

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА  
ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКИ  
КАФЕДРА ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И  
ТЕХНОЛОГИЙ

Методические рекомендации  
по выполнению лабораторных работ по дисциплине

Основы расчета и потребительские свойства  
автомобилей модуль

Направление подготовки и направленность (профиль):  
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических  
машин и комплексов.

Организация транспортного обслуживания  
Очная и заочная форма обучения

Составитель

Пресняков В.А. к.т.н., доцент, [vladimir.presnyakov@vvsu.ru](mailto:vladimir.presnyakov@vvsu.ru)

Утверждена на заседании кафедры транспортных  
процессов и технологий от 21.04.2020 , протокол № 9

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Основы расчета и потребительские свойства автомобилей предназначено для студентов» 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Организация транспортного обслуживания

Очная и заочная заочная форма обучения

Составил: В.А.Пресняков.

© Издательство Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 2020 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Будущий инженер-автомобилист должен иметь представление о состоянии и тенденциях развития как автомобилестроения в целом, так и отдельных конструкций автомобилей, уметь оценивать эксплуатационные свойства на основе анализа конструкций моделей автомобилей. Определять нагруженность отдельных элементов, с тем, чтобы прогнозировать их надежность, владеть современными методиками выбора и оптимизации параметров подвижного состава; а также проводить испытания автомобилей и объективно оценивать их результаты.

В связи с этим целью лабораторных работ является закрепление студентами специальности 23.03.03 теоретических знаний и приобретение практических навыков в области анализа и оценки потребительских свойств различных автомобилей.

Для достижения поставленной цели в ходе выполнения лабораторных работ студенты должны решить следующие задачи:

- ☞ рассмотреть физические процессы, формирующие соответствующее потребительское свойство;
- ☞ освоить методы экспериментального определения основных оценочных показателей изучаемого потребительского свойства;
- ☞ проанализировать влияние на оценочные показатели конструктивных и эксплуатационных факторов.

## УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Определение тормозных и скоростных свойств, топливной экономичности, управляемости, маневренности и других эксплуатационных свойств проводится при полной нагрузке автомобиля.

Подготовка автомобиля и оборудования к проведению лабораторных работ по дорожным испытаниям осуществляется инженерно-вспомогательным персоналом кафедры Студенты участвуют в:

- ☞ проведении опытов;
- ☞ обработке результатов;
- ☞ оформлении отчета по испытаниям.

## ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ АВТОМОБИЛЯ

Автомобиль должен находиться в технически исправном состоянии. Перед началом испытаний выполняют регулировки:

- ☞ системы питания;
- ☞ системы зажигания;
- ☞ механизма газораспределения;
- ☞ подшипников ступиц колес;
- ☞ элементов тормозной системы;
- ☞ углов установки управляемых колес.

В соответствии с технической документацией на автомобиль:

- ☞ устанавливается давление в шинах;
- ☞ заливается в бак топливо (соответствующей марки);
- ☞ применяются смазочные материалы. Окна и вентиляционные люки в кабине водителя должны быть закрыты
- ☞ При проведении испытаний тепловые режимы двигателя, элементов трансмиссии, тормозных механизмов должны быть в пределах, предусмотренных технической документацией на автомобиль.

## ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ

В период проведения дорожных испытаний должны строго соблюдаться правила обеспечения безопасности студентов и обслуживающего персонала.

- ☞ В начале занятий преподавателем проводится инструктаж студентов и учебно-вспомогательного персонала.
- ☞ Перед каждым контрольным заездом руководитель испытаний проверяет работу механизмов и систем автомобиля, обеспечивающих безопасность дорожного движения.
- ☞ Перед проведением испытаний необходимо ознакомиться с программой и дорожными условиями на мерных участках.
- ☞ Для отработки режимов испытаний проводятся предварительные заезды

Студенты ОБЯЗАНЫ:

- ☞ строго соблюдать дисциплину;
- ☞ быть внимательными и не заниматься посторонними делами;
- ☞ беспрекословно выполнять указания руководителя испытаний;
- ☞ не выходить на проезжую часть дороги;
- ☞ испытания проводить только в присутствии преподавателя или руководителя испытаний.

Число студентов, находящихся в испытываемом автомобиле, должно соответствовать количеству мест в нем.

Во время проведения испытаний:

- ☞ под ветровым стеклом испытываемого автомобиля устанавливается табличка «Осторожно, испытания!»;
- ☞ у испытываемого автомобиля должен быть включен ближний свет фар;
- ☞ максимальная скорость при учебных дорожных испытаниях не должна превышать 60 км/ч (по сухой дороге с асфальтобетонным покрытием).

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ТАРИРОВКА СПИДОМЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЕМИСТОСТИ АВТОМОБИЛЯ

**Цель работы:** познакомиться с экспериментальными способами определения радиуса качения колеса; произвести тарировку спидометра автомобиля. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1 экспериментально определить величину динамического и кинематического радиусов колеса автомобиля;
2. произвести тарировку спидометра;
3. обработать и обобщить результаты опытов.

**Используемое оборудование и инструмент:** автомобиль; металлическая рулетка (10 метров и более); секундомер; мел; контрольные вешки.

**Общие сведения.** Радиусами эластичного колеса условно называют параметры, имеющие размерность длины, входящие в формулы для определения кинематических и динамических величин, характеризующих процесс качения.

*Свободный радиус  $r_c$*  - половина диаметра наибольшего сечения беговой дорожки колеса не нагруженного внешними силами плоскостью перпендикулярной оси его вращения при отсутствии контакта колеса с опорной поверхностью. Точку, принадлежащую этому сечению, и оси вращения называют центром колеса.

*Статический радиус  $r_{cm}$*  - расстояние от центра неподвижного колеса, нагруженного только нормальной силой до опорной поверхности (дороги).

*Динамический радиус  $r_d$*  - расстояние от центра катящегося колеса до опорной поверхности (дороги).

Радиус качения колеса  $r_k$  - (кинематический радиус) отношение продольной составляющей поступательной скорости колеса  $V_k$  к его угловой скорости  $\omega_k$ . ( $r_k = V_k / \omega_k$ )

Радиусы одного и того же колеса изменяются в зависимости от нагрузки на колесо и давления воздуха в шине. Динамический радиус, кроме того, несколько увеличивается с увеличением частоты вращения колеса. В большей степени от этих параметров зависит кинематический радиус. С ростом крутящего момента он уменьшается, с ростом тормозного момента - увеличивается. При полном буксовании колеса  $r_k = 0$ ; при полном скольжении (юз)  $r_k = \infty$ .

Значения статического радиуса при максимально допустимой нагрузке стандартизированы. Приблизительно значение  $r_{cm}$  можно определить по маркировке шин

$$r_{cm} = 0,5d + \Delta\lambda_{cm}B, \quad (1.1)$$

где  $d$  - посадочный диаметр обода, мм;  $\Delta = H/B$ ,  $H$  и  $B$  - высота и ширина профиля шины, мм;  $\lambda_{cm}$  - коэффициент учитывающий смятие шины под нагрузкой.

При нагрузке и внутреннем давлении воздуха указанных в стандартах для шин грузовых автомобилей и автобусов  $H/B \approx 1$ . Для легковых автомобилей, если шины имеют дюймовое обозначение,  $H/B \approx 0,95$ , если смешанное (миллиметрово-дюймовое)  $H/B = 0,8 \dots 0,85$ . У радиальных шин легковых автомобилей в обозначение введен индекс, соответствующий отношению  $H/B$ . Например у шины 205/70R14  $H/B = 0,7$ .

Для шин грузовых автомобилей и автобусов и диагональных шин легковых автомобилей  $\lambda_{cm} = 0,85 \dots 0,9$ , для радиальных шин легковых автомобилей  $\lambda_{cm} = 0,8 \dots 0,85$ .

На дорогах с твердым покрытием можно считать  $r_0 = r_{cm}$ . Радиус  $r_k$  определяют опытным путем.

## Порядок выполнения работы

**1. Определение динамического радиуса колеса.** Работа проводится на ровной площадке с сухим асфальтобетонным покрытием. Величину динамического радиуса колеса можно определить в следующем порядке:

- ☞ на протекторе шины переднего и заднего колеса нанести мелом ровные полосы;
- ☞ прокатить автомобиль по площадке со скоростью 2-3 км/ч для получения 8...10 пар отпечатков меловой полосы на дорожном покрытии;
- ☞ измерить рулеткой расстояния между крайними отпечатками колес  $S$ , м;
- ☞ по числу отпечатков определить число оборотов колес  $n_k$ ;
- ☞ повторить опыт с одним, двумя, тремя и четырьмя пассажирами;
- ☞ результаты измерений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1.

№ опыта	Количество пассажиров	Вес автомобиля $G_a$ , Н	Передние колеса		Задние колеса	
			$S$ , м	$n_k$	$S$ , м	$n_k$
1	Один водитель					
2	Водитель и пассажир					
3	Водитель и два пассажира					
4	Водитель и три пассажира					
5	Водитель и 4 пассажира					

**2. Определение величины кинематического радиуса колеса и тарировка спидометра автомобиля.**

- ☞ на дороге разметить мерный участок длиной  $S_m$ , начало и конец участка обозначить контрольными вешками;
- ☞ автомобиль до въезда на мерный участок разогнать до постоянной скорости движения, кратной 10 км/ч;
- ☞ при пересечении автомобилем контрольной вешки начала мерного участка; включить секундомер
- ☞ при пересечении контрольной вешки конца мерного участка секундомер выключить;
- ☞ подсчитать число оборотов колес за время прохождения мерного участка;
- ☞ повторить опыты при движении автомобиля в прямом и обратном направлении при скоростях движения от 20 до 60 км/ч;
- ☞ результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

Скорость по спидометру км/ч	Пройденный путь, м	Время $t$ , с	Число оборотов передних колес	Число оборотов задних колес
20	$S_m$			
30	$S_m$			
40	$S_m$			
50	$S_m$			
60	$S_m$			

### Обработка результатов измерений.

Определить по формуле 1 свободный и статический радиусы колеса. Динамический радиус, используя опытные данные таблицы 1.1., можно определить:

$$r_d = S / (2\pi n_k), \quad (1.2)$$

где  $S/n_k$  – путь пройденный колесом за один оборот.

По результатам расчета построить графики зависимости динамических радиусов передних и задних колес, от полного веса автомобиля  $r_d = f(G_a)$ .

Действительную скорость движения автомобиля (м/с) определить по формуле:

$$V = S_M / t, \quad (1.3)$$

где  $t$  среднее значение времени прохождения автомобилем мерного участка протяженностью  $S_M$  в прямом и обратном направлении при каждом значении скорости.

По результатам расчета строится график зависимости скорости по показаниям спидометра от действительной скорости движения  $V_{cn} = f(V)$ .

Кинематический радиус колеса определяют по формуле:

$$r_k = 30V / \pi n_k. \quad (1.4)$$

По результатам расчетов строится график зависимости кинематического радиуса от скорости движения  $r_k = f(V)$ .

В заключение работы делаются выводы, в которых отражаются выполнение цели работы и основные полученные результаты.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что такое радиус эластичного колеса?
2. Что такое свободный радиус колеса?
3. Как определить величину свободного радиуса колеса?
4. Что такое статический радиус колеса, и от каких параметров он зависит?
5. Что такое динамический радиус колеса?
6. Что такое кинематический радиус колеса?
7. Как численно определить статический радиус колеса?
8. От чего зависит и как определяется динамический радиус колеса?
9. От чего зависит и как определяется кинематический радиус колеса?

10. Для чего и каким образом производится тарировка спидометра автомобиля?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ АВТОМОБИЛЯ

**Цель работы:** познакомиться с методикой и определить экспериментальным путем величину коэффициента сопротивления качению автомобиля и его зависимость от эксплуатационных факторов.

**Используемое оборудование и инструмент:** испытуемый автомобиль; автомобиль-тягач; стрелочный динамометр или динамограф, манометр шинный; автомобильный насос.

**Общие сведения.** Условную количественную характеристику, равную отношению силы сопротивления качения колеса к нормальной реакции опорной поверхности  $f = P_f / R_z$ , называют *коэффициентом сопротивления качению колеса*.

$$f = a_{ш} / r_{\partial} + M(r_{\partial} - r_k) / R_z r_k r_{\partial} = f_c + f_k, \quad (2.1)$$

где  $f_c = a_{ш} / r_{\partial}$  – составляющая коэффициента сопротивления качению, характеризующая силовые потери, связанные с тем, что при качении колеса возникает смещение нормальной реакции, вызывающее возникновение момента, направленного в сторону, противоположную качению колеса;  $f_k = M(r_{\partial} - r_k) / R_z r_k r_{\partial}$  – составляющая коэффициента сопротивления качению, характеризующая кинематические потери, связанные с тем, что при передаче тягового момента происходит уменьшение радиуса качения и в результате этого уменьшение скорости движения автомобиля при неизменной угловой скорости колеса.

Поскольку формула (2.1) получена для случая равномерного качения колеса, то входящий в нее момент  $M$  полностью участвует в деформациях шины, вызывающих потери на качение, которые определяет второй член правой части. При ускоренном движении часть подведен-

ного к колесу момента расходуется на увеличении кинетической энергии колеса и не участвует в деформациях его шины. В этом случае в формуле (2.1) вместо  $M$  нужно подставить  $M - J_k d\omega_k/dt$ .

### Порядок выполнения работы

Соединить испытуемый автомобиль сцепкой через динамометр с автомобилем-тягачом (или лебедкой). Буксировать испытуемый автомобиль равномерно без рывков, замеряя показания динамометра. Повторить опыт не менее трех-пяти раз.

Для того чтобы установить зависимость коэффициента сопротивления качению от давления воздуха в шинах и от нагрузки необходимо:

- ☞ повторить опыт, изменяя давление в шинах в пределах 50...110 % от рекомендуемого инструкцией по эксплуатации;
- ☞ повторить опыт, изменяя нагрузку.

Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

№ опыта	Вес автомобиля Н	Давление воздуха в шинах, мПа	Показания - динамометра, Н	Коэффициент сопротивления качению
1	2	3	4	5

### Обработка результатов измерений.

Рассчитать значения коэффициента сопротивления качению при различных давлениях в шинах и нагрузках по формуле

$$f = P_{\delta} / G_a, \quad (2.2)$$

где  $P_{\delta}$  - показания динамометра;  $G_a$  – вес автомобиля.

Результаты вычислений занести в таблицу 2.1, по результатам расчетов построить графики зависимости коэффициента сопротивления качению от давления воздуха в шинах и нагрузки. По результатам лабора-

торной работы пишется резюме, в котором полученные значения коэффициента сопротивления качению сравниваются со справочными.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что называется коэффициентом сопротивления качению колеса?
2. Что характеризует силовая составляющая коэффициента сопротивления качению?
3. Что характеризует кинематическая составляющая коэффициента сопротивления качению?
4. Как изменится величина коэффициента сопротивления качению при разгоне автомобиля?
5. От каких эксплуатационных факторов зависит величина коэффициента сопротивления качению?
6. В какой последовательности производится экспериментальное определение коэффициента сопротивления качению?
7. Как зависит коэффициент сопротивления качению от давления воздуха в шинах?
8. Как зависит коэффициент сопротивления качению от нагрузки на колеса автомобиля?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕС С ДОРОВОЙ**

**Цель работы:** изучить методику и определения экспериментальным путем коэффициента сцепления движителя автомобиля с опорной поверхностью в зависимости от эксплуатационных факторов.

**Используемое оборудование и инструмент:** испытуемый автомобиль; автомобиль-тягач; стрелочный динамометр или динамограф, манометр шинный; автомобильный насос.

**Общие сведения.** Сцепление шин с дорогой имеет первостепенное значение для реализации тягово-сцепных, тормозных свойств автомобиля и безопасности движения. Именно сцеплением колеса с дорогой ограничивается возможность интенсивного разгона, торможения и устойчивого движения автомобиля без продольного и поперечного скольжения. Сцепление колеса с дорогой характеризуется величиной коэффициента сцепления.

Недостаточная величина коэффициента сцепления является причиной значительного числа дорожно-транспортных происшествий. Число ДТП по этой причине, согласно статистике, составляет в среднем 16%, а в неблагоприятные периоды года до 70% общего числа происшествий. Установлено, что для обеспечения безопасного движения величина коэффициента сцепления  $\varphi_x$  не должна быть меньше 0,4.

*Коэффициентом продольного сцепления* колеса с опорной поверхностью численно равен отношению максимальной продольной реакции к нормальной реакции дороги  $\varphi_x = R_{x,max} / R_z$ .

Коэффициент продольного сцепления на дорогах с твердым покрытием в общем случае определяется совокупностью коэффициентов трения покоя и скольжения с различными скоростями в различных точках контакта. При полном скольжении или буксовании коэффициент сцепления является коэффициентом трения скольжения.

Коэффициент  $\varphi_x$  определяют опытным путем. К эксплуатационным факторам, влияющим на коэффициент сцепления, относятся: тип и состояние дороги, износ протектора, давление воздуха в шине, нормальная нагрузка на колесо.

### **Порядок выполнения работы**

Соединить испытуемый автомобиль сцепкой через динамометр с автомобилем-тягачом (или лебедкой). Заблокировать колеса испытуемого автомобиля рабочей и стояночной тормозными системами. Букси-

ровать испытуемый автомобиль (при 100% скольжении колес) равномерно без рывков, замеряя показания динамометра. Повторить опыт не менее трех-пяти раз.

Для того чтобы установить зависимость коэффициента сцепления от состояния дорожного полотна необходимо полить водой дорожное покрытие и повторить опыты.

Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений

№ опыта	Повторность	Нагрузка на колеса	Показания динамометра	Примечание
1	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
2	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

### Обработка результатов измерений.

Рассчитать и занести в таблицу 3.2 значения коэффициента сцепления при различных давлениях в шинах и нагрузках по формуле

$$\varphi = P_d / G_a, \quad (3.1)$$

где  $P_d$  - показания динамометра;  $G_a$  – вес автомобиля.

Рассчитать среднее арифметическое значение коэффициента сцепления для каждого опыта

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}, \quad (3.2)$$

где  $n$  - число измерений в опыте.

Установить отклонение значения коэффициента сцепления от среднего для каждого опыта

$$x = \bar{\varphi} - \varphi_i. \quad (3.3)$$

Величина рассеивания опытных значений вокруг их среднего характеризуется эмпирической дисперсией, равной

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\varphi} - \varphi_i)^2. \quad (3.4)$$

Погрешность опыта показывает величина  $s = \sqrt{s^2}$ , которая называется выборочным средним квадратическим (стандартным) отклонением. Стандартное отклонение характеризует показатель варьирования коэффициента сцепления. Оценка истинного значения коэффициента сцепления определится из выражения

$$\varphi = \bar{\varphi} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} t_p, \quad (3.5)$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности  $p$  (принимается по таблице 3 приложения).

Результаты вычислений занести в таблицу 3.2, сравнить со справочными данными и сделать выводы.

### **Контрольные вопросы.**

1. На какие потребительские свойства оказывает влияние сцепление колес с дорогой?
2. Чему численно равен коэффициент продольного сцепления колес с опорной поверхностью?
3. Чем определяется коэффициент продольного сцепления колес с опорной поверхностью?
4. Чему равен коэффициент продольного сцепления колес с опорной поверхностью при полном буксовании колес?

5. Какие эксплуатационные факторы влияют на величину коэффициента продольного сцепления колес с опорной поверхностью?
6. Как можно определить величину коэффициента продольного сцепления колес с опорной поверхностью экспериментальным путем?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС АВТОМОБИЛЯ

**Цель работы:** научиться экспериментально определять координаты центра масс автомобиля.

**Используемое оборудование:** испытуемый автомобиль; стрелочный динамометр, металлическая рулетка, отвес, мел.

**Общие сведения.** Положение центра масс по длине определяется у двухосного автомобиля расстояниями  $a$  и  $b$  до геометрических осей вращения соответственно переднего и заднего мостов. Эти оси будем называть передней и задней осями автомобиля. У трехосного автомобиля  $b$  - расстояние от центра масс до оси балансира задней тележки. Расстояние  $a+b=L$  называют базой автомобиля. Значения  $a$  и  $b$  могут быть найдены для каждого автомобиля по данным технической характеристики. Там же приводится высота расположения центра масс  $h_c$ .

Положение центра масс можно определить и экспериментально при помощи тали и крановых весов.

#### **Порядок выполнения работы.**

Расстояние  $b$  определяют из уравнения моментов относительно точки опоры  $O$  при горизонтальном расположении автомобиля, подвешенного за переднюю часть

$$b = P_1 L_1 / G \quad (4.1)$$

где  $P_1$  – показания динамометра;  $G$  – вес автомобиля;  $L_1$  – расстояние по горизонтали между проекциями на опорную поверхность точки опоры и точки подвеса.

Для определения вертикальной координаты центра масс  $h_c$  переднюю часть автомобиля поднимают на некоторую высоту. Угол подъема очень малым выбирать не следует, так как при этом снижается точность измерений. Координату  $h_c$  определяют из уравнения моментов относительно точки  $C$  пересечения перпендикуляра  $OC$  к опорной поверхности, проходящего через точку опоры, и линии, проходящей через точку подвески параллельно опорной поверхности.

$$bG\cos\alpha - h_1G\sin\alpha = L_1P_2\cos\alpha, \quad (4.2)$$

откуда

$$h_1 = \operatorname{ctg}\alpha(b - P_2L_1/G) \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  - угол подъема автомобиля над горизонтальной плоскостью,  $\operatorname{ctg}\alpha = L_2/h_{\text{под}}$ ;  $P_2$  - показания динамометра;  $L_2$  - расстояние по горизонтали между проекциями на опорную поверхность точки опоры и точки подвеса;  $h_1$  - проекция расстояния от центра тяжести до точки подвеса на плоскость перпендикулярную плоскости движения.

Координату  $h_c$  определяем из равенства

$$h_c = h_1 + h_2 \quad (4.4)$$

где  $h_2$  - расстояние от точки подвеса до опорной поверхности.

Третью координату центра масс  $e$  определяют по весу, приходящемуся на опору  $D$  каждой из сторон, по уравнению моментов относительно точки опоры  $D$ :

$$P_3B = G(0,5B - e),$$

откуда

$$e = (0,5G - P_3)B/G. \quad (4.5)$$

### Обработка результатов измерений.

Определение критического угла боковой устойчивости. Боковая устойчивость автомобиля характеризуется предельным углом уклона, при котором автомобиль может не опрокидываясь и не сползая вбок стоять на твердой дороге или двигаться прямолинейно без разгона и замедления. Стоящий на уклоне автомобиль начнет опрокидываться, когда направление силы тяжести совпадет с проекцией линии соединяющей центр масс с внешней кромкой колеса на плоскость перпендикулярную плоскости движения автомобиля. Критический угол боковой устойчивости определится по формуле

$$\alpha_y = \arctg(B/2h_c). \quad (4.6)$$

Конструктивный параметр  $B/(2h_c) = \eta_{ny}$  называется коэффициентом поперечной устойчивости.

Если центр масс автомобиля расположен несимметрично в поперечном направлении, угол опрокидывания определяется относительно кромки опорной поверхности расположенной ближе к центру масс. Изменение положения центра масс при наклоне автомобиля за счет сжатия упругих элементов подвески не учитываются. Пренебрегают также и смятием шины.

Более точное значение величины критического угла боковой устойчивости по условию опрокидывания можно получить экспериментально. Для этого необходимо поднимать автомобиль за одну сторону до момента начала опрокидывания. От полного опрокидывания автомобиль предохраняют страховочным тросом.

Продольная устойчивость автомобиля характеризуется критическим углом подъема  $\alpha_n$ , при котором заторможенный автомобиль может стоять не опрокидываясь и не сползая. Величину критического значения угла продольной устойчивости по условиям опрокидывания определяют также как и величину угла поперечной устойчивости

$$\alpha_{xв} = \arctg(a/h_c); \quad (4.7)$$

$$\alpha_{xн} = \arctg(b/h_c). \quad (4.8)$$

где  $\alpha_{xв}$  – критический угол опрокидывания вперед;  $\alpha_{xн}$  – критический угол опрокидывания назад.

Возможность опрокидывания автомобиля вперед или назад менее вероятна, чем возможность его сползания. Критический угол продольной устойчивости по условию сползания можно определить исходя из условия  $P_{под} = P_{сц}$ , или  $G \sin \alpha_c = \varphi_x G \cos \alpha_c$ , откуда

$$\alpha_c = \arctg \varphi_x. \quad (4.9)$$

где  $P_{под}$  и  $P_{сц}$  – соответственно сила сопротивления подъему автомобиля и сила сцепления колес с дорогой;  $\alpha_c$  – критический угол продольной устойчивости по условию сползания;  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления колеса с дорогой. Критический угол боковой устойчивости по условию бокового скольжения определяется аналогично, только вместо коэффициента продольного сцепления колес с дорогой  $\varphi_x$  в формулу 14 подставляют значение коэффициента поперечного сцепления  $\varphi_y$ .

По результатам проведенных опытов и обработки их результатов сделать выводы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что называется центром масс автомобиля, и какими параметрами он определяется?
2. Из какого условия определяется продольную координату центра масс автомобиля?
3. Из какого условия определяется вертикальную координату центра масс автомобиля?
4. Из какого условия определяется поперечную координату центра масс автомобиля?

5. Как определить критический угол поперечной устойчивости по условию опрокидывания?
6. Как определить критический угол поперечной устойчивости по условию сползания?
7. Как определить критический угол продольной устойчивости по условию опрокидывания?
8. Как определить критический угол продольной устойчивости по условию сползания?
9. Что называется коэффициентом поперечной устойчивости.
10. Каков порядок выполнения работы по экспериментальному определению координат центра масс автомобиля?

## **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

**Общие сведения.** Даже при использовании в ходе эксперимента самых точных средств измерений возможны грубые промахи и систематические ошибки. Кроме того, на результаты измерений будут оказывать влияние различные случайные факторы, не поддающиеся учету и контролю. К числу таких факторов относятся: сенсорные способности экспериментатора; случайные вибрации отдельных частей измерительных устройств; неучтенные изменения внешних факторов и т.д. При этом результаты измерений представляют собой характерную картину случайного рассеяния, описываемую нормальным законом распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_n^2}}, \quad (5.1)$$

где  $f(x)$  - плотность вероятности значений измеряемой величины;  $m$  – математическое ожидание, являющееся наиболее вероятным значени-

ем измеряемой величины и представляющее собой среднее арифметическое значение

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \tag{5.2}$$

$\sigma_n$  - *среднеквадратическое отклонение* измеряемой величины

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n - 1}}. \tag{5.3}$$

На рис. 5.1 представлена нормальная кривая распределения случайной величины, где по оси абсцисс отложены результаты измерений, а по оси ординат плотность вероятности их появления. Площадь под кривой, соответствующая какому-либо интервалу по оси абсцисс, представляет собой *вероятность P* попадания случайного результата измерения в этот интервал.

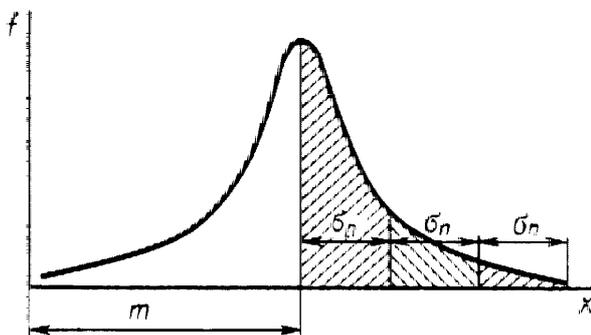


Рис.5.1. Нормальное распределение погрешностей

$$P = \int_0^x f(x) = \frac{2}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_n^2}} dx. \tag{5.4}$$

Если взять интервал по оси абсцисс в долях от среднего квадратического отклонения, т.е. ввести новую переменную  $(x-m)/\sigma_n=t$ , то предыдущую формулу можно переписать

$$P = \frac{2}{\sigma_n 2\pi} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 2\Phi(t), \quad (5.5)$$

где  $\Phi(t)$  - функция нормального распределения для которой составлены таблицы.

Таким образом, на участке от  $m - \sigma_n$ , до  $m + \sigma_n$  размещается 0,6228 всех произведенных измерений. В более широких границах, например  $m - 2\sigma_n$ ,  $m + 2\sigma_n$  размещается уже 0,9546 всех измерений, а из границ  $m \pm 3\sigma_n$  выходят лишь 0,0028 измерений.

Параметр  $\sigma_n$  характеризует форму нормальной кривой распределения. Если изменить метод измерения (точность) величины  $x$ , рассеяние будет происходить около центра с прежней абсциссой  $m$ , но форма кривой изменится, так как среднее квадратическое отклонение зависит от точности измерений.

Конечная цель анализа выполненных измерений состоит в определении погрешности среднего арифметического значения

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (5.6)$$

Согласно теории погрешностей оценкой точности измерения среднего арифметического значения, принимаемого за истинное значение измеряемой величины, принимается среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_m = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2}. \quad (5.7)$$

Таким образом, среднее квадратическое отклонение оценки среднего арифметического в  $\sqrt{n}$  раз меньше среднего квадратического отклонения результатов отдельных измерений. Однако для получения полного представления о надежности оценки погрешности измерений

должен быть указан доверительный интервал, в котором с заданной вероятностью находится значение измеряемой величины.

Так как нормальный закон справедлив при большом числе измерений (при  $n > 200$ ), то для оценки доверительного интервала пользуются распределением Стьюдента, учитывающим влияние числа измерений на величину доверительного интервала (при  $n \rightarrow \infty$  распределение Стьюдента сходится с нормальным).

Границы доверительного интервала для заданного значения доверительной вероятности  $p$  при ограниченном числе наблюдений записываются в виде

$$\bar{x} - t_p \sigma_m \leq x \leq \bar{x} + t_p \sigma_m \quad (5.8)$$

где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента, значения которого в зависимости от числа измерений  $n$  и доверительной вероятности  $p$  приведены в таблице 3 приложений.

Следует иметь в виду, что измерения, содержащие грубые промахи, должны быть исключены как не заслуживающие доверия. Обычно отбрасывают результаты измерений, погрешности которых превышают значения  $\Delta \geq (4 \dots 3) \sigma_m$ . Значение искомого параметра, вычисленного на основе ограниченного числа опытов, всегда будет содержать элемент случайности. Такое приближенное значение называется *оценкой* параметра. Например, оценкой математического ожидания служит среднее арифметическое  $\bar{x}$  наблюдавшихся значений случайной величины  $x_i$  в  $n$  независимых опытах

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} . \quad (5.9)$$

Оценкой для среднего квадратического отклонения является *выборочное стандартное отклонение*  $s$ , представляющее собой меру шири-

ны гистограммы – кривой распределения, построенной по экспериментальным данным.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (5.10)$$

При очень большом числе опытов  $\bar{x}$  и  $s$  будут с большой вероятностью близки к  $m$  и  $\sigma$  (оценки, обладающие такими свойствами, называются *состоятельными*). Кроме того, желательно, чтобы, пользуясь величинами  $\bar{x}$  вместо  $m$  и  $s$  вместо  $\sigma$ , мы не делали систематических ошибок в сторону завышения или занижения, такие ошибки называются *несмещенными*. Наконец выбранные несмещенные оценки должны обладать по сравнению с другими оценками минимальным средним квадратическим отклонением. Оценки, обладающие таким свойством, называются *эффективными*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иларионов В.А. и др. Теория и конструкция автомобиля. М.: Высшая школа, 1985.
2. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: «Наука», 1978. – 832 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Зависимость коэффициента сопротивления качению от типа и состояния дорожного покрытия

Асфальтобетонное и цементобетонное шоссе:	
в хорошем состоянии	0,007...0,015
в удовлетворительном состоянии	0,015...0,02
Гравийная дорога в хорошем состоянии	0,02...0,025
Бульжная дорога в хорошем состоянии	0,025...0,030
Грунтовая дорога:	
сухая укатанная	0,025...0,030
после дождя	0,050...0,15
в период распутицы	0,10...0,25
Песок и супесок:	
сухой	0,10...0,30
сырой	0,06...0,15
Суглинистая и глинистая целина:	
сухая	0,04...0,06
в пластическом состоянии	0,10...0,20
Обледенелая дорога, лед	0,015...0,03
Укатанная снежная дорога	0,03...0,05
Рыхлый снег	0,10...0,30

Таблица 2

Зависимость коэффициентов продольного сцепления от типа и состояния дорожного покрытия

Тип и состояние дороги	$\varphi_{x,max}$	$\varphi_{x100}$
Сухой асфальт и бетон	0,8...0,9	0,7...0,8
Мокрый асфальт	0,5...0,7	0,45...0,6
Мокрый бетон	0,75...0,8	0,65...0,7
Гравий	0,55...0,65	0,5...0,55
Грунтовая дорога:		
сухая	0,65...0,7	0,6...0,65
мокрая	0,5...0,55	0,4...0,5
Уплотненный снег	0,15...0,2	0,15
Лед	0,1	0,07

Таблица 3

Процентные точки  $t$  - распределения Стьюдента

$\begin{matrix} P \\ n-1 \end{matrix}$	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999	0,9995
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,29	636,58
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,328	31,6
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725

Учебно-методическое издание

Владимир Александрович Пресняков

Методические пособия к лабораторным работам по дисциплине  
«Основы расчета и потребительские свойства автомобилей»  
предназначены для студентов 23.03.03 Эксплуатация транспортно-  
технологических машин и комплексов. Организация транспортного об-  
служивания

Редактор

Корректор

Компьютерная верстка

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 021014 от  
03.11.1995

Подписано в печать Формат 60×84 1/16.

Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л.1,2.

Тираж экз. Заказ

---

Издательство Владивостокского государственного университета  
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41

Отпечатано в лаборатории множительной техники ВГУЭиС

690600, Владивосток, ул. Державина, 57