весы автомобильные	0,80 - 1,20
Весы технические	0,10 - 0,20
Динамометры пружинные	1,00 - 3,50
Динамометры гидравлические	0,70 - 2,00
Манометры (с трубкой Бурдона)	1,00 - 10,00
Манометры ртутные	1,00 - 2,00
Датчики фотоэлектрические	0,40 - 2,00
Секундомеры стандартные	0,40 - 0,70
Термометры ртутные технические	0,30 - 2,00
Термометры (без усиления)	0,50 - 2,50
Газоанализаторы с поглощением	0,50 - 2,00
Газоанализаторы хроматографические	0,80 - 2,00
Вискозиметры стандартные	1,00 - 4,00
Запись осциллографа при усилении	1,50 - 4,00

Несомненно, второй способ, несмотря на кажущуюся примитивность, более точен, так как измерение расстояния металлической мерной лентой дает предельную ошибку 0,3 %, а записи на осциллографе (с учетом, что отметки идут не непрерывно, а на каждый оборот или полуоборот колеса) могут дать ошибку почти в 5 раз большую.

В процессе эксперимента, как правило, производится измерение нескольких величин, связанных между собой той или иной функциональной зависимостью. Измерение каждой из величин, неизбежно дает какую - то ошибку; если эту величину измеряли не один, а несколько раз (так обычно и бывает), то определяется так называемая статистическая ошибка этих неоднократных измерений. Случайные ошибки при этом оцениваются средним арифметическим результатом измерений и средним квадратичным отклонением от среднего, которые находятся по формулам 5 и 6.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

где  $n$  – объем вариационного ряда.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (6)$$

В теории ошибок доказывается, что, во - первых, случайные ошибки распределяются по нормальному закону (закону Гаусса) и, во - вторых, чем больше производится измерений какой - либо величины, тем меньше суммарная случайная ошибка средней.

Среднеквадратическое отклонение (стандарт) – мера точности среднего арифметического значения измеряемой величины. Наибольшей ошибкой средней арифметической  $\bar{a}$  измерений является величина, равная трем сигмам  $+3\sigma$ , так называемое **правило трех сигм**, которое вытекает из закона Гаусса о случайных ошибках. Поэтому наибольшая возможная статистическая относительная ошибка равна

$$\frac{\Delta_i(\bar{a})}{\bar{a}} = \pm \frac{3\sigma}{a}. \quad (7)$$

Таким образом, точность измерений оценивается: для однократных – по предельной ошибке, для многократных – по наибольшей возможной статистической ошибке (относительной).

Теория ошибок и некоторые приведенные выше формулы позволяют определить, с какой точностью следует проводить измерения отдельных величин в процессе эксперимента, если предварительно задана необходимая точность окончательных результатов.

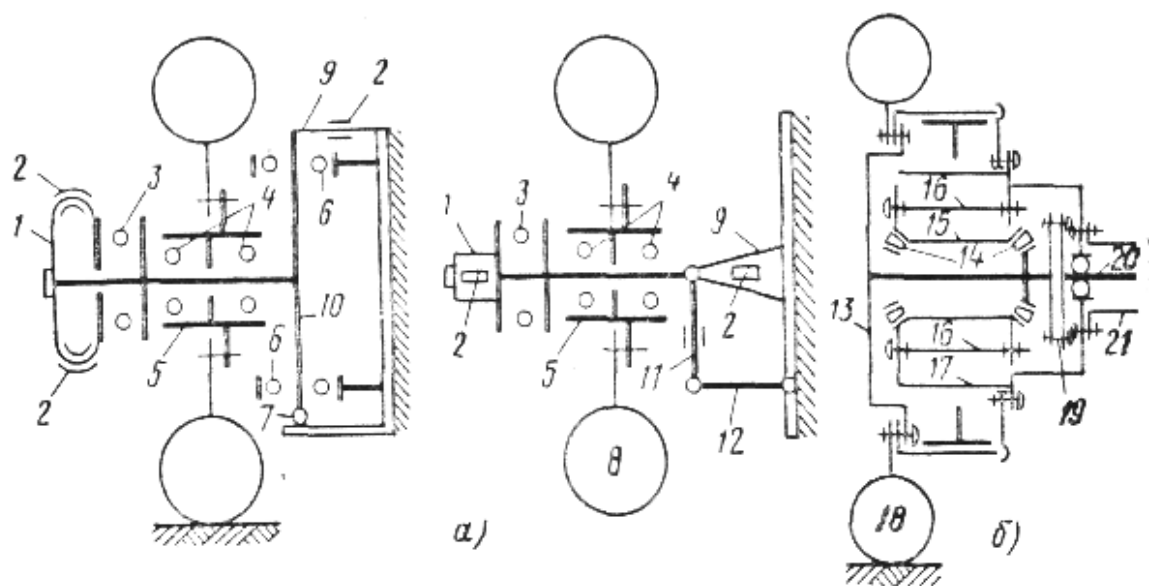
## 5.4 Методы измерения физических величин

**Измерение сил и моментов.** При испытаниях автомобилей, тракторов часто возникает необходимость определения сил и моментов, действующих на узлы автомобиля, трактора. В большинстве случаев эти величины переменные, и для их регистрации следует применять записывающую аппарату-

ру. При измерении сил и моментов вращающихся деталей используют токо-  
съемные устройства. В лабораторных условиях при проведении статических  
измерений применяют динамометры общего назначения.

Для измерения сил выпускают целую серию устройств, например при-  
боры типа У, С, Р, ТДС отечественного производства или 1С - КО, БТ - КВ  
японской фирмы «Киова». Чувствительный элемент в них кольцо, шарик или  
стержень. Сферический чувствительный элемент работает только на сжатие и  
не реагирует на боковые составляющие нагрузки. По экватору сферического  
чувствительного элемента наклеивают тензорезисторы, которые включают в  
измерительную схему.

Типовые измерители силы не нашли широкого применения из-за спе-  
цифики дорожных испытаний. В специальных измерительных устройствах  
чувствительным элементом является или непосредственно деталь автомобиля  
или особый элемент, который выполняет функцию этой детали. Так, напри-  
мер, для измерения сил, действующих в зоне контакта колеса с дорогой в  
процессе движения автомобиля, трактора, разработаны и изготовлены две  
динамометрические ступицы, одна из которых предназначена для ведомого  
колеса (рисунок 5, а), а вторая для ведущего (рисунок 5, б).



а – ведомого; б — ведущего.

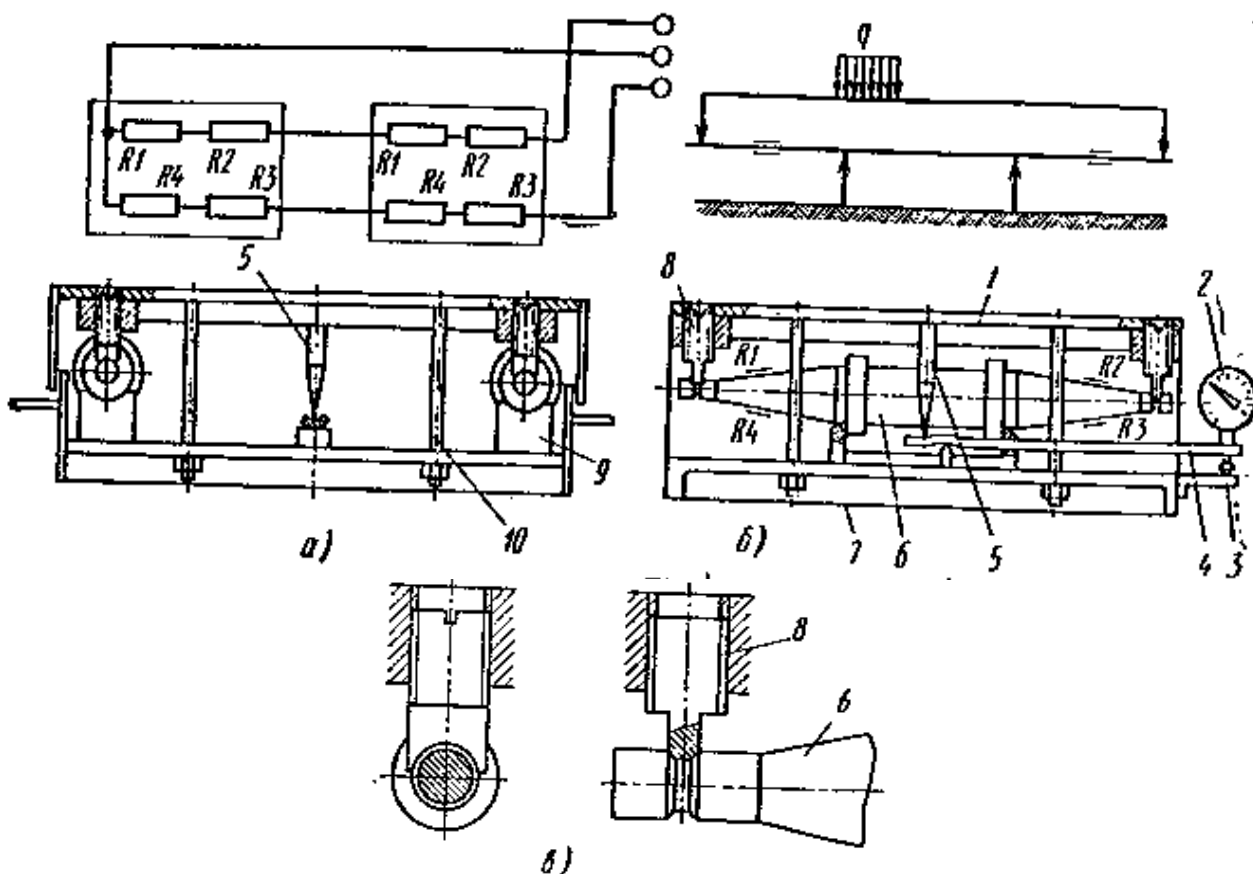
Рисунок 5 – Схемы динамометрических ступиц для колес

Силы по трем координатным осям в схеме (рисунок 5, а) измеряют с

помощью элементов 1, 9 (стойка 10) и 11 (тяга 12) с тензорезисторами 2. Для того чтобы чувствительные элементы реагировали на составляющие сил только в заданном направлении, применены подшипниковые узлы 3, 4, 5, 6 и 7. На схеме (рисунок 5, б) чувствительные элементы шпильки 16 соединяют внутренний 15 и внешний 17 стаканы, стакан 17 жестко прикреплен к балке моста 21, во внутреннем стакане установлены подшипники 14 ступицы 13. Вал ступицы через муфту 19 соединен с полуосью 20. Схема расположения и включения тензорезисторов обеспечивает измерение пяти сил и моментов, действующих на колесо 18.

Для измерения нормальной нагрузки, приложенной к колесу автомобиля, применяют динамометрическую площадку (рисунок 6). Нагрузка от колеса передается плите, которая опирается на чувствительные элементы 6 через регулировочные пальцы 8, выполненные в виде балок равного сопротивления изгибающей нагрузке. Эти элементы свободно лежат в кронштейнах 9 основания 7. Шпильки 10 предотвращают опрокидывание плиты.

Нагрузку определяют по показаниям устройства, включающего тензорезисторы R1 R4, наклеенные на чувствительные элементы 6, или по индикатору 2. Конструкция чувствительных элементов и схема включения тензорезисторов обеспечивают независимость показаний от места приложения нагрузки в пределах плиты 1. Механическое измерительное устройство состоит из щупа 5, рычага 4, индикатора 2 и опоры 3. Оно может быть использовано как для непосредственных измерений, так и для тарировки электрического измерительного устройства.



а – электрическая схема; б – схема измерительного устройства; в – соединение регулировочного пальца с чувствительным элементом.

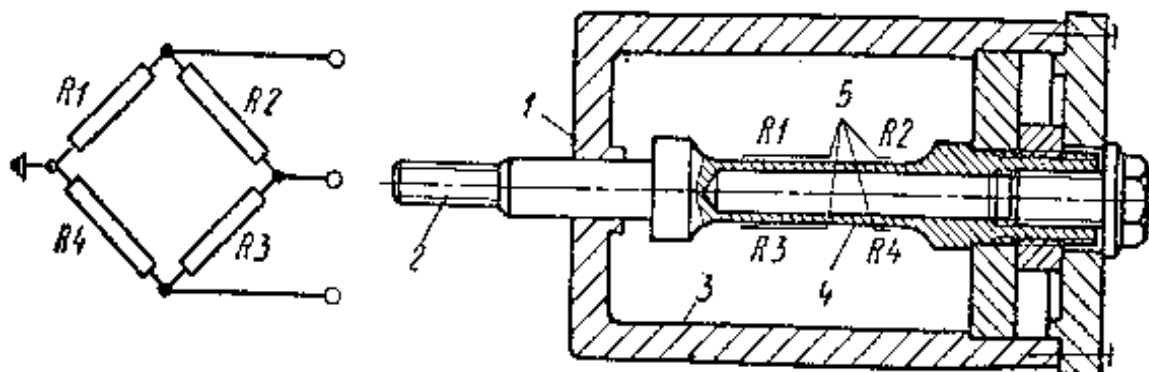
Рисунок 6 – Динамометрическая площадка для измерения вертикальной нагрузки на колесе

Для измерения усилия буксировки, например, при проведении подготовительного этапа тормозных испытаний используют специальное устройство с чувствительным элементом в виде стержня, работающего на растяжение (рисунок 7), и на котором установлены тензорезисторы, включенные в мостовую схему.

Крутящие моменты валов определяют или по измеренной деформации вала или с помощью специального преобразователя крутящего момента. В некоторых случаях достаточно найти реакции опор стандартными измерителями сил. Измерить деформацию вала нетрудно с помощью тензорезисторов, устанавливая их под углом  $45^\circ$  к оси. Для включения их в измерительную цепь необходимо применить одно из рассмотренных токосъемных устройств. Этот способ не связан с какими-либо изменениями в исследуемой конструкции. Однако не всегда возможна установка на вал тензорезисторов и токо-



съемных устройств. Кроме того, все эти приспособления, создаваемые для каждой конструкции отдельно, требуют тарировки и оценки погрешностей.

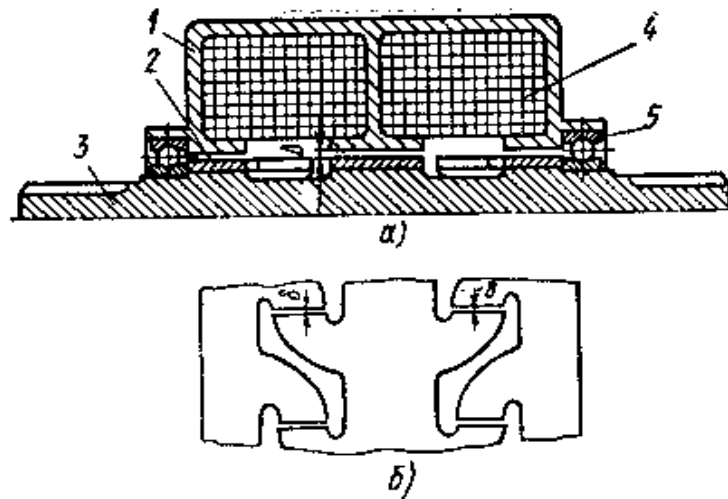


1 – направляющая; 2 – измерительный элемент; 3 – корпус; 4 – чувствительный элемент; 5 – тензорезисторы; R1 и R2 – активные тензорезисторы; R3 и R4 – компенсационные тензорезисторы.

Рисунок 7 – Устройство для измерения усилия буксировки

Промышленные преобразователи момента работают в комплекте с типовой измерительной аппаратурой и их характеристики не изменяются при переходе от одного объекта измерений к другому. Калибровку и оценку погрешностей проводят заранее, а результаты используют при испытании различных объектов.

На динамометрическом вале конструкции Московского автомеханического института (МАМИ) деформацию кручения определяют с помощью индуктивного преобразователя (рисунок 8). За счет упругих деформаций вала 3 происходит изменение воздушного зазора б в магнитопроводах 2, в результате чего изменяются магнитные потоки, проходящие через обмотки 4. Эти обмотки расположены в корпусе, который установлен на валу 3, на шариковых подшипниках 5. От качества и точности установки подшипников зависит погрешность работы устройства. Аналогичным образом работают устройства типа ТЗ и Т4.



а – общий вид; б – развертка магнитопроводов.

Рисунок 8 – Динамометрический вал с индуктивным преобразователем

Следует отметить, что рассмотренные устройства и приборы должны быть включены в силовую цепь машины или агрегата, что связано с искажением упругих и инерционных характеристик исследуемой трансмиссии.

**Измерение давлений.** При испытаниях автомобилей часто приходится измерять давления жидкостей и газов. Для определения постоянных значений давления применяют жидкостные (пьезометры) и стрелочные (пружинные) манометры. В жидкостном манометре на столб жидкости, заключенный в трубку, действует разность измеряемого и атмосферного давлений. В стрелочных манометрах применяют изогнутую манометрическую трубку (Бурдона), которая под действием разности давлений, стремясь выпрямиться, через рычажный механизм перемещает стрелку. Для измерения переменных давлений применяют преобразователи с чувствительным элементом.

При медленно изменяющемся давлении (с частотой не более 1 Гц) применяют преобразователь давления с чувствительным элементом в виде трубки Бурдона (рисунок 9). На боковые поверхности трубки наклеены тензорезисторы 2, соединенные в полумостовую схему. Манометрическая трубка имеет значительную инерционность, и поэтому не может реагировать на быстропротекающие процессы. Например, этими преобразователями измеряют давление жидкости в гидравлическом тормозном приводе.

При частоте изменения давления в несколько герц применяют преобра-

зователь в виде тонкостенной прямолинейной трубки, внутренний диаметр которой выбирают равным диаметру трубопровода, а толщину стенок – минимальной по условию прочности. Трубку выполняют сквозной (проточный измеритель) и в виде стакана (тупиковый измеритель). На чувствительный элемент наклеивают тензорезисторы 2 - 5, которые измеряют деформацию стенок чувствительного элемента (рисунок 10). Таким устройствам измеряют давление жидкости и газа с малым или постоянным расходом, например давление воздуха в пневматическом тормозном приводе.

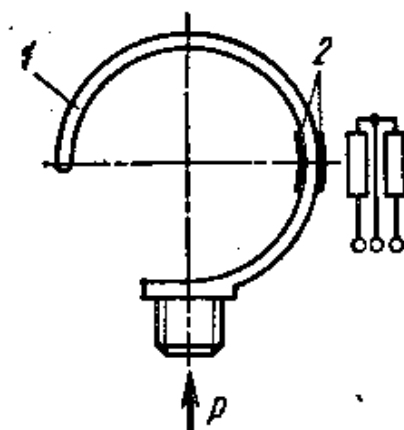


Рисунок 9 – Манометрическая трубка

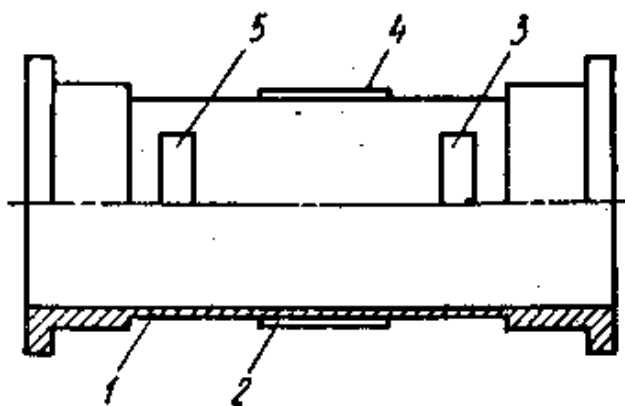
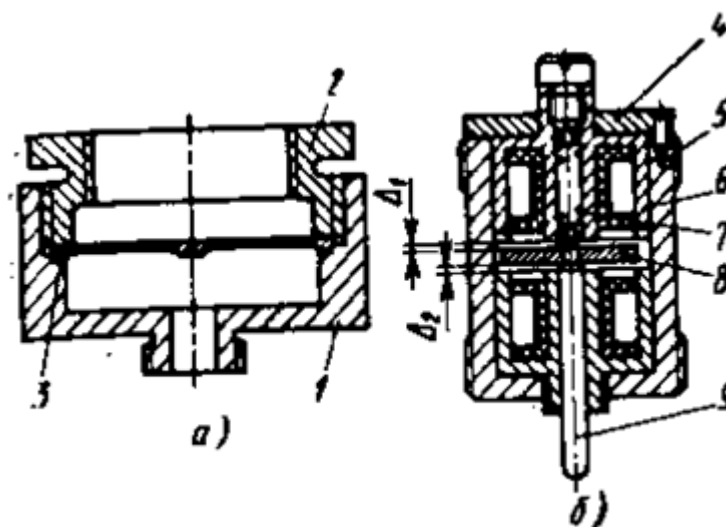


Рисунок 10 – Схема наклейки тензорезисторов на тонкостенную трубку

В испытаниях находят распространение преобразователи с чувствительным элементом мембранного типа. Конструкция одного из них показана на рисунке 11. Чувствительный элемент (рисунок 11, а) состоит из корпуса 1, зажимной головки 2 и мембраны 3, Корпус резьбовым наконечником ввертывают в магистраль. Мембрану выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить линейную характеристику ее работы во всем диапазоне измеряемых давле-

ний. Мембрана зажимной гайкой закреплена в корпусе. Разборная конструкция чувствительного элемента позволяет устанавливать мембраны разной толщины, тем самым расширяя диапазон измеряемых давлений.



а – чувствительный элемент; б – индуктивный преобразователь.

Рисунок 11 – Индуктивный преобразователь давления

Перемещение мембраны передается якорю 5 индуктивного преобразователя (рисунок 11, б) через щуп 9. Якорь 8, находясь под действием пружины 7 и щупа 9, перемещается между двумя магнитными кольцами 6 и изменяет воздушные зазоры  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , что нарушает баланс измерительной схемы на величину, пропорциональную измеряемому давлению. Все устройство собрано в корпусе 5 и закрыто крышкой 4. Баланса измерительной схемы достигают ввертыванием корпуса в зажимную гайку, при этом выравниваются зазоры  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , которые должны быть в пределах 1 - 2 мм, а прогиб мембраны должен составлять (0,1 - 0,15) А. Индуктивный преобразователь работает на переменном токе с частотой 500 Гц.

Устройство обеспечивает погрешность измерения не более 5 % при изменении давлений с частотой до 50 Гц. Например, рассмотренную конструкцию применяют при испытаниях гидромеханических коробок передач. Аналогичный по принципу работы преобразователь давления мембранного типа ДД - 6 входит в комплект виброизмерительной аппаратуры ВИБ - 5 МА.

Устройства с чувствительным элементом мембранного типа и реохорд-

ным преобразователем используют для измерения давлений в гидравлических приводах тормозов и в гидроусилителях рулевого управления.

Чувствительные элементы преобразователей давления должны иметь такую частоту собственных колебаний, которая бы значительно превышала максимальные частоты измеряемых процессов. Наибольшую частоту собственных колебаний имеют преобразователи давления с пьезоэлектрическим чувствительным элементом. Их применяют при широком интервале изменения величин и частот давлений. Высокая жесткость пьезоэлектрических преобразователей обеспечивает частоту собственных колебаний 10 - 50 кГц. Это дает возможность использовать их для измерения давления в цилиндрах двигателя автомобиля. Следует отметить, что пьезоэлектрический преобразователь имеет ограниченный нижний диапазон частот и не может измерять постоянную составляющую процесса.

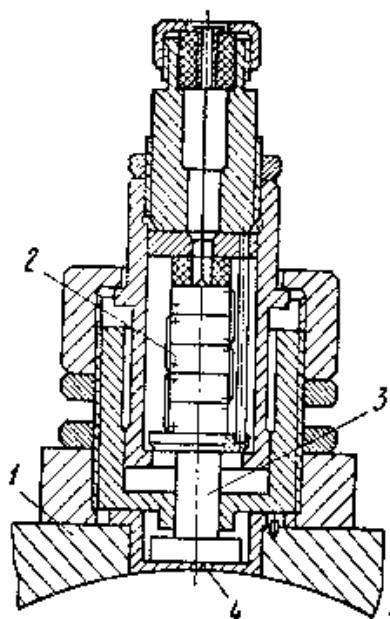


Рисунок 12 – Пьезоэлектрический преобразователь давления

На рисунке 12 показана конструкция одного из пьезоэлектрических преобразователей давления. Чувствительный элемент 2, представляющий собой набор кварцевых пластин, посредством штока 3 соединен с мембраной 4, установленной в стенке тормозного барабана 1. Преобразователь используют

для измерения давления между барабаном и накладками тормозных колодок.

**Измерение пути, скорости и относительного перемещения.** Для измерения пути, пройденного трактором и автомобилем, может быть использован счетчик с приводом от трансмиссии. Однако такой способ не совсем точен, так как колеса проскальзывают за счет передачи сил и моментов. Кроме того, радиус качения колеса связан с нагрузкой, давлением в шине и ее износом. Поэтому при испытаниях для измерения пути и скорости применяют так называемое «пятое колесо». Колесо велосипедного или мотоциклетного типа установлено в вилке и шарнирно соединено с автомобилем. Такое крепление обеспечивает самоустановку колеса при движении автомобиля. Для получения безотрывного качения колеса его прижимают к дороге пружинами, а в некоторых случаях устанавливают и амортизаторы. Примером «пятого колеса» является прибор ПВС-С («путь – время – скорость») конструкции НАМИ.

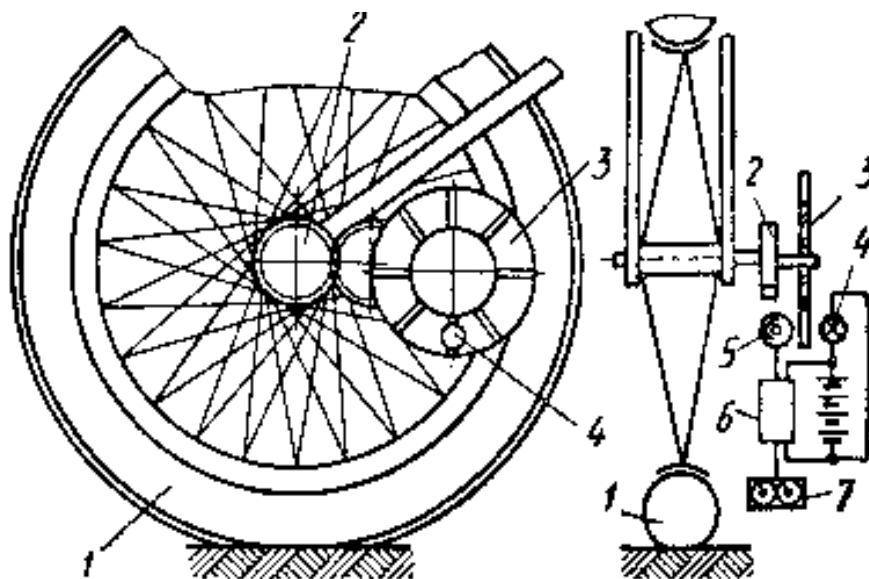


Рисунок 13 – Схема «пятого колеса» с фотоэлектронным устройством для измерения пути и скорости

Путь в этих приборах определяется по непрерывному или дискретному измерению угла поворота колеса (рисунок 13). В электронных устройствах с дискретным измерением колесо 1 через редуктор 2 вращает диск с отверстиями 3, которые пересекают луч света от лампы 4. При этом фотодиод 5 посылает импульсы на электронную регистрирующую аппаратуру 6 и 7. Число отверстий на диске и передаточное число редуктора выбраны так, чтобы им-

пульсы следовали через достаточно, малый промежуток времени, кратный единице пути.

Число импульсов регистрируется счетчиками или же они заносятся на магнитограф. Одновременно по отдельному каналу записывается время в виде импульсов, поступающих от специального генератора. Точность измерения времени составляет 0,001 с, а пути – несколько миллиметров. При автоматической обработке этих данных определяется не только пройденный путь, но также скорость и ускорение.

В случае необходимости импульсы пути и времени могут быть записаны на осциллограф (рисунок 14). Тогда путь  $S_{\Pi}$  и среднюю скорость  $V$  определяют по формулам

$$S_{\Pi} = n \cdot m_s. \quad (8)$$

$$V = \frac{S_{\Pi}}{t} = \frac{l_k \cdot n \cdot m_s}{l_{\Pi} \cdot k \cdot m_t}. \quad (9)$$

где  $n$  – число отметок «пятого колеса» на осциллограмме;

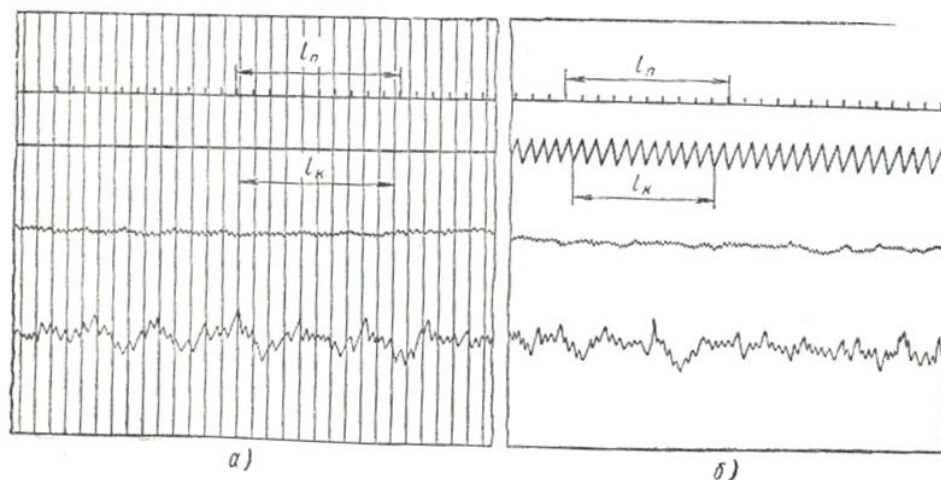
$l_{\Pi}$  – участок на осциллограмме, соответствующий пути  $S_{\Pi}$ ;

$k$  – выбранное число отметок времени;

$l_k$  – длина участка на осциллограмме, соответствующая целому числу отметок времени  $k$ ;

$m_t$  – масштаб времени;

$m_s$  – масштаб пути.



**а – моторного; б – генераторного.**

**Рисунок 14 – Осциллограммы, полученные при определении пути и скорости автомобиля с записью различных отметчиков времени**

В устройствах непрерывного измерения протяжка ленты на самописце скорости пропорциональна пройденному пути, а скорость автомобиля измеряется через угловую скорость «пятого колеса». Для этого применяют тахогенераторы, которые вырабатывают электрический сигнал, напряжение которого пропорционально скорости вращения «пятого колеса». Этот сигнал подается на самописце или регистрируется стрелочным тахоуказателем. Примером механического устройства для записи скорости является тахограф «Урсакорд» (ГДР). Этим прибором записывают скорость автомобиля и угловую скорость двигателя в течение суток.

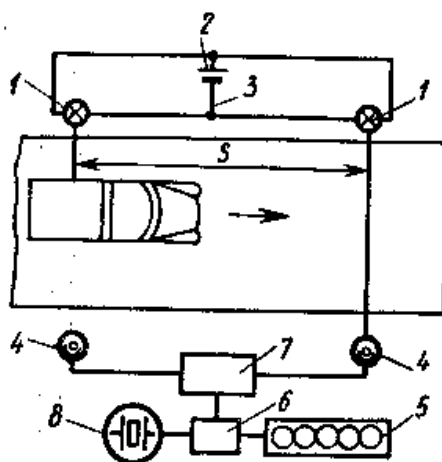


Рисунок 15 – Схема измерения максимальной скорости движения автомобиля

Для фиксации максимальной скорости используют измеренный участок пути, а время определяют секундомером или электронным хронографом. В последнем случае участок ограничивают двумя фотосторами (рисунок 15), которые образованы лучами света от ламп 1, попадающими на фотоэлементы 4. Лампы питаются от источника тока 2 через тумблер 3. Импульс, который возникает в фотоэлементе при пересечении луча света, подается на хронограф, измеряющий время движения автомобиля на участке. Он включает в себя триггер 7, управляющий работой блока 6 импульсных счетчиков 5, которые подсчитывают число периодов колебаний кварцевого генератора 8.

При пересечении автомобилем первого фотостора на входе мерного участка триггер отпирается, и ток генератора поступает на блок счетчиков. При пересечении второго фотостора триггер запирается и счет прекращает-



ся. Погрешность измерения составляет не более 0,001 с, а в некоторых случаях (например, для контроля других измерительных устройств) не более 0,0001 с.

Скорость автомобиля можно измерять портативной радиолокаторной установкой, использующей эффект Доплера и позволяющей измерять скорости до 150 км / ч (41,7 м / с) с погрешностью до 3 %.

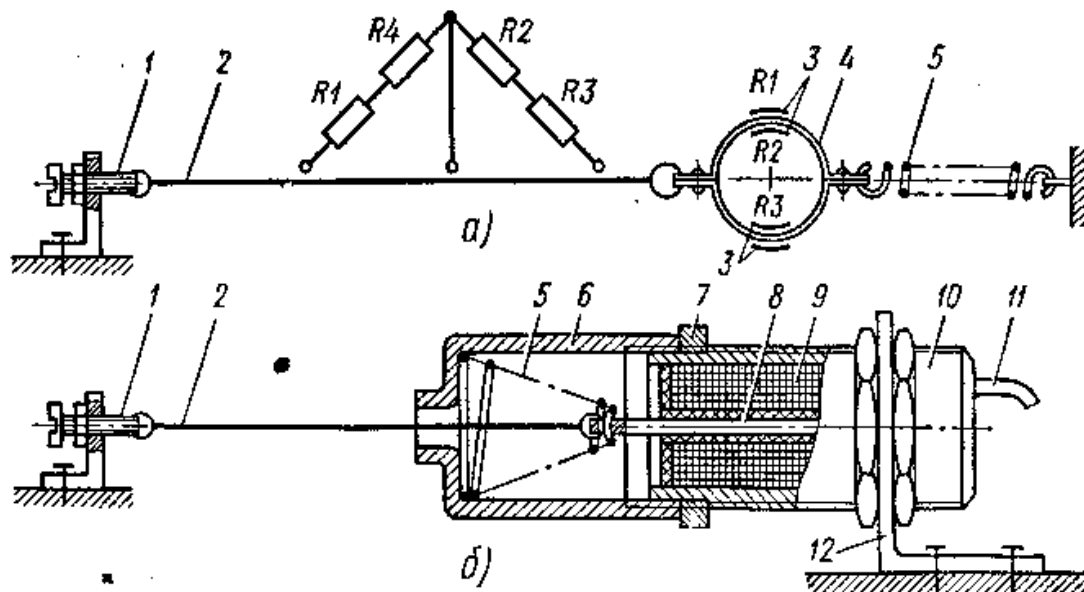
Для определения угловых скоростей используют приборы механического, электрического или электронного типов. К механическим приборам относятся тахометры и тахоскопы. В тахометре под действием центробежных сил расходятся грузики, которые перемещают стрелку прибора. Тахоскопом определяют суммарный угол поворота вала за промежуток времени, заданный часовым механизмом. Эти приборы имеют высокую точность измерения, их применяют в качестве контрольных.

Строботахометр позволяет измерить частоту вращения без непосредственного контакта с вращающейся деталью. При совпадении частоты вспышек импульсной лампы и частоты вращения вращающаяся деталь воспринимается как неподвижная. При измерениях угловая скорость детали должна быть постоянной, а частота вспышек плавно регулируется. В момент, когда вращающаяся деталь кажется неподвижной, по шкале прибора определяют ее угловую скорость.

Электрический тахометр состоит из преобразователя (тахогенератора) и тахоуказателя (вольтметра), который измеряет напряжение, вырабатываемое тахогенератором. Примером электротахометра являются приборы типа ТЭ - 204, ТЭ - 207, которые измеряют угловую скорость соответственно в пределах 62,8 - 314 1/с и 314 - 1465 1/с.

Определить угловую скорость можно также по импульсам, получаемым от специальных преобразователей. Для этого, например, используют фотоэлектронный преобразователь, рассмотренный при описании схемы «пятое колесо». Широкое распространение получили преобразователи электромагнитного типа, которые имеют статор и ротор. При совпадении выступов

статора и ротора в процессе вращения в обмотке статора появляются электрические импульсы, которые регистрируются аналогично импульсам пути в устройстве «пятое колесо». На установившихся режимах для измерения угловой скорости можно использовать частотомеры типа 43 - 32, Ф - 551 и др.



а – кольцевого типа; б – индуктивный ДП - 2; 1 – натяжное устройство; 2 – струна; 3 – тензорезистор; 4 – кольцо; 5 – пружина; 6 – накидная гайка; 7 – контргайка; 8 – подвижный сердечник; 9 – обмотки; 10 – корпус; 11 – ка бель; 12 – кронштейн.

Рисунок 16 – Преобразователи относительных перемещений

Для измерения относительных перемещений узлов и деталей автомобиля используют различные устройства и приспособления. Так, например, в условиях статических испытаний нашли применение механические индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. При динамических испытаниях тензорезисторы наклеивают на кольца и пластины, выбранные достаточно гибкими, но прочными, изготовленными из высокоуглеродистой стали. Для измерения больших перемещений кольцо 4 соединяют с подвижными деталями через пружину 5 (рисунок 16, а), натяжное устройство 1 и струну 2. Нагрузка, действующая на кольцо, зависит от измеряемого перемещения и жесткости пружины. Напряжения в кольце от действия этой нагрузки измеряют с помощью тензорезисторов.

Упругие пластины и кольца с наклеенными на них тензорезисторами применяют для измерения ходов подвески, углов поворота управляемых ко-

лес и деформации проемов кузовов легковых автомобилей, а также кабин грузовых автомобилей в дорожных и стендовых испытаниях.

Преобразователи линейных перемещений виброаппаратуры ВИ 6 - 5 МА основаны на принципе изменения индуктивности. Они позволяют измерять перемещения до 8 - 12 мм (ДП - 2) и до 16 - 25 мм (ДП - 3) в диапазоне частот 0 - 120 Гц. Конструктивно преобразовательное устройство выполнено в виде цилиндра (рисунок 16, б) с резьбой для крепления. В отверстие, расположенное по оси цилиндра, входит подвижный сердечник 8, представляющий собой стержень, одна часть которого выполнена из стали, а другая из латуни. Внутри цилиндрического корпуса вокруг отверстия уложены обмотки 9: питающая и две измерительные.

При перемещении подвижного сердечника относительно корпуса изменяется индуктивная связь питающей и измерительных обмоток. Корпус преобразователя прикреплен уголком 12 к одной детали, а стержень закреплен на другой. При измерении относительного перемещения между корпусом и стержнем при большом расстоянии между ними применяют проволоку или струну 2, которой стержень соединяют с одной из деталей. Для осуществления возвратного движения стержня на него надевают пружину 5, которую поджимают накидным колпачком 6 с контргайкой 7. Проволоку натягивают устройством 1 так, чтобы стержень занял среднее положение и имел запас хода в обе стороны. Кабель 11 соединяет преобразователь с аппаратурой.

Для измерения угловых перемещений часто используют преобразователи реохордного типа. В качестве таких преобразователей используют переменные резисторы проволочного типа. Угольно - графитовые резисторы не обладают достаточной стабильностью показаний из - за их большого износа.

***Измерение времени.*** Необходимость в измерении времени возникает во многих видах испытаний. Для определения времени длительностью от нескольких секунд до нескольких минут достаточно воспользоваться стрелочным секундомером с ценой деления 0,2 или 0,01 с (контрольный секундомер). Более высокую точность дают электронные устройства дискретного

счета, выполненные на цифровых индикаторных лампах и измеряющие число периодов колебаний кварцевого генератора. Примером может служить цифровой частотомер 43 - 32, который позволяет регистрировать время от 10 мкс до 100 с.

При регистрации процессов на записывающее устройство по отдельному каналу подается сигнал отметки времени. Источником импульсов отметки времени являются или специальное устройство в осциллографе или какой-то дополнительный прибор.

Отметчики времени можно разделить на моторные и генераторные. Моторный отметчик устанавливают в осциллографе. Внешним отметчиком моторного типа являются контактные часы А 1 Ч - 62 или МЧ - 65. Они могут работать с гелиевой лампой, устанавливаемой в некоторых осциллографах. При замыкании контактов лампа дает вспышку, которая наносится на ленту в виде поперечной полосы. Период отметки моторных отметчиков составляет 0,1 - 0,005 с. Пример записи моторного отметчика показан на рисунке 14, а.

Генераторные отметчики времени имеют стабилизированный колебательный контур. Синусоидальные или прямоугольные импульсы поступают на регистрирующее устройство. Для записи на осциллограф используют отдельный гальванометр (пример записи показан на рисунке 14, б). Запись отметок времени на магнитограф обычно производится по отдельному каналу, но в некоторых случаях ее можно совместить с записью непрерывного медленно изменяющегося процесса. При обработке результатов оба вида информации разделяют с помощью фильтров.

*Измерение вибраций, ускорений и шумности.* В приборах измерения параметров колебаний и вибраций широко применяют колебательные системы. Из теории колебаний известно, что перемещения  $y$  массы  $m$  (рисунок 17, а) связаны с ускорением  $j$  выражением:

$$y = \frac{1}{\omega_0^2} \cdot A \cdot j \quad (10)$$

где  $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$  – частота собственных колебаний массы  $m$  на упругом элементе

жесткостью  $C$ ;

$A$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от отношения частот  $d$  и степени демпфирования  $\varepsilon$ .

Величина

$$d = \frac{\Omega_B}{\omega_o}, \quad (11)$$

где  $\Omega_B$  – частота вынужденных колебаний, возбуждаемых силой  $P = P_a \cdot \sin \Omega_B \cdot t$ .

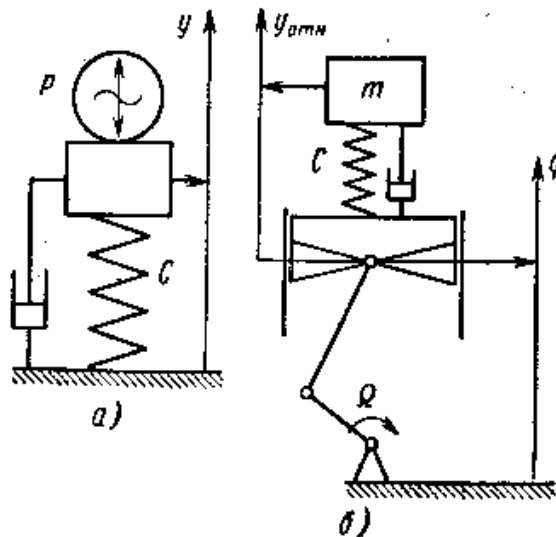
Степень демпфирования (коэффициент апериодичности)

$$\varepsilon = \frac{k_D}{2 \cdot \sqrt{Cm}}, \quad (12)$$

где  $k_D$  – коэффициент сопротивления демпфера.

Из рисунке 18 видно, что при отношении  $\frac{\Omega_B}{\omega_o} = 0 \dots 0,5$  определяющая амплитудно - частотную характеристику системы величина  $A \approx 1$ , а при  $\frac{\Omega_B}{\omega_o} = 2 \dots 3$  значения  $A \rightarrow 0$ . Длина участков, а значит и частотный диапазон, на котором величину  $A$  можно считать постоянной, задаваясь допустимым отклонением, зависит от степени демпфирования  $\varepsilon$ . При оптимальном демпфировании можно получить наибольший диапазон рабочих частот, в пределах которого упругую систему можно использовать как преобразователь ускорения.

В первичных преобразователях вибрации измеряется смещение корпуса упругой системы относительно неподвижной инерционной массы, сохраняющей свое положение в пространстве при увеличении частоты колебаний, начиная с величины  $(2 - 3) \omega_o$ . Отношение относительного перемещения инерционной массы и корпуса прибора  $y_{отн}$  к перемещению корпуса  $q_k$  вместе с исследуемой точкой (рисунок 17, б).



а – силовом; б – кинематическом.

Рисунок 17 – Схема колебательной системы с одной степенью свободы при различном возбуждении колебаний

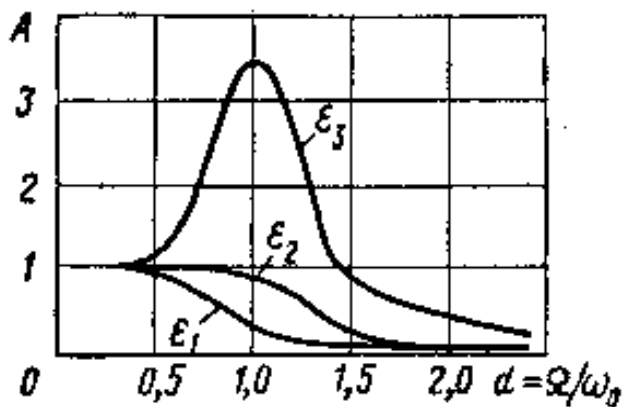


Рисунок 18 – Амплитудно - частотная характеристика колебаний системы

Когда коэффициент  $A \rightarrow 0$ , отношение перемещений  $\rightarrow -1$ . Знак минус свидетельствует о смене фазы между перемещениями. Таким образом, для измерения вибраций и ускорений можно использовать одно и то же устройство, но частотный диапазон измерителя вибрации должен быть больше (2 - 3)  $\omega_0$ . Нижний предел диапазона частот зависит от величины демпфирования, а верхний – ограничен частотными характеристиками усилительной или регистрирующей аппаратуры.

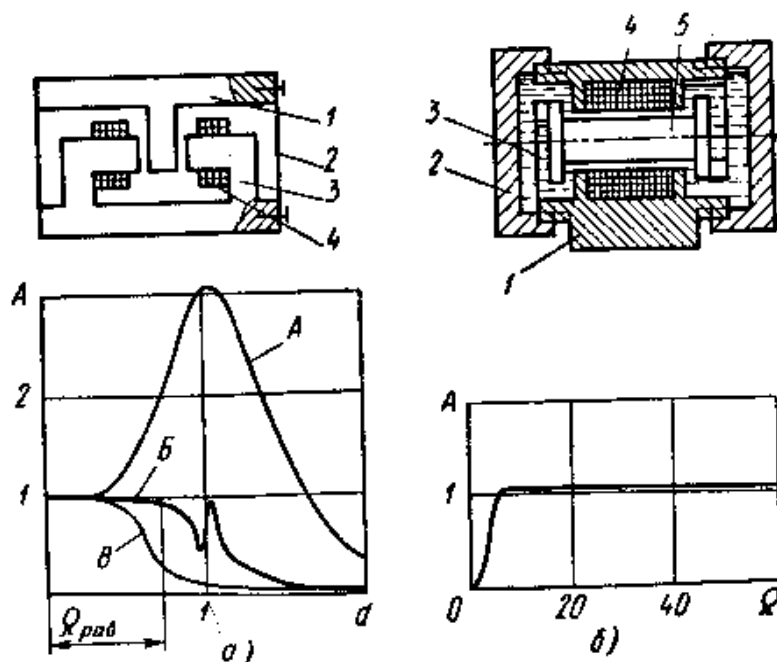
Конструкция преобразователей ускорения и вибрации зависит от способа преобразования перемещений инерционной массы в электрический сигнал. Например, в тензометрических преобразователях тензорезисторы реагируют на деформацию упругих элементов, поддерживающих инерционную

массу. В этом случае можно применять типовую тензоаппаратуру.

В индуктивных преобразователях перемещение инерционной массы вызывает изменение индуктивности обмоток, что регистрируется специальной аппаратурой, например, ВИ 6 - 5 МА. В некоторых видах виброаппаратуры применяют пьезоэлектрические преобразователи, в которых ЭДС возникает под действием инерционной нагрузки. Пьезоэлектрические преобразователи могут иметь массу всего в несколько граммов, а использовать их можно в широком диапазоне частот. Однако для измерения постоянных составляющих процессов они не пригодны. В этом случае применяют индуктивные или тензорезисторные преобразователи.

Рассмотрим преобразователи виброаппаратуры ВИ 6 - 5 МА. Пластины 1 (инерционная масса) преобразователя ускорений ДУ - 5 (рисунок 19, а) замыкают магнитный поток сердечника через воздушный зазор. Они закреплены на пластинчатых пружинах 2. На сердечнике 3 размещены измерительные 4, а также питающие обмотки. При смещении пластин под действием сил инерции изменяется индуктивность обмоток. Это изменение фиксируется аппаратурой. Преобразователь не имеет жидкостного демпфирования, его характеристику (кривая А, рисунок 19, а) корректируют с помощью фильтра (кривая Б, рисунок 19, а).

Преобразователь вибрации ДВ - 1 имеет жидкостное демпфирование (рисунок 19, б). Инерционная масса 5 цилиндрической формы является сердечником концентрических катушек 4. Упругие элементы 3 так же, как в преобразователях ускорения, выполнены пластинчатыми. Устройства для измерения вертикальных и горизонтальных вибраций различаются установкой пружин. Корпус закрыт крышками 2.



а – ускорений ДУ-5; б – вибрации ДВ – 1.

Рисунок 19 – Схемы и характеристики преобразователей

В генераторно-усилительном блоке аппаратуры ВИ 6 - 5 МА (рисунок 20) генератор 01 несущей частоты 6 кГц подает напряжение на усилитель мощности УМ 1 всех каналов. Напряжение 16 В с каскадов подается на питающие обмотки 157 преобразователя Д. В двух измерительных обмотках № 2 и № 3 наводится ЭДС, величина которой зависит от положения подвижного сердечника. Если сердечник находится в среднем положении, то величина наводимых ЭДС в обеих обмотках одинакова. При смещении сердечника в одной обмотке напряжение уменьшается, а в другой – увеличивается. Напряжения, снимаемые с этих обмоток, поступают на выпрямительные мосты М1 и М2, которые соединены между собой так, что при суммировании напряжения вычитаются. В цепь между мостами включен переменный резистор К, с помощью которого можно получить нулевой ток в любом положении сердечника.

Ток, поступающий с выпрямительных мостов, несет частоту генератора, модулированную входным сигналом. На выпрямительных мостах выделяется полярность сигнала, а несущая частота задерживается фильтром низкой частоты ФНЧ. Особенность ФНЧ заключается в том, что он не только задерживает несущую частоту, но и исправляет характеристику преобразователя



ускорения (см. кривую А, рисунок 19, а). Поскольку преобразователь ускорения не имеет своего демпфирования, то остро настроенный фильтр срезает резонансный пик этого устройства. В результате расширяется рабочий диапазон частот  $\Omega_{\text{раб}}$ , а общая характеристика системы «преобразователь - усилитель - фильтр» становится близкой к характеристике, получаемой при оптимальном демпфировании. Нарушение настройки и характеристики фильтра или изменение частоты собственных колебаний преобразователя приводит к резкому ухудшению рабочей характеристики аппаратуры (кривую В, рисунок 19, а).

В блоке питания БПП - 1 низкое напряжение постоянного тока (24 - 27 В) преобразуется в напряжение, необходимое для работы ламп усилительного блока с помощью транзисторного генератора 02, который вырабатывает ток с частотой 800 Гц. Напряжение от этого генератора подается на усилитель мощности УЛ 12, собранный на двух полупроводниковых триодах, и затем на повышающий трансформатор Т, выпрямитель М3 и сглаживающий фильтр Ф. Таким образом получают высокое напряжение постоянного тока. Для защиты от нарушения полярности питания применен диод V, а от перегрузки - плавкий предохранитель F. Питание включают тумблером S.

В комплект виброизмерительной аппаратуры ВИ 6 - 5 МА помимо преобразователей ускорения входят преобразователи давления и перемещения, основанные на индуктивном способе.

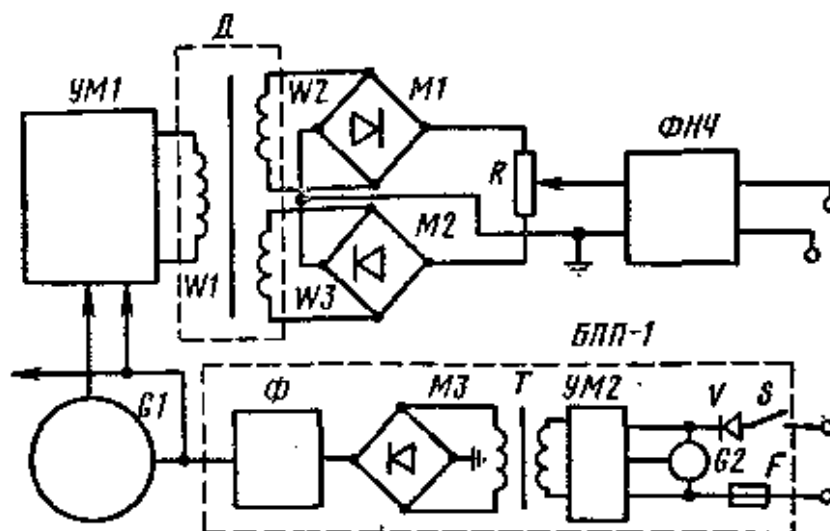


Рисунок 20 – Блок - схема виброаппаратуры ВИ 6 - 5 МА

В некоторых типах виброаппаратуры использованы пьезоэлектрические преобразователи для измерения ускорений и вибраций. Так, например, аппаратурой «Кристалл - 3 П» можно измерять ускорение  $(0,02 - 3000) \text{ g}$  в диапазоне частот  $0,2 - 16 \text{ кГц}$ . В аппаратуре девять каналов, в нее помимо преобразователей, предварительного усилителя, фильтра низких частот, измерительного усилителя включен блок измерения среднеквадратичного отклонения.

В виброаппаратуре может быть использован набор пьезоэлектрических преобразователей. С их помощью измеряют ускорения в широком диапазоне частот. При необходимости измерения амплитуды вибраций применяют специальные блоки, которые дважды интегрируют сигнал, поступающий с преобразователей ускорения.

Для калибровки вибропреобразователей применяют специальные механические и электродинамические вибростенды, на которых с высокой точностью можно задавать величины ускорений и вибраций. Часто преобразователи ускорений калибруют по ускорению свободного падения, поворачивая их так, чтобы измерительная ось совпадала с вертикалью. Такая тарировка является статической и позволяет проверить лишь начальный участок амплитудно - частотной характеристики при частоте вынужденных колебаний  $\Omega_e = 0$ .

Для измерения отрицательных ускорений постоянной величины применяют деселерометры жидкостного и маятникового типов. При замедлении в жидкостном приборе происходит перемещение жидкости в и - образной трубке относительно неподвижной шкалы, а в маятниковом – отклонение маятника.

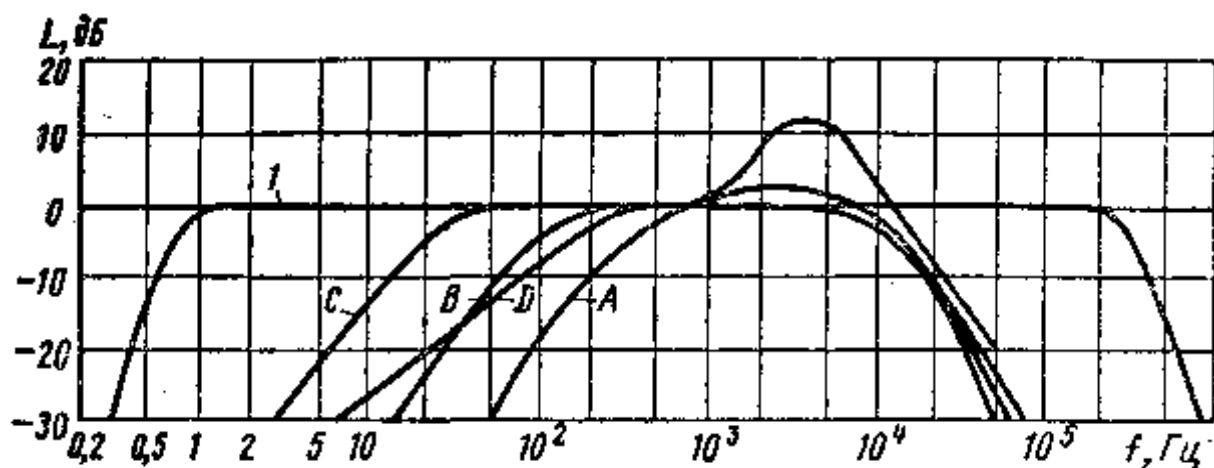


Рисунок 21 – Характеристики шумомера

Уровень шума определяют по шкале шумомера. При измерениях на микрофон надевают специальные насадки для улучшения его чувствительности в данных условиях испытаний. С помощью микрофона можно проводить измерения в широком диапазоне частот, например микрофон 4138 фирмы «Брюль и Кьер» позволяет проводить измерение звуковых колебаний с частотой  $f = 30 \dots 40$  кГц. Для анализа используют набор фильтров, которые корректируют линейную характеристику 1 шумомера (рисунок 21). Таким образом получены характеристики A, B, C и D. По этим характеристикам оценивают уровень шума  $L_v$  различных частотных диапазонах, например в диапазоне слышимости человека (кривая L, рисунок 21). Для более детального изучения составляющих шума применяют специальные частотные анализаторы.

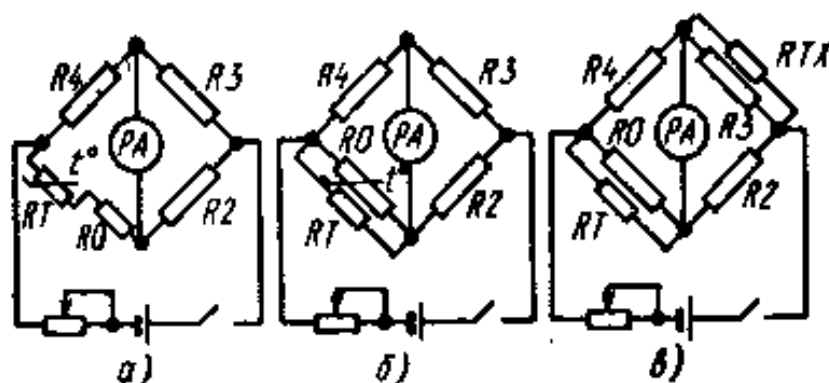
По своим характеристикам шумомеры близки к вибрационной аппаратуре и в ряде случаев для измерения параметров тех и других процессов может быть применена одна и та же аппаратура. Так, например, шумомером можно определить вибрацию. Для этого необходимо вместо микрофона использовать адаптер и акселерометр, включив интегратор между акселерометром и шумомером. Для оценки уровня вибрации используют те же фильтры и частотные анализаторы.

Измерение температур. Измерительную аппаратуру выбирают в зависимости от диапазона рабочих температур исследуемого агрегата. Для опре-

деления температур до  $120 - 150^{\circ}\text{C}$  используют аэротермометры. Эти приборы состоят из баллона, заполненного рабочим телом, капиллярной трубки и стрелочного указателя. При погружении баллона в жидкость, температуру которой надо измерить, давление рабочего тела увеличивается и передается через капиллярную трубку к указателю, перемещая его стрелку.

В качестве рабочего тела используют газ (азот, гелий), пар низкокипящих жидкостей (хлорметила, хлорэтила, этилового эфира и т. д.), а также жидкости, которые при нагревании значительно увеличивают свой объем (ртуть, метиловый спирт). Аэротермометры обеспечивают высокую точность измерения установившихся температур (газовые до 1,5 %, паровые и жидкостные до 2 %), но обладают значительной инерционностью.

Температуры до  $300 - 350^{\circ}\text{C}$  определяют с помощью проволочных (терморезисторов) и полупроводниковых (термисторов) термометров сопротивления. В терморезисторе чувствительный элемент помещен внутрь внешнего чехла с клеммовой головкой. Термисторы получают спеканием смеси порошкообразных окислов меди, железа, никеля, марганца и других металлов при высокой температуре. Термисторы превосходят терморезисторы по чувствительности и имеют достаточно высокое сопротивление. Недостатком термисторов является неустойчивость их характеристик (с отклонениями до 20 %).



а – низкоомного; б - высокоомного; в – тарировочного.

Рисунок 22 – Схемы включения термометров сопротивления в измерительный мост

Термометры сопротивления включают в измерительную цепь, состав-

ленную из резисторов по схеме четырехплечего моста. Низкоомный термометр сопротивления  $RT$  (рисунок 22, а) включают последовательно, а высокоомный (рисунок 22, б) – параллельно какому - либо плечу моста.

На рисунке 22, в показана схема тарировки моста с термометром сопротивления. Параллельно одному плечу моста включен тарировочный термометр сопротивления  $RT$ , а параллельно другому – термометр сопротивления  $KTX$ . Тарировочный термометр  $RT$  помещают в кипящую воду, температура которой равна  $100^\circ\text{C}$ , а термометр сопротивлением  $KTX$  находится на воздухе при температуре окружающей среды. Калибровочный сигнал, вызванный разбалансом, пропорционален разности температур кипящей воды и окружающего воздуха.

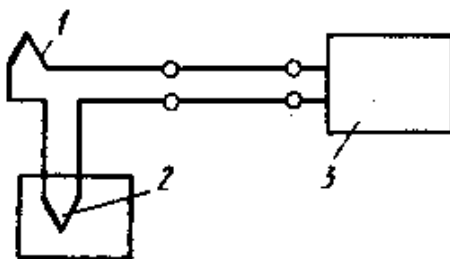


Рисунок 23 – Схема прямого подключения термопары к измерительному прибору

Температуры выше  $300 - 350^\circ\text{C}$  измеряют с помощью термопары. При нагреве спая двух проводников, выполненных из разнородных металлов, в них возникают термо - ЭДС, которая вызывает электрический ток при замыкании проводников. Сила тока, пропорциональная разности температур ( $t_1 - t_2$ ) горячего 1 и холодного 2 спаев (рисунок 23), измеряется прибором 3. Для испытаний агрегатов автомобилей рекомендуется применять хромель - копельную термопару, имеющую высокую термо - ЭДС и верхний температурный предел  $600 - 800^\circ\text{C}$ .

Рассмотрим установку термопары в нажимной диск сцепления или маховик автомобиля. Концы проволок сваривают под слоем буры, образуя металлический шарик диаметром  $1,5 - 2$  мм. В диске просверливают отверстие так, чтобы шарик входил в него с натягом  $0,1$  мм на  $0,1 - 0,2$  мм от поверхно-

сти трения. Концы электродов, выходящие из отверстия, заливают жидким стеклом, которое выдерживает температуру до  $500^{\circ}\text{C}$ .

Погрешности измерения температур посредством термопар вызваны различием материалов проводов и проводников термопары, температур концов соединительных проводов, а также изменением температуры холодного спая. Для компенсации погрешности, возникающей при изменении температуры холодного спая, последовательно с термопарой можно включить мостовую схему с термосопротивлением, которое находится в одинаковых температурных условиях с холодным спаем и при изменении его температуры компенсирует возникающую погрешность. В некоторых случаях температуру холодного спая измеряют отдельно и вносят поправку в показания термопары, однако это не совсем точно, особенно при нелинейной характеристике термопары.

Более точным является так называемый нулевой метод (рисунок 24). С помощью термостата 6 и регулятора 4 устанавливают показание прибору 9, связанного с холодным спаем 8, на нуль. По показаниям прибора 5, соединенного с холодным спаем 7, определяют термопарой 1 температуру исследуемой детали 10 в момент нулевого показания прибора 9.

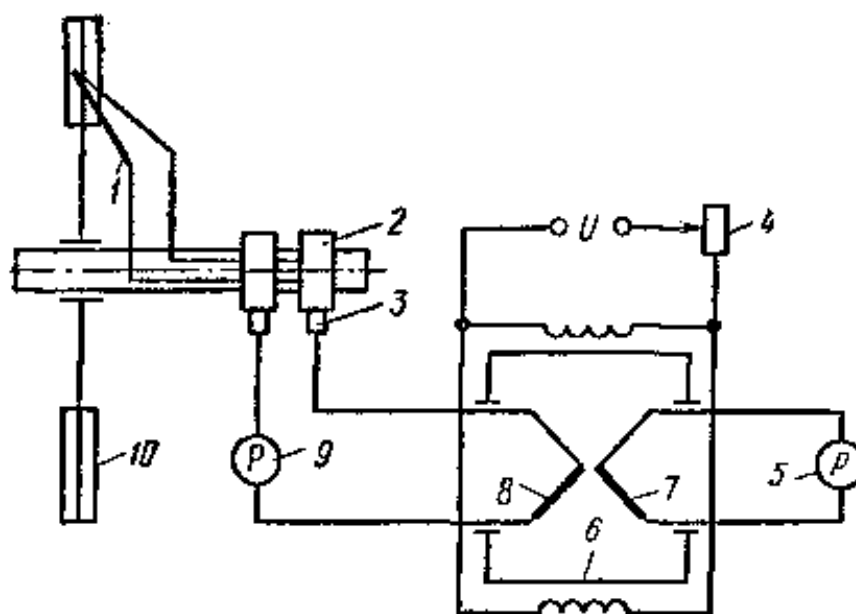
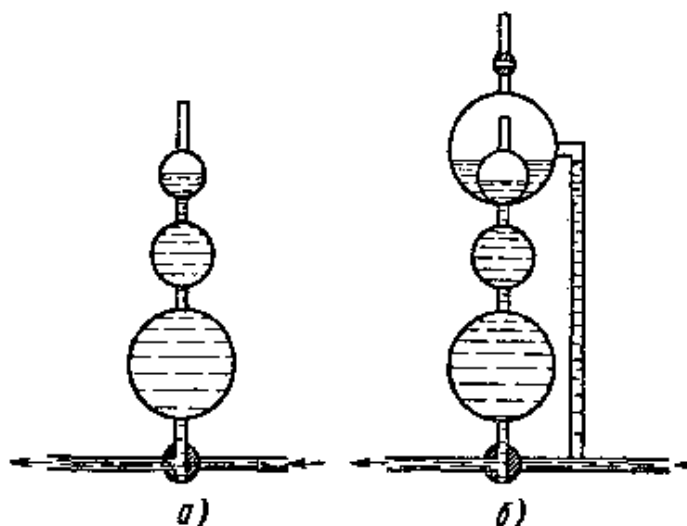


Рисунок 24 – Компенсационная схема включения термопары в измерительную цепь

При измерении температуры на вращающихся деталях используют токосъемные устройства 2 и 3. Часто применяемые контактные токосъемные устройства с сухим контактом имеют нестабильное переходное сопротивление. Для уменьшения погрешностей, вызванных этими явлениями, следует применять общие способы повышения стабильности переходного сопротивления, а также специальные схемы включения, например мостовую. При монтаже измерительной схемы или ее части следует учитывать действие центробежной силы и тщательно изолировать провода и спаи.

Измерение расхода топлива. При испытаниях автомобиля для измерения расхода топлива используют два метода: объемный и весовой. Весовой метод применяют при лабораторных испытаниях. При этом методе измеряется время израсходования некоторого количества топлива, определяемого взвешиванием. В автоматических устройствах измерения расхода топлива весовым методом время прохождения заданной массы топлива определяется электронным секундомером с помощью фотоэлектрических преобразователей, контролирующих положение весов. Заполнение прибора и управление расходом топлива производится электромагнитными клапанами. При использовании этого метода на результатах измерений не сказываются погрешности, связанные с изменением плотности топлива при изменении температуры.

Объемные методы более многообразны и находят применение как в стендовых, так и в дорожных испытаниях. Наиболее просто можно измерить расход открытым мерным цилиндром или другой емкостью, например, сферической формы (рисунок 25, а). В дорожных условиях на участке замера двигатель работает на топливе, поступающем из мерной емкости. Израсходованный объем топлива определяют по шкале мерного цилиндра или по числу сферических емкостей.



а – открытого; б – закрытого.

Рисунок 25 – Емкости для измерения расхода топлива двух типов

При наиболее простом способе включения мерного цилиндра непосредственно перед карбюратором погрешность измерения связана с уменьшением давления подачи топлива из мерной емкости (приблизительно 1 м столба топлива по сравнению с 3 - 4 м, которые создает бензонасос). Для устранения этого недостатка можно использовать дополнительный бензонасос. В случае установки мерного цилиндра между баком и топливным насосом необходимо предварительно заполнить мерный цилиндр.

Иногда применяют закрытые мерные емкости, давление в которых соответствует давлению топлива, развиваемому бензонасосом (рисунок 25, б). При использовании мерных емкостей погрешность измерения может быть связана с начальным заполнением трубопроводов и поплавковой камеры в момент включения.

Универсальными приборами для измерения расхода топлива малыми дозами являются расходомеры или топливомеры. Мерные камеры этих устройств (обычно две) попеременно наполняют топливом, которое затем поступает в систему питания двигателя. Объем камер известен, а число циклов работы определяется специальным счетчиком (например, топливомер Т 4 П - 2).

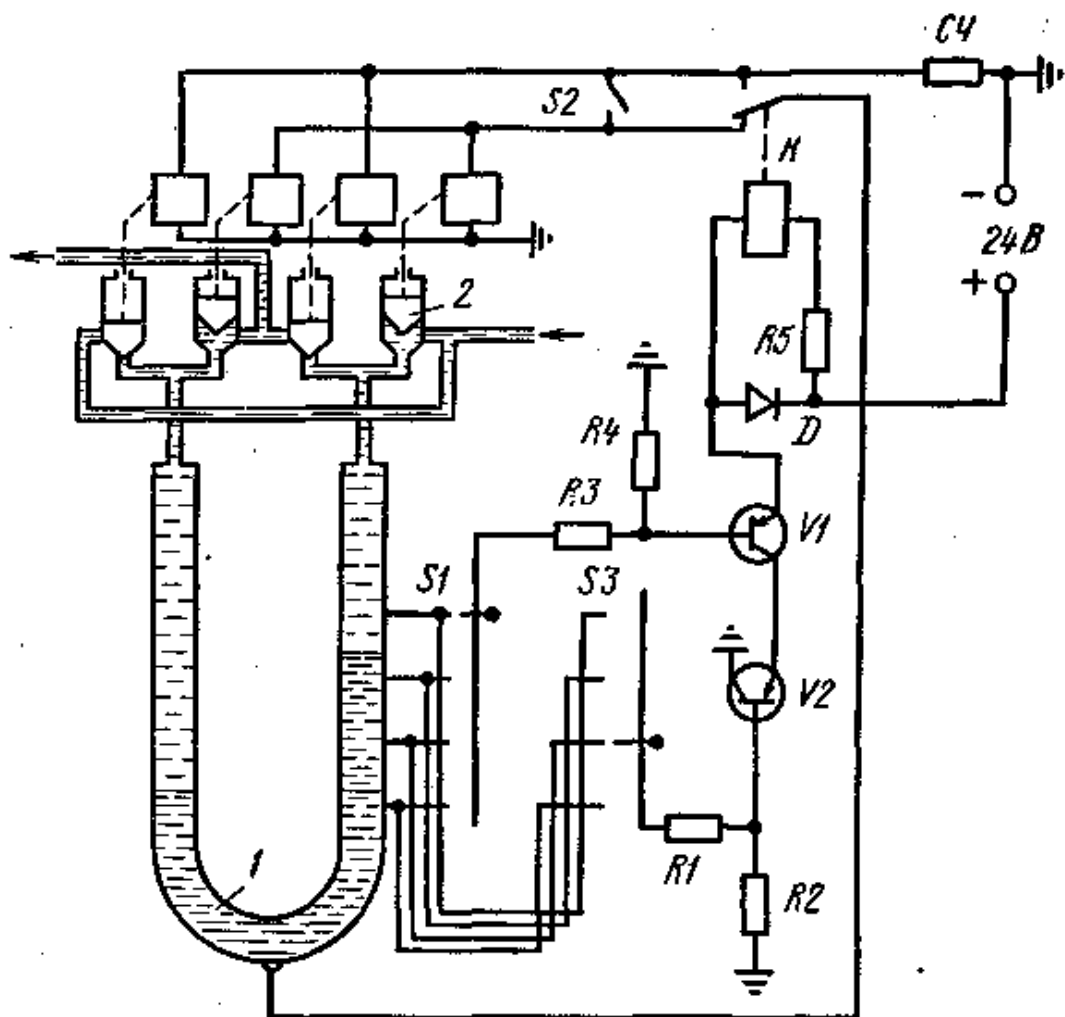
Другим видом расходомера является устройство с U - образной стеклянной трубкой, заполненной ртутью (рисунок 26). При подаче топлива в од-



ну из трубок ртуть перемещается и замыкает контакты, впаянные в стекло, что приводит к срабатыванию электрической схемы и переключению клапанов. Топливо поступает в другую трубку, а из первой выходит в карбюратор. При минимальной силе трения, которая создает гидравлическое сопротивление проходу жидкости, не снижается давление подачи топлива. Недостатком прибора следует считать повышенную токсичность ртути, значительно ограничивающую применение этого прибора. Существует диафрагменный или мембранный расходомер, работающий по тому же принципу.

Для определения мгновенных расходов используют приборы типа флоуметра и ротаметра. Флоуметр измеряет разность давлений в трубопроводе, имеющем калибровочное отверстие (жиклер). В ротаметрах поплавков, который несколько тяжелее вытесняемого объема топлива, расположен в коническом раструбе широкой стороной вверх. В узкую часть снизу поступает топливо, которое приподнимает поплавок на величину, пропорциональную расходу жидкости. Оба эти прибора имеют достаточную точность измерения установившихся процессов (при постоянной температуре).

В некоторых случаях применяют калориметрические устройства. В поток жидкости помещают деталь, которая нагревается от специального нагревателя. Интенсивность охлаждения детали зависит от расхода топлива. Для того чтобы исключить погрешность, связанную с изменением температуры самого топлива, устанавливают температурный компенсатор, который омывается медленно движущейся жидкостью.



1 – измерительная U - образная трубка; S1 – переключатель для изменения мерной дозы; 2 – клапанный механизм; S2 – тумблер для отключения мерных устройств; К - реле; СЧ - счетчик импульсов, R1 - R6 – резисторы; V1 и V2 – транзисторы; D – диод.

Рисунок 26 – Схема автоматического устройства для измерения расхода топлива малыми дозами

Турбинные измерители расхода жидкости представляют миниатюрную турбинку или крыльчатку, установленную в цилиндрический корпус, диаметр которого соответствует диаметру топливопровода. Турбинка опирается на подшипники. Частота ее вращения пропорциональна расходу жидкости и определяется с помощью импульсного преобразователя электромагнитного типа. Погрешность измерения составляет 0,5 %. Приборы ДР - 25 и ДРМ устанавливают в трубопровод диаметром соответственно 4 и 10 мм. Пределы измерения в первом случае составляют 3,5- 35 см<sup>3</sup>, а во втором 80 - 800 см<sup>3</sup> соответственно при давлении до 25,0 МПа и до 8,0 МПа, но при значительном гидравлическом сопротивлении (до 0,5 МПа).

## 6 ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

### 6.1 Определение и этапы эксперимента

**Эксперимент** – наиболее надежный метод познания, особенно в прикладных науках. Человек с незапамятных времен наблюдал явления окружающей его природы, но лишь 400 лет прошло с того времени, когда он начал экспериментировать.

Экспериментальное исследование заключается не только в пассивном наблюдении изучаемого явления, но и в активном вмешательстве в его протекание, с тем, чтобы выделить отдельные его стороны и связи, искусственно их воспроизводить в условиях, которые можно менять по желанию исследователя. В результате исследуемое явление или объект проявляются в наиболее чистом, отчетливом виде.

Эксперимент важен не только тем, что он помогает раскрывать все новые и новые закономерности в реальной действительности, но и тем, что позволяет подтвердить правильность теоретических положений, разработанных исследователем.

Проведение экспериментального исследования связано со значительными затратами труда и материальных средств, часто требует отвлечение автомобилей и других машин от нормальной эксплуатационной работы на длительное время. Поэтому чрезвычайно важно изучить методы экспериментального исследования, которые обеспечили бы существенное сокращение времени и затрат на проведение опытов. Таким требованиям отвечают **математические методы планирования эксперимента** и его анализ.

Формализация процесса эксперимента с использованием аппарата математической статистики позволяет:

- получить математическую модель эксперимента, обладающую некоторыми оптимальными свойствами, например уменьшенным числом опытов, дающих в то же время большую точность результатов;

- производить обработку результатов эксперимента наилучшими приемами и принимать решения по полученным (обработанным) результатам на основе четких формализованным правилам.

**Планирование эксперимента** – это последовательность постановки опытов и измерения переменных по некоторой заранее разработанной схеме, обладающей определенными оптимальными свойствами. Основная цель планирования – получить максимум информации при наименьших материальных и временных затратах и повышенной точности получаемых результатов.

Любой эксперимент может быть разбит на четыре основных этапа:

1 - й этап – постановка задачи эксперимента (его цель), которая вытекает из принятой рабочей гипотезы и некоторых дополнительных предположений;

2 - й этап – планирование эксперимента, т. е. определение последовательности постановки опытов и их количества;

3 - й этап – подготовка к проведению эксперимента. В этот этап входит подбор испытательного оборудования, его подготовка к работе (апробирование, калибровка), проведение опытов, проверка полученных промежуточных результатов;

4 - й этап – анализ обработанных результатов эксперимента и принятие решений на основе этого анализа.

Наглядное представление о последовательности этапов и элементов эксперимента представлены в таблице 6.

**Таблица 6 – Составные элементы эксперимента**

Этап	Составные части этапов эксперимента	Примечание
1. Постановка задачи	1. Разработка цели эксперимента	Согласно выдвинутой гипотезе
	2. Установление искомой зависимой переменной или нескольких переменных (функция $F$ )	Отклик. Параметр оптимизации $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$
	Выбор независимых переменных (факторов), варьируемых при эксперименте (аргументы $x_i$ )	
	4. Определение фиксируемых уровней (значений) для независимых переменных - уровни факторов	Диапазон или интервал варьирования

	5. Подбор сочетаний уровней факторов	Исключаются «несовместимые» уровни
2. Планирование	1. Определение необходимого числа опытов или наблюдений	
	2. Выбор типа плана эксперимента	Метод рандомизации. Ограничения на рандомизацию
	3. Разработка плана эксперимента (математическая модель и матрица планирования)	
	4. Календарный и временной план эксперимента	Длительность проведения эксперимента
3. Анализ результатов	1. Систематизация необработанных опытных данных	Сведение в табличную форму
	2. Обработка опытных данных (статистическая, аналитическая и графическая)	
	3. Вычисление статистик для проверки гипотезы	Критерий Фишера F
	4. Интерпретация результатов эксперимента	
	5. Принятие решений (выводы и рекомендации)	

## 6.2 Постановка задачи эксперимента

Постановка задачи эксперимента – это совокупность, на первый взгляд, самоочевидных работ, однако, как показал многолетний опыт, далеко не всегда выполняемых, в результате чего возникает много ошибок и неудач.

Четкая постановка задачи – это построение логической модели исследуемого объекта или явления (процесса), которая включает в себя, прежде всего ясную цель эксперимента на основе разработанной ранее рабочей гипотезы. Хорошо, четко поставить, сформулировать задачу – большой шаг не пути к ее решению, это искусство, в котором используется опыт исследователя, его предыдущее знание, его интуиция.

**Цель эксперимента.** Эксперимент может ставиться с целью идентификации или оптимизации.

Идентификация – буквально: отождествление или проверка гипотезы о соответствии данных, полученных в результате эксперимента, некоторой предполагаемой теоретической зависимости. Иными словами, эксперимент проводится с целью проверки и подтверждения результатов теоретического исследования и тех функциональных или статистических зависимостей, которые были получены в ходе эксперимента. Большинство инженерных экспериментов в технике относится к этой группе.

**Оптимизация** – поиск наилучшего решения, т. е. нахождение экспериментальным путем крайнего (максимум или минимум) значения исследуемого параметра или функции цели (параметра оптимизации, отклика). При решении задач оптимизации эксперимент обычно проводится без предварительного теоретического обоснования, поэтому его результаты являются самодовлеющими, не требующими аналитической проверки.

Цель эксперимента должна формулироваться как можно конкретнее; недопустимо ограничиваться общими фразами типа: эксперимент ставится для подтверждения результатов теоретического исследования. Следует четко оговорить в формулировке цели эксперимента, для чего он проводится (например, для планирования текущих ремонтов или для расчетов снабжения запчастями); что и как измеряется или сделать другие уточнения.

**Функция цели и независимые переменные.** Очень важно правильно выбрать зависимую переменную или несколько переменных, которые будут исследоваться. Это так называемые **функция цели**, т. е. функция, связывающая независимые варьируемые переменные **факторы** с исследуемой зависимой переменной:  $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  – независимые переменные, или аргументы.

**Факторы и их уровни.** Факторы бывают трех типов: управляющие, контролируемые и возмущающие (неконтролируемые).

**Управляющие факторы**, полученные на основе теоретического исследования или выбранные после анализа поставленной задачи, считаются

заданными, если указаны наименования (диаметр колеса или давление воздуха в шине) и количественные значения, которые они могут принимать.

Количественные значения фактора называются **уровнями фактора**.

Выбор управляющих факторов должен выполняться с учетом следующих к ним требованиям:

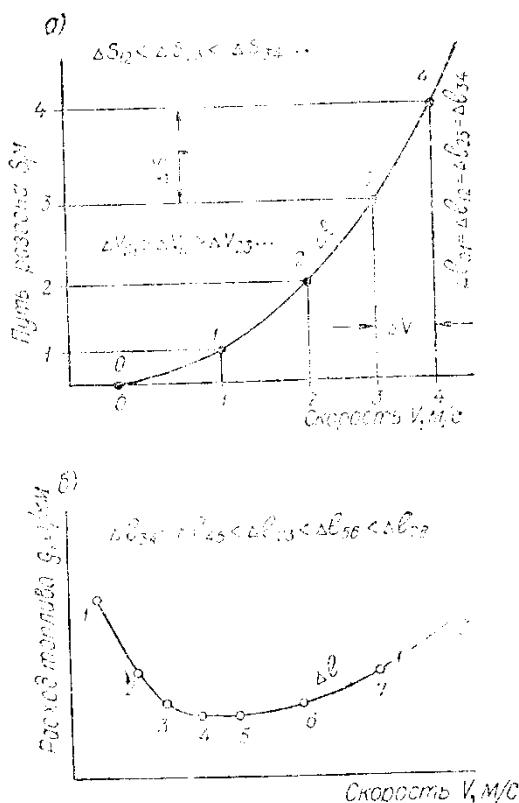
- измеримость фактора, т. е. возможность его измерения имеющими средствами измерительной техники с необходимой степенью точности;
- независимость фактора, т. е. отсутствие зависимости от других факторов;
- совместимость факторов, т. е. возможность практического осуществления намеченных комбинаций двух или нескольких факторов;
- некоррелированность факторов, так как существует положение о том, что наличие линейной корреляции между выбранными факторами не допускает планирования эксперимента.

Пределы изменения факторов определяются исходя из конкретных условий задачи эксперимента. Интервалы же варьирования должны выбираться из условий различимости, относительной точности измерений при разных значениях факторов и предполагаемого характера исследуемой функции.

Различимость заключается в том, что интервал уровней фактора должен быть меньше, чем удвоенное среднеквадратическое отклонение измерения этого фактора, так как в противном случае невозможно будет различить полученные результаты.

Относительная точность измерений в различных точках изменения фактора может быть различной. Обычно при малых значениях мощностей, скоростей движения точность измерения будет наименьшей. Это объясняется главным образом тем, что при малых нагрузках обычно велико влияние всевозможных «помех». Поэтому на участках малых нагрузок следует уменьшить величину интервала.

Характер функции влияет на величину интервала уровней фактора в том плане, что при криволинейном ее характере следует равномерно разбивать на интервалы не абсциссы и ординаты, а кривую (рисунок 27, а).



**Равномерная (а) и неравномерная (б) разбивка кривой.**

**Рисунок 27 – Выбор интервалов уровней факторов при криволинейном характере функции**

В случае же перегиба кривой в окрестностях экстремума интервал должен быть меньше (рисунок 27, б).

Указанные выше требования вызваны не тем, чтобы получить гладкую «красивую кривую», а с целью обеспечить одинаковую или почти одинаковую точность во всех ее точках.

К группе **контролируемых факторов** в научном эксперименте обычно относят факторы внешней среды, которые могут воздействовать на функцию цели.

Возмущающие факторы полностью неконтролируемы и совершенно случайны как по времени своего проявления, так и по силе влияния на функцию цели (например, неожиданные порывы сильного ветра во время испыта-



ния автомобиля на мерном участке). Чаще всего возмущающие факторы являются причиной грубых ошибок, вынуждающих исключить из опытных данных такие значения.

## 7 ТИПЫ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Под воспроизводимыми экспериментами понимают такие, в процессе которых в любой момент объект исследования и измерительное оборудование можно вернуть в исходное состояние.

подавляющее большинство экспериментов в науке и технике относится к **не воспроизводимым**. Наиболее яркий пример – исследование изнашивания деталей какого-либо узла машины при испытании ее на надежность.

**Классический план** эксперимента часто называют последовательным планом. Предположим, что функция цели зависит лишь от одного фактора. Это так называемый **однофакторный эксперимент**. Классическое планирование такого эксперимента заключается в том, что первоначально устанавливается нижнее или верхнее значение фактора, т. е. один из его предельных уровней, и затем последовательно снизу вверх, или наоборот, изменяются значения фактора скачками, согласно принятому интервалу варьирования. Такой последовательный план эксперимента чрезвычайно удобен при проведении, скажем, испытаний образца какого-либо материала в пределах упругих деформаций, когда происходит постепенное изменение нагрузки от меньших значений к большим, и наоборот. Помимо удобства последовательный план является единственно возможным, например, при испытании на трение покоя к трению скольжения и обратно.

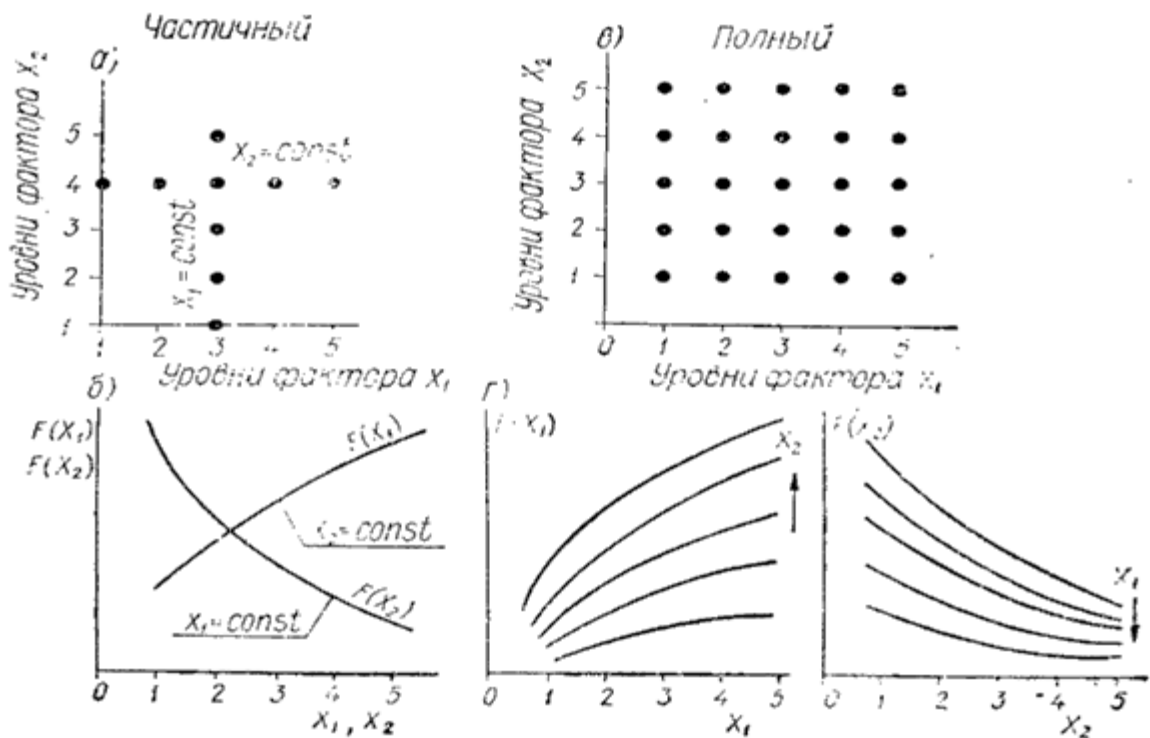
Если имеются два, три и более факторов, то эксперимент называется **многофакторным**, или **факторным**. Классическое планирование такого многофакторного эксперимента заключается в том, что все независимые переменные (факторы), участвующие в эксперименте, кроме одной, имеют постоянное и стабилизирующее значение на каком-то определенном уровне, а одна переменная изменяется во всем диапазоне своих значений с принятыми интервалами. В результате эксперимента получаем функцию цели в зависимости от одной независимой переменной  $x_i$  при постоянных уровнях переменных  $x_2, x_3$  и т. д. Затем варьируют следующий фактор, остальные стабили-

зируют, в результате получают функцию цели в зависимости от другого фактора, скажем  $x_2$  при постоянных уровнях факторов  $x_1, x_3, x_4$  и т. д.

Таким образом, классический план многофакторного эксперимента, которому уже более 200 лет, является суммой последовательных однофакторных экспериментов. Этот план может быть частичным и полным, что видно на примере двухфакторного эксперимента, в котором каждый фактор ( $x_1, x_2$ ) имеют по пять уровней (рисунок 28).

Это так называемый **сбалансированный эксперимент**, при котором каждый фактор имеет одинаковое количество уровней.

**Рандомезированный план эксперимента.** Это план, в котором уровни факторов чередуются не в строгой последовательности от нижнего или верхнего уровней, а в чисто случайном порядке.



а и б - неполного (частичного), в и г - полного.

Рисунок 28 – Классический план и графическое оформление результатов двухфакторного эксперимента

## 8 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Непосредственные результаты, полученные в эксперименте и зафиксированные в протоколах, как правило, не могут быть использованы для анализа до предварительной обработки экспериментальных данных – систематизации, выделения и расчета основных аргументов, сведения результатов в целесообразную научную форму, обеспечивающую обзорность полученных данных.

Обработка результатов эксперимента по классическому плану ведется с использованием в первую очередь методов построения графиков функциональных зависимостей типа тех, которые показаны на рисунке 5. Эти графики строятся на основе табличных данных, в которых аргументы расположены упорядоченно, в возрастающем или убывающем порядке.

Построение графиков сопровождается обычно отбрасыванием сильно отклоняющихся значений и «сглаживанием» экспериментальных кривых.

Дело в том, что почти в каждом эксперименте в табличных данных или на графиках появляется одно – два значения, резко отклоняющиеся от остальных. Обычно это результат ошибки измерения, неисправности или сбоя прибора. Существуют достаточно строгие статистические методы «выбраковки» так их значений. Укажем на упрощенный, но достаточно эффективный метод, заключающийся в том, что если отклонение превышает величину  $3\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое, то данное измерение признается браком и его следует отбросить. Следовательно, величина  $a_k$  какого либо неоднократного измерения считается браком, если

$$a_k = \bar{a} > 3\sigma,$$

где  $\bar{a}$  – среднее арифметическое, вычисленное по всем измерениям, за исключением сомнительного  $a_k$ .

Сглаживание экспериментальных кривых или их выравнивание можно производить, используя строгие статистические методы, в частности способ наименьших квадратов. Однако вычисления получаются очень громоздкими,

и обычно осуществлять сглаживание предпочитают приближенно. При определенном навыке экспериментатора такое сглаживание дает достаточно точную кривую. В целом же надо придерживаться следующего правила: сглаживающая кривая должна как можно ближе подходить к экспериментальным точкам, а для этого необходимо, чтобы сумма всех нормалей, опущенных из опытных точек на кривую, была равна нулю при условии, что нормали имеют разные знаки в зависимости от того, по какую сторону кривой они находятся. Равносильно этому правилу и такое: сумма площадей между кривой и отрезками прямых, соединяющих экспериментальные точки, должна равняться нулю (учитывая правило знаков).

На рисунке 29 представлены экспериментальные точки, соединенные отрезками прямых, проведена сглаживающая кривая, показаны нормали, опущенные на нее и площади (закрашенные), о которых говорилось выше.

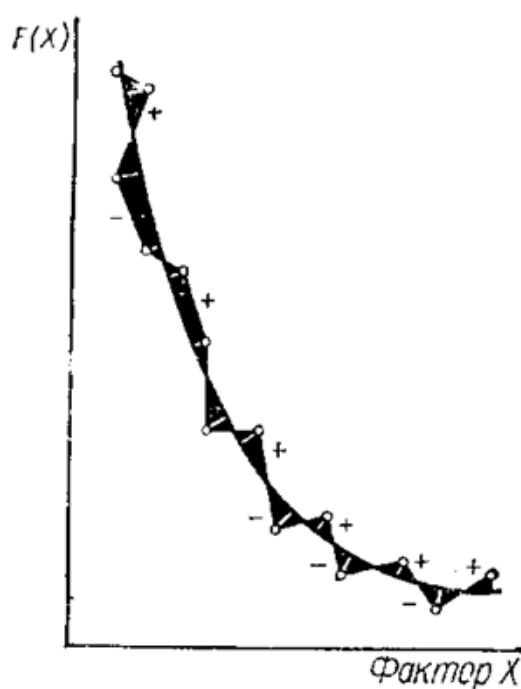


Рисунок 29 – Сглаживание экспериментальных данных

Графики и кривые на них часто используются как материал для дальнейших расчетов, поэтому с них считывают необходимые данные. Очевидно, надо так выбирать масштабы построения графиков и диаграмм, чтобы считывание не давало значительной ошибки. Во всех случаях построения графиков следует стремиться к тому, чтобы наименьшее деление шкалы графиче-

ской бумаги соответствовало вероятной ошибке измеряемой величины. Так как графики обычно строятся на миллиметровой бумаге, то деление в один миллиметр должно соответствовать ошибке.

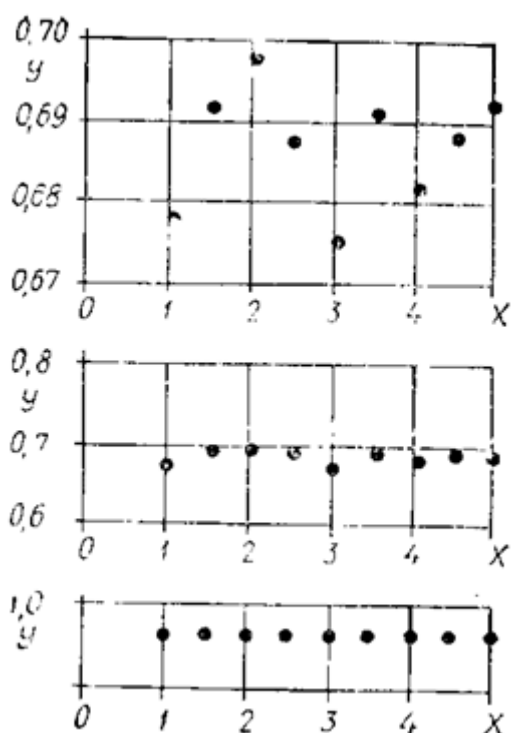


Рисунок 30 – Зависимость точности считывания с графика от его масштаба

Три масштаба, представленные на рис. 30, наглядно это иллюстрируют: вероятная ошибка в определении переменной  $y$  составляет примерно 0,001. Поэтому только средний масштаб может обеспечить необходимую точность считывания.

При обработке данных эксперимента, проводимого по классическому плану, применяют, кроме графических, статистические методы. Главным образом это методы статистической обработки большого количества данных измерений или наблюдений и вычисление статистических характеристик вариационных рядов, а также определение ошибок измерений. Особенно широко используются статистические методы при исследовании надежности тех или иных систем и агрегатов автомобилей, при исследованиях, связанных с массовыми наблюдениями в области технического обслуживания и ремонта автомобилей, и ряде других экспериментов.

Помимо статистических методов в классическом эксперименте широко используются математические методы, главным образом для вывода по экспериментальным данным **эмпирических формул**. Под последними понимается чисто математическая зависимость, описывающая конкретную экспериментальную кривую без учета физической связи между переменными. Для получения эмпирической формулы необходимо подобрать ее тип, что делается сравнением экспериментальной кривой с набором кривых по соответствующим уравнениям. Следующий этап – определение коэффициентов этих уравнений способом наименьших квадратов или менее трудоемким способом избранных точек.

Способ избранных точек заключается в том, что на сглаженной кривой намечается несколько точек по количеству коэффициентов в уравнении; значения  $x$  и  $y$ , соответствующие этим избранным точкам, подставляются в выбранное уравнение. Система полученных таким образом уравнений решается относительно искомым коэффициентов.

### **8.1 Обработка эксперимента по рандомизированному плану**

Исследователя в области эксплуатации автомобильного транспорта, как, впрочем, и в ряде других областей, интересует, прежде всего, полученные в результате эксперимента функциональные зависимости между исследуемыми величинами или хотя бы графического представления этой зависимости для частных случаев. Если при классическом эксперименте сведение его результатов к графическому образу не представляет затруднений, то результаты рандомизированного эксперимента требуют сложной обработки для получения графиков или эмпирических формул.

Таким образом, с точки зрения конечной цели эксперименты можно разбить на две группы: эксперименты с ограниченной задачей – установление степени влияния различных факторов на функцию цели и эксперименты

с полной задачей – установление функциональной связи между факторами, нахождение хотя бы эмпирической формулы для функции цели.

В зависимости от группы, к которой принадлежит рандомизированный эксперимент, применяются различные методы обработки и анализа результатов эксперимента: статистические (дисперсионный анализ) и нестатистические (детерминированные).

## **8.2 Элементы дисперсионного анализа**

Задача дисперсионного анализа – оценка влияния одного или нескольких факторов (независимых переменных) на функцию цели или отклик. Сущностью метода является сравнение показателей вариации (колеблемости), т. е. дисперсией результатов измерений, сгруппированных по каждому из факторов, с дисперсией всей совокупности результатов.

Так как план эксперимента рандомизирован, то результаты измерений или наблюдений в целом заключают в себе влияние всех управляющих факторов. Степень вариации всей совокупности результатов также зависит от влияния факторов. Если с помощью специальных методов установить «вклад» каждого фактора в общую колеблемость совокупности, то тем самым устанавливается степень влияния каждого фактора на результат.



## 9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

### 9.1 Виды информации о результатах научного исследования

Результаты любого научного исследования – всеобщее достояние. И они должны доводиться тем или иным способом до сведения общества в целом, и прежде всего до специалистов, работающих в данной области знаний.

Существуют самые разнообразные формы передачи информации специалистам. Многовековая практика выработала следующие основные формы:

- **отчет** о научно - исследовательской работе – основной научный документ, в котором излагаются исчерпывающие сведения о выполненной работе; отчет должен составляться в соответствии с требованиями ГОСТа;

- **на изобретение заявка** подается в том случае, если в процессе или результате научно - исследовательской работы автор изобрел способ или устройство, отвечающие требованиям новизны;

- **статья** в журнале, трудах института или специальном сборнике, представляющая собой сжатое изложение всей или законченной части выполненной работы с основными ее результатами и краткими выводами;

- **доклад** на научной конференции (научном семинаре, симпозиуме и т. д.) – публичное выступление, содержащее основные идеи, суть и результаты выполненного исследования;

- сообщение, обычно краткое – 5 до 10 минут, в котором сообщаются только результаты исследования и сжатые выводы, иногда предварительные;

- **обзор** (аналитический или реферативный), содержащий систематизированные данные по какой - либо теме, полученные в итоге изучения первоисточников. Аналитический обзор дает критическую оценку информации, реферативный обзор – сжатое изложение систематизированных данных без их анализа и критики;

- **реферат** как элемент научно - исследовательского отчета – сжатое изложение его основного содержания, достаточное для понимания сущности исследуемого вопроса. Реферат как самостоятельный документ: аналитический обзор какого - либо научно - технического вопроса по литературным и другим источникам;

- **автореферат** – реферат о собственной диссертации;

- **монография** – научный труд, обычно в виде книги или брошюры, в котором разрабатывается и излагается какой - либо отдельный научный вопрос или научная проблема;

- **диссертация** – самостоятельная или выполненная под руководством научно-исследовательская работа, содержащее новое решение актуальной научной задачи и публично защищаемая для получения ученой степени.

## 9.2 Структура и содержание реферата и отчета

Любой информационный материал по научно-исследовательской работе, будь то статья, краткое сообщение, реферат или отчет, должен отвечать определенным требованиям:

- **композиция** (построение) должна быть четкой; изложение (письменное или устное) - логически последовательным;

- **аргументация**, выдвигаемая автором в защиту своих гипотез и предположений, должна быть убедительной, обоснованной;

- **формулировки** новых положений должны быть точными, не допускающими неоднозначного толкования и максимально краткими;

- **результаты** работы должны быть изложены, возможно более конкретно, с четким выделением новизны в отдельных результатах;

- **выводы** должны быть доказательными, изложены кратко и четко; в выводах не должно быть ничего общеизвестного;

- **рекомендации** научного и прикладного характера должны быть обоснованными и реалистичными.

**Реферат** как самостоятельный научный документ должен иметь титульный лист, краткое введение, основную часть (т. е. аналитический обзор), заключение (выводы), список использованных материалов. Если в этом есть необходимость, в реферате могут быть приложения.

Введение посвящается актуальности намеченного исследования, обычно отдельного вопроса, его месту в решении общей темы или проблемы. Во введении также указывается на те особенности изложения, которые приняты автором, например порядок изложения или группировки анализируемого материала и т. п.

Основная часть (или аналитический обзор) заключается в кратком описании выполненного автором первоисточника исследования в интересующей автора реферата области и анализе опубликованных материалов. Опыт показал, что если первая – описательная часть в реферате всегда присутствует, то вторая – аналитическая опускается, отчего вместо аналитического обзора получается перечень того, кто и как сделал.

Анализируемый материал целесообразно излагать в хронологическом порядке, так как при этом вскрывается характер развития знаний в данной области.

Анализ первоисточника должен проводиться примерно в такой последовательности:

- выявляются достоинства и недостатки рабочей гипотезы автора первоисточника;
- анализируется математическая модель, допущения и ограничения, принятые автором, теоретические результаты и их оценка;
- разбирается методика эксперимента, условия его проведения, планирование, экспериментальное оборудование, его соответствие современным требованиям, точность эксперимента и общая его оценка;
- анализируются выводы и рекомендации автора первоисточника.

После анализа отдельных источников следует сопоставить исходные положения, методы, результаты и выводы различных авторов, дать общую

оценку состояния исследуемого вопроса, сформулировать свою точку зрения и сделать заключительный вывод о том, что осталось неясным или недоработанным в данном вопросе, какие положения авторов анализируемых материалов необходимо проверить, в каком направлении следует вести дальнейшие исследования.

Заключение содержит в себе краткое изложение выводов, вытекающих из анализа вопроса, и формулировку задач дальнейшего исследования.

Список литературы должен содержать все источники, использованные при составлении реферата, расположенные под номерами в алфавитном порядке. В тексте реферата на каждый источник дается ссылка в виде номера в квадратных скобках.

Весь вспомогательный материал включается в приложения. В реферате приложения не обязательны. Общий объем реферата не должен превышать 15 страниц рукописного текста.

### **9.3 Научный язык**

Основное требование к языку научной работы, будь то отчет, доклад или статья – законченность высказывания с соблюдением законов логики. Действительно содержание любой научной рукописи или печатного текста составляет логика рассуждений автора. Поэтому стиль научной работы должен быть, прежде всего, ясным, четким, конкретным.

Одна из главных причин стилистических ошибок – не оправданное стремление к наукообразности, к высокопарному, неестественному построению фраз, которые кажутся автору признаком научности, а на самом деле выдают его неумение писать.

Стиль научной речи (устной или письменной) - это как бы безличный монолог. Поэтому в большинстве случаев изложение должно вестись от третьего лица. Ведь все внимание читателя или слушателя научной работы со-

средоточено на ее содержании и логической последовательности изложения, а не на личности автора.

Существует написанное правило (его иногда называют академическим этикетом): в научной публикации, отчете, статье, книге употреблять местоимение 1 - го лица множественного числа мы. Этим как бы подчеркивается коллективность творчества, так как за автором работы часто стоят сотрудники, лаборатория, а иногда и целый институт. Однако многократное повторение местоимения мы может производить и неприятное, даже раздражающее впечатление. Поэтому чаще в научных публикациях прибегают к неопределенно - личным предложениям, например: «Автомобиль устанавливают на стенд и закрепляют специальным захватом».

В устной речи (в докладе) употребляют местоимение я, что, видимо, связано с тем, что в устах конкретного лица местоимение мы звучало бы нескромно. Кроме того, местоимение я следует употреблять в устной и письменной полемике, дискуссии, так как этим подчеркивается, что защищаемое мнение принадлежит именно его автору.

Очень важен вопрос о терминах. Под термином понимается слово или словосочетание, которое точно обозначает понятие или явление, применяемое в науке и технике.

Важно, чтобы в тексте не было синонимов типа путь и дорога, профессионализмом типа баранка, тавтологий типа эффект действия и т. д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдин, А. П. Основы научных исследований : учебник / А. П. Болдин, В. А. Максимов. – М. : Академия, 2012. – 336 с.
2. Бурлюк, Геннадий Петрович. НИР в аграрном вузе / Г. П. Бурлюк, З. И. Усанова, А. А. Ходырев ; под ред. З. И. Усановой, 2005. - 153 с.
3. Герасимов Б.И. [и др.] Основы научных исследований: учебное пособие – М.: ФОРУМ:М.: ИНФРА-М, 2015
4. Ковриков, Иван Тимофеевич. Основы научных исследований : учеб. для вузов / И. Т. Ковриков, 1999. - 205 с.
5. Кузнецов, И. Н. Основы научных исследований: Учеб. пособие / И. Н. Кузнецов. – М. : Дашков и Ко, 2013. – 283 с.
6. Кукушкина В.В. Организация научно - исследовательской работы студентов (магистров) : учебное пособие - М.: ИНФРА-М, 2015
7. Ли Р.И. Основы научных исследований [Электронный учебник] : учеб. пособие , 2013. - 195 с. - Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/233244>
8. Основы научных исследований [Text] : учебник для технических вузов / В. И. Крутов [и др.] ; под ред.: В. И. Крутова, В. В. Попова. - М. : Высшая школа, 1989. - 400 с.
9. Основы научных исследований : учеб. пособие для высш. и сред. спец. учеб. заведений : допущено Советом Учеб. - метод. об-ния / Б. И. Герасимов [и др.], 2013. - 269 с.
10. Рыжков, Игорь Борисович. Основы научных исследований и изобретательства : учеб. пособие для вузов : рек. УМО / И. Б. Рыжков, 2012. - 222 с.
11. Основы научных исследований : учеб. пособие / Ф. В. Гречников, В. Р. Каргин. – Самара : Изд-во СГАУ, 2015. – 111 с.
12. Основы инженерного творчества : учебник / [В. П. Горелов и др.]; под ред. В. П. Горелова. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2011. – 466 с. 5

13. Рыжков. И.Б. Основы научных исследований и изобретательства: учебное пособие – СПб.: Лань, 2013

14. . Столяров А.М. Методологические основы изобретательского творчества. – М. : ВНИИПИ, 1989.

15. Юдин, Михаил Иванович. Планирование эксперимента и обработка его результатов :моногр. / М. И. Юдин, 2004. - 239 с.

Степанов Николай Васильевич

**ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Молодежный, 2020

Учебное пособие  
для студентов инженерного факультета  
направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация  
транспортно - технологических машин и комплексов,  
35.03.06 Агроинженерия