

Каждый из этих узлов определяется множеством параметров, которые являются геометрическими и технологическими характеристиками этих узлов. Для каждого типа и класса автомобилей они могут быть унифицированы с точки зрения равенства этих параметров для каждого узла соответственно.

Модули называются унифицированными относительно этих параметров. Другие характеристики и характеристики конструкций этих модулей у разных автопроизводителей или производителей этих модулей, вообще говоря, могут отличаться.

### **Применение информации об ускорении автомобиля для исследования его параметров**

к.ф.-м.н., доц. Гадельшин Т.К., Гадельшин Д.Т.  
МГТУ «МАМИ»

#### **Введение**

Автомобили и его элементы совершают механические движения. Мгновенные характеристики этих движений угловые и линейные скорости и ускорения. В современных автомобилях определяется и используется информация о скорости движения. Это информация на спидометре о скорости движения автомобиля и угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя. Она дает возможность водителю при необходимости корректировать эти скорости. Информация об угловой скорости вращения коленчатого вала используется в блоке управления работой двигателя. Информация о скорости автомобиля и угловой скорости вращения колес автомобиля используется в антиблокировочных системах тормозов и автоматических системах блокировки мостов автомобилей, чтобы их перевести из режима ведомых в режим ведущих с целью повысить проходимость автомобиля или его безопасность движения.

Информация об ускорениях используется только в системах активной безопасности для того, чтобы срабатывали подушки безопасности при столкновении автомобиля в аварийной ситуации. Однако, современные датчики ускорений и вычислительные устройства, применяемые в инерциальных навигационных системах (ИНС) [1,2] современных летательных аппаратов и морских судов могут найти применение и в автомобилях. Здесь будут предложены и рассмотрены некоторые пути и возможности использования информации об ускорениях для автомобилей в форме, применяемой в ИНС.

#### **1. Использование информации об ускорении автомобиля для определения его параметров, влияющих на динамические характеристики**

Попытка составить и использовать для исследования динамических характеристик автомобиля дифференциальных уравнений приводит к ряду сложных проблем. Автомобиль имеет достаточно большое количество элементов (твердых тел), для которых нужно знать и учесть точные значения параметров этих элементов, таких, как массы, моменты инерции относительно осей их вращения, геометрические размеры. Кроме этого необходимо учесть сложную кинематическую связь между элементами.

Силы, которые входят в эти уравнения определяются силами трения скольжения в пятнах контакта с дорогой, сопротивлением качению колес, аэродинамическими силами сопротивления, силами сопротивления, действующими в элементах трансмиссии. Определение этих сил, исходя из параметров автомобиля, колес, трансмиссии, дороги, шин, также весьма затруднительно.

Однако при некоторых предположениях решить задачу об определении параметров, характеризующих динамику автомобиля, можно, если иметь информацию об ускорении центра масс автомобиля.

Предположим, что автомобиль движется поступательно на горизонтальном, прямолинейном участке дороги. При таком движении центр масс автомобиля движется по отрезку прямой. При этом различные элементы автомобиля совершают различные виды движения твердого тела: поступательные (корпус автомобиля), плоскопараллельные (колеса автомобиля), и общие движения твердого тела (элементы трансмиссии, которые совершают враща-

тельные движения по отношению к кузову автомобиля, элементы двигателя).

Если для вывода уравнения движения применить метод уравнений Лагранжа второго ряда, взяв в качестве обобщенной координаты координату  $x$  центра масс, на оси, проходящей по отрезку прямой, по которой он движется, то после преобразований дифференциальное уравнение движения центра масс принимает форму второго закона Ньютона движения материальной точки

$$m a = Q, \quad (1)$$

где:

$$m = m_1 + m_2, \quad (2)$$

здесь:  $m_1$  – масса автомобиля;  $m_2$  – масса, приведенная к движению центра масс автомобиля узлов, совершающих вращательные движения вокруг своих осей. Она определяется с учетом вращательных движений элементов двигателя, трансмиссии, колес автомобиля и для ее вычисления надо знать массы этих элементов, геометрические характеристики, моменты инерции. Это вычисление затруднительно, а скорее всего невозможно;

$a$  - ускорение центра масс автомобиля.

Обобщенная сила  $Q$  определяется выражением

$$Q = B_0 + B_1 V + B_2 V^2 + F, \quad (3)$$

здесь:  $V$  – скорость центра масс автомобиля.

$B_0$  – параметр, определяемый сопротивлением движению колес автомобиля при его взаимодействии с дорогой.

$B_1$  – параметр, определяемый сопротивлением движению трансмиссии автомобиля. Это сопротивление имеет природу вязкого трения из-за наличия смазки в элементах трансмиссии.

$B_2$  - параметр, определяющий аэродинамические силы сопротивления.

$F$  – сила действия на автомобиль, определяемая со стороны вращающего момента двигателя и реализуемая в точках пятен контакта ведущих колес автомобиля с дорогой. Если включены тормоза, то сила  $F$  определяется также моментами торможения, которые действуют на колеса со стороны тормозной системы.

Как видно из определения этих величин в выражении обобщенной силы  $Q$ , их вычисление по характеристикам автомобиля и дороги также является затруднительным, а, точнее сказать, невозможным.

Тем не менее, определять динамические характеристики автомобиля, сравнивать их для различных автомобилей, различных дорожных условий, а также находить пути их улучшения и оптимизации необходимо. Поэтому величины  $m, B_0, B_1, B_2, F$  для конкретных автомобилей нужно для этого уметь определять.

Рассмотрим здесь один из способов их определения.

Запишем уравнения (1) в виде:

$$B_0 + B_1 V + B_2 V^2 + F = m a, \quad (4)$$

разделив на  $m$ , получим

$$\frac{B_0}{m} + \frac{B_1}{m} V + \frac{B_2}{m} V^2 + \frac{F}{m} = a \quad (5)$$

Обозначим:

$$\frac{B_0}{m} = C_0; \quad \frac{B_1}{m} = C_1; \quad \frac{B_2}{m} = C_2; \quad \frac{F}{m} = f \quad (6)$$

Тогда (5) примет вид:

$$C_0 + C_1V + C_2V^2 + f = a \quad (7)$$

Параметры  $C_0, C_1, C_2$  практически постоянные величины для конкретного автомобиля и конкретных дорожных условий. Величина  $f$ , определяемая двигателем может зависеть от конкретного режима его работы и передачи трансмиссии. Есть режим движения, называемый выбегом, когда выключено влияние двигателя на движение и  $f = 0$ , а уравнение (7) имеет вид:

$$C_0 + C_1V + C_2V^2 = a \quad (8)$$

Покажем, что параметры  $C_0, C_1, C_2$  можно вычислить, определив в режиме выбега в разные моменты времени  $t_1 < t_2 < t_3$  три значения скорости

$$V(t_1) = V_1; \quad V(t_2) = V_2; \quad V(t_3) = V_3, \quad (9)$$

причем, очевидно, что  $V_1 > V_2 > V_3$ , и три значения ускорения

$$a(t_1) = a_1; \quad a(t_2) = a_2; \quad a(t_3) = a_3. \quad (10)$$

Зная эти величины, можно составить систему трех линейных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами, где  $C_0, C_1, C_2$  являются неизвестными:

$$\begin{cases} C_0 + C_1V_1 + C_2V_1^2 = a_1 \\ C_0 + C_1V_2 + C_2V_2^2 = a_2 \\ C_0 + C_1V_3 + C_2V_3^2 = a_3 \end{cases} \quad (11)$$

Поскольку эта система имеет невысокий порядок, она может быть решена методом Крамера.

Главный определитель этой системы является определителем Вандермонда [3]

$$d = \begin{vmatrix} 1 & V_1 & V_1^2 \\ 1 & V_2 & V_2^2 \\ 1 & V_3 & V_3^2 \end{vmatrix} = (V_2 - V_1)(V_3 - V_2)(V_3 - V_1) < 0$$

при  $V_1 > V_2 > V_3$  и система (11) всегда имеет решение.

Рассмотрим параметр  $C_0$

$$C_0 = \frac{B_0}{m}, \quad (12)$$

$B_0$  – параметр, который определяется постоянной составляющей силы сопротивления движению колес автомобиля. С достаточной степенью точности он может быть определен с помощью динамометра при буксировке с небольшой скоростью изучаемого автомобиля на нейтральной передаче. Зная  $C_0$  и  $B_0$  можно определить полную приведенную массу

$$m = \frac{B_0}{C_0}, \quad (13)$$

и зная массу автомобиля  $m_1$  вычислить приведенную массу  $m_2$ , определяемую движением элементов двигателя, трансмиссии и колес относительно автомобиля.

$$m_2 = m - m_1 \quad (14)$$

Зная  $m$ , можно вычислить параметры

$$B_1 = m C_1 \quad \text{и} \quad B_2 = m C_2 \quad (15)$$

в уравнении (4).

Приведем теперь уравнение (4) к виду для определения силы  $F$

$$F = ma - B_0 - B_1 V - B_2 V^2, \quad (16)$$

$F$  – это сила, которая реализуется при разгоне, торможении или движении с постоянной скоростью в пятнах контакта ведущих колес автомобиля. При известных величинах правой части уравнения (16) она может быть вычислена для различных режимов работы двигателя и движения.

Если автомобиль движется в режиме торможения, то сила  $F$  может быть вычислена, как с включенным двигателем, так и на нейтральной передаче и таким образом исследованы различные режимы торможения.

Уравнение (4) при известных его параметрах может быть использовано для математического моделирования продольного движения автомобиля.

## 2. Использование датчика ускорения для определения кинематических характеристик движения, как в инерциальной навигационной системе

Режимы разгона и торможения автомобиля достаточно полно определяют его динамические характеристики. Рассмотрим случай движения на горизонтальном прямолинейном участке дороги. Информация, получаемая с датчика ускорения (ньютонометра), как в системах ИНС поступает на вычислительное устройство, которое в реальном времени проводит два интегрирования и определяет скорость  $V(t)$  и координату  $x(t)$ .

$$V(t) = V_0 + \int_0^t a(t) dt, \quad (17)$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t V(t) dt. \quad (18)$$

Интегрирование проводится в численном виде с дискретным шагом по времени, равном промежутку между двумя последовательными считываниями информации об ускорении с ньютонометра.

Полученные данные об ускорении, скорости и перемещении автомобиля в режиме разгона или торможения могут быть проанализированы после представления их в виде графиков или таблиц.

## 3. Применение информации об ускорении автомобиля

Таким образом, здесь рассмотрены два метода использования информации об ускорении для исследования динамики автомобиля. Метод 1 с использованием дифференциального уравнения движения (4) и метод 2 с использованием интегрирований (17) и (18). Эти методы могут быть применены при испытании и доводке автомобиля, исследовании влияния различных факторов и условий на динамические характеристики автомобиля, а также при рассмотрении проблем, связанных с сертификацией автомобилей, шин, дорожных покрытий. Ниже рассмотрим эти возможности. Следует, прежде всего, заметить, что все числовые значения параметров автомобиля, полученные при испытаниях являются случайными величинами. На величину этих параметров влияют многочисленные факторы. Это прежде всего погрешности в процессе производства автомобиля. Они при массовом производстве подчиняются нормальному закону распределения. Параметр автомобиля или какого-либо его функционального элемента (модуля) также зависит от большого числа факторов и является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Например, данные характеристики автомобиля о мощности двигателя или о его максимальном крутящем моменте являются случайными и для конкретного автомобиля могут несколько отличаться от тех, что приво-

дятся в описании об автомобиле или его инструкции по эксплуатации. Эти величины для одних и тех же двигателей при массовом их производстве подчиняются нормальному закону распределения и получаются в результате испытаний этих двигателей и обработке результатов методами математической статистики.

Тем не менее, некоторые характеристики об автомобиле и его элементах определяются и по результатам одиночных испытаний. Например, краш-тесты автомобилей дают некоторые характеристики о его безопасности. Однако, никто таким образом не испытывает большое число одних и тех же автомобилей для получения усредненных характеристик. Для испытания разных автомобилей и сравнения их характеристик безопасности краш-тесты используются широко по испытанию их единичных экземпляров.

Таким образом, метод исследования однотипных с функциональной точки зрения изделий, связанных с получением экспериментальных характеристик об этих изделиях и их сравнения по единичным экземплярам, часто оказывается приемлемым. Остановимся на некоторых примерах использования такого метода испытаний с применением информации об ускорении автомобиля.

### **3.1. Сравнение и оценка разных функциональных модулей для одного и того же автомобиля**

Для различных типов трансмиссии, после определения параметров  $B_0, B_1, B_2$  по методу 1 в уравнении (4) можно определить величины сил при различных ускорениях и сравнить их.

Для различных двигателей при одной и той же трансмиссии можно определить величины сил при различных ускорениях и сравнить их.

По методу 2 можно получить данные об ускорениях, о скоростях и перемещениях и сравнить их для разных типов двигателей, трансмиссий. По этой же методике можно определить характеристики торможения для разных типов трансмиссий и систем торможения.

### **3.2. Сравнение и оценка разных типов шин**

Шины одного и того же размера могут отличаться друг от друга составом материала, из которых они изготовлены, конструктивными характеристиками, типом и конструкцией рисунка протектора. Для одного и того же автомобиля на одном и том же дорожном покрытии, при одних и тех же дорожных условиях по методу 1 и по методу 2 можно определить характеристики, которые определяют динамику автомобиля, и сравнить их.

Испытание шин и их сравнение можно провести для различных дорожных условий. Эти испытания можно выполнять, как для режима разгона автомобиля, так и торможения.

### **3.3. Сравнение и оценка разных типов дорожных покрытий**

Дорожные покрытия и условия, в которых они находятся, также оказывают влияние на динамические характеристики автомобиля. По методу 1 или методу 2 для одного и того же автомобиля и одних и тех же шин его колес можно оценить динамические характеристики для разных дорожных покрытий, а для одного и того же покрытия при разных условиях. Например, в сухую погоду и в дождливую погоду. По результатам разгона и торможения можно давать характеристики различным дорожным покрытиям.

Исследование шин и дорожных покрытий является важной проблемой. Все, что делается в автомобиле в результате работы его двигателя, трансмиссии, рулевой системы, тормозной системы, а также умения водителя, реализуются в пятнах контакта шин с дорогой и, как следствие, получается движение автомобиля на дороге. Без контакта с дорогой, автомобиль лишь устройство, которое крутит ведущие колеса. Дорога это и опора и движитель автомобиля. Можно сказать, что дорога – это продолжение автомобиля для того, чтобы он стал тем, для чего нужен.

### **3.4. Использование для сертификации и стандартизации автомобилей**

Если получить данные о параметрах автомобиля по методу 1 или методу 2 для большого числа автомобилей одного типа, то можно поставить задачу о сертификации этих автомобилей по этим параметрам. Например, получение данных о параметрах можно сделать во время предварительной обкатки автомобиля по заводской обкаточной дороге после того, как

автомобиль сошел с конвейера. Это может обеспечить одинаковость условий получения данных с точки зрения одинаковости износа этих автомобилей и одинаковости дорожных условий. Обработав полученные данные методами математической статистики, приняв их, как выборки распределенных по нормальному закону случайных величин, можно получить параметры этих законов: средние значения и средние квадратичные отклонения. Эти параметры могут быть приняты, как стандартные. По этим параметрам могут проверяться автомобили этого типа. Например, можно делать вывод о приемлимости того или иного параметра по правилу трех сигма. Это в случае, если отклонение параметра от его среднего значения, полученного по выборке, не превышает по абсолютной величине трех значений оценки средне квадратичного отклонения нормального закона распределения.

Например, параметр  $B_1$ , проверенного автомобиля, вышел за пределы указанного интервала. Можно сделать вывод, что трансмиссия этого автомобиля не удовлетворяет стандарту и устранить указанное отклонение, доведя его до стандартного.

### **3.5. Использование в устройствах для обеспечения безопасности**

Довольно часто в процессе движения автомобиль может замедлять движение без использования тормозной системы. Например, это уменьшение подачи топлива или случай, когда глохнет двигатель. Эти ситуации могут быть зафиксированы при помощи датчика ускорения и, в результате, могут быть включены задние стоп-сигналы и предотвращена аварийная ситуация. Датчик ускорения может зафиксировать маневр автомобиля. Если при этом водитель, по каким-либо причинам, не указал маневр при помощи указателя поворота, то с помощью датчика ускорения соответствующий сигнал может быть включен.

В настоящее время обсуждается вопрос об установке в автомобилях устройств типа «черный ящик». Информация о скорости движения автомобиля и его ускорении может быть зафиксирована в них при помощи датчика ускорения по методу 2, рассмотренному выше.

#### **Заключение**

Предложенные здесь методы использования информации об ускорении автомобиля показывают, что с помощью нее можно ставить и решать задачи об исследовании автомобиля с целью его совершенствования, контроля его параметров, обеспечения безопасности движения.

Вопросы практического применения изложенных методов требуют специальных исследований.

#### **Литература**

1. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. Изд-во «Наука», 1964 г.
2. Девянин Е.А. О возможных принципах построения систем инерциальной навигации. Журнал «Механика твердого тела», 1969 г., № 6.
3. Г. Корн и Т. Корн. Справочник по высшей математике для научных работников и инженеров. Изд-во «Наука», Москва, 1968 г.

### **Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника**

к.т.н., доц. Гармаш Ю.В.

*Рязанский военный автомобильный институт*

Известно [1, 2, 3], что современные системы бортового электрооборудования, в частности, электрооборудование автомобильной техники (ЭО АТ) рассчитаны на напряжение 12, 24 или 48 В, что обусловлено существующим рядом аккумуляторных батарей. Это напряжение не может плавно регулироваться при изменении режимов работы и характеристик систем ЭО АТ.

Однако, как показывает анализ, напряжения питания различных систем ЭО должны изменяться по-разному при изменении режимов работы как двигателя внутреннего сгорания (ДВС), так и внешних факторов для получения рациональных характеристик систем и обеспечения номинального срока службы комплектующих элементов. Так, например, по данным