

М 477301
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

РАКОВ Александр Владимирович

УДК 629.113.001.4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОЛЕСА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЙДЕННОГО ПУТИ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ
АВТОМОБИЛЯ С ЦЕЛЮ ВЫРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕГО
ПРОЕКТИРОВАНИЮ

05.05.03 автомобили и тракторы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1988

Работа выполнена на Московском автомобильном заводе имени
И.А.Лихачева и в Московском высшем техническом училище имени
Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Смирнов Г.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Шаробин Я.Е.
кандидат технических наук,
доцент Селифонов В.В.

Ведущая организация - Центральный научно-исследовательский
автомобильный институт НАМИ

Защита
в 14 30 на
в Московско
г. Москва,

1988 г.
15.10
на:

О дисс
высшего тех

овского

Авторе

Ученый
специа
доктор

M 47 7301

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1477301

Исследование раб

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одними из наиболее важных параметров, измеряемых в дорожных испытаниях автомобилей, являются пройденный путь и скорость движения. Наиболее широко применяемый метод для их измерения основан на использовании в качестве первичного преобразователя измерительного ("пятого") колеса.

Однако, до настоящего времени практически полностью отсутствуют теоретические разработки по данному методу, что затрудняет создание метрологически обеспеченных средств измерения. Отсутствие достаточно точных и эффективных средств измерения одерживает развитие исследовательских работ и разработку методик испытаний, отвечающих современным требованиям.

Цель и задачи работы. Целью работы является исследование рабочего процесса измерительного ("пятого") колеса с целью выработки рекомендаций по его проектированию.

В соответствии с целью работы сформулированы следующие задачи:

- провести анализ конструктивных решений "пятого" колеса и выработать единые технические требования к конструкции;
- разработать математическую модель рабочего процесса "пятого" колеса, установить и формализовать метрологические характеристики;
- провести исследование влияния различных конструктивных параметров и условий проведения измерений на метрологические характеристики, систематизировать имеющиеся технические решения и выработать рекомендации для конструктивной проработки "пятого" колеса;
- осуществить конструктивную проработку скоростного "пятого" колеса, разработать методики и аппаратные средства метрологической аттестации;
- провести испытания опытных образцов скоростного "пятого" колеса, установить их метрологические характеристики и выработать технические условия на применение разработанной конструкции.

Научная новизна и положения выносимые на защиту. Измерительный преобразователь "пятое" колесо представлен как устройство, состоящее из нескольких функциональных систем. Разработана математическая модель рабочего процесса, позволяющая раскрыть физическую сущность и внутренние взаимосвязи процессов, происходящих в этих системах.

Предложен подход к рассмотрению рабочего процесса эластичного колеса, как измерительного преобразователя, и проведена оценка влияния вертикальных колебаний и отрыва колеса от опорной поверхности на его преобразующие свойства.

Сформулированы метрологически обоснованные требования и рекомендации к конструктивной проработке "пятого" колеса, разработаны предложения по способам и средствам метрологической аттестации.

Практическая ценность работы. В результате проведенных исследований и на основании сформулированных рекомендаций разработана конструкция скоростного "пятого" колеса, которая может быть рекомендована для испытаний легковых автомобилей высшего и среднего класса, грузовых автомобилей и автобусов на дорогах с асфальтобетонным покрытием. Разработаны и утверждены методики и аппаратные средства ее метрологической аттестации.

Освоено производство и изготовлена опытная партия разработанной конструкции.

Сформулированные теоретические основы метода измерения, технические требования и рекомендации могут быть использованы при создании конструкции "пятого" колеса для других классов транспортных средств и иных условий эксплуатации.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах кафедры "Колесные машины" Московского высшего технического училища имени Н.Э.Баумана (1983, 1984, 1985, 1987 г.г.), на Отраслевом семинаре "Обмен передовым опытом по созданию исследовательского и испытательного оборудования (стенды и приборы)" на ЦНИАП НАМИ (1985 г.), на Всесоюзном семинаре "Проблемы совершенствования автомобильной техники" в МВТУ им.Н.Э.Баумана (1986 г.), на Отраслевой конференции молодых ученых и специалистов на ЦНИАП НАМИ (1987 г.), на научно-техническом совете Московского автомобильного завода им.И.А.Лихачева (1988 г.).

Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 6 работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, результатов и выводов, списка литературы из 60 наименований, приложения. Работа изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка и 1 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен краткий обзор существующих методов и средств измерения пройденного пути и скорости движения автомобиля в испытательном заезде. Предложена их классификация по способу получения первичной информации, что позволило установить место данного метода измерения среди других методов. Область применения "пятого" колеса — измерение пройденного пути и скорости движения автомобиля в испытаниях на топливную экономичность, разгонную и тормозную динамику.

Ведущие зарубежные фирмы в области производства испытательного оборудования: ф. ПМ (США), ф. Пайслер (ФРГ), ф. ОНО СОККИ (Япония) и др. — выпускают измерительную аппаратуру на базе "пятого" колеса. У нас в стране также имели место попытки создания собственной конструкции "пятого" колеса: в НАМИ и ЦНИАП, на ВАЗе, ГАЗе, ЗАЗе, РАфе и других предприятиях. Оригинальная конструкция разработана в институте механики машин АН СССР, в МВТУ им.Н.Э.Баумана и МАДИ.

Работы по созданию собственной конструкции "пятого" колеса ведутся и на автозаводе им.И.А.Лихачева, причем особенно остро встала проблема метрологического обеспечения испытаний легкового автомобиля высшего класса, что связано с высокими скоростями движения (до 200 км/час).

Вопросами, связанными с исследованием рабочего процесса "пятого" колеса и созданием собственных оригинальных конструкций занимались А.Д.Нозадзе, Д.А.Микряков, Л.И.Красильщик, Ю.А.Костенко, Г.В.Борисенко, Г.П.Либерт и др. Однако, до настоящего времени, практически полностью отсутствуют теоретические разработки по данному методу измерения. Опубликованные работы, а их насчитывается буквально единицы, не носили системного характера. До сих пор не предложено математических моделей, описывающих физику процесса измерения. Не выработаны единые технические требования и рекомендации к конструированию. Нет также обоснованных предложений по методикам и аппаратурным средствам метрологической аттестации "пятого" колеса.

В свете вышеизложенного, сформулированы цель и задачи диссертации.

Во второй главе проведен обзор конструктивных решений "пятого" колеса. Предложена схема систематизации существующих моделей, которая позволила выделить отдельные группы конструкций,

характеризующиеся типом измерительного колеса и схемой системы подпрессоривания. Выбрав по одному, два образца из каждой группы и проведя их сравнительные испытания с целью оценки влияния конструктивных особенностей на параметры рабочего процесса.

Анализ конструктивных особенностей и результаты сравнительных испытаний различных моделей "пятых" колес позволили сформулировать технические требования к конструкции скоростного "пятого" колеса.

1. Стабильность первичного преобразования в режиме высоких скоростей движения должна быть, прежде всего, обеспечена конструкцией самого измерительного колеса: обод колеса должен обеспечивать исходную геометрическую форму при минимальной массе и моменте инерции (цельнолитая конструкция "обод-ступица" из легкого сплава); шина должна иметь стабильные механические характеристики, высокую износостойкость и сцепные качества при минимальной массе и моменте инерции (шина по типу мотоцикла для шоссейно-кольцевых гонок, рисунок протектора - продольные кольцевые канавки). Как рекомендуемая для измерительного колеса, работающего в режиме высоких скоростей движения, может быть предложена низкопрофильная шина радиальной конструкции.

2. Подвеска "пятого" колеса должна обеспечивать постоянство контакта измерительного колеса с дорогой во всем диапазоне скоростей движения при усилии прижима не нарушающем тягово-сцепных характеристик автомобиля. Система подвески должна также обеспечивать развязку вертикальных колебаний измерительного колеса и точки подвеса, поперечную стабилизацию и эффективное гашение вертикальных колебаний колеса, возникающих в процессе качения. В качестве демпфирующего устройства может быть рекомендован гидроразъемный амортизатор.

3. "Пятое" колесо в рабочем положении не должно вносить существенные изменения в аэродинамические характеристики автомобиля.

В третьей главе показано, что практически любое известное конструктивное решение "пятого" колеса может быть представлено схемой, составленной максимум из пяти функциональных элементов: измерительного колеса, направляющего устройства, упруго-демпфирующего устройства, вертикального и горизонтального шарниров.

Схема измерительного преобразования, осуществляемого "пятым" колесом, представлена на рис.1, где: система координат x', y', z' ориентирована по осям автомобиля, а в системе координат x, y, z -

ось X лежит в плоскости вращения колеса.

"Пятое" колесо функционально разделено на две подсистемы, и коэффициент преобразования представлен как произведение коэффициентов преобразования двух подсистем

$$K = S_c / \varphi, \quad K = K_1 \cdot K_2, \quad K_1 = S_c / x_0, \quad K_2 = x_0 / \varphi$$

где: S_c – горизонтальное перемещение исследуемого объекта (пройденный путь),

φ – угол поворота измерительного колеса;

K_1 – коэффициент преобразования механизма подвески;

K_2 – коэффициент преобразования измерительного колеса;

x_0 – рабочее перемещение оси измерительного колеса (перемещение, преобразуемое во вращательное движение колеса).

Коэффициент преобразования измерительного колеса по своей физической сущности соответствует понятию "радиус качения колеса", однако, классический подход к его определению, когда рассматривается качение по плоской опорной поверхности без пробуксовки и проскальзывания, в "чистом" виде не применим. Качение измерительного колеса по реальному микропрофилю сопровождается вертикальными колебаниями, причем не исключен и отрыв колеса от опорной поверхности. Исследование рабочего процесса эластичного колеса как измерительного преобразователя сводится к выяснению физической сущности формирования коэффициента преобразования.

Для решения этой задачи использован метод рассмотрения внешней механики качения, рис.2. Для более четкого представления процесса формирования коэффициента преобразования при вертикальных колебаниях колеса приняты следующие допущения:

- силы сопротивления движению отсутствуют, что позволяет не рассматривать снос вертикальной реакции опорной поверхности;
- точечный контакт колеса с опорной поверхностью, что позволяет не учитывать сглаживание шиной неровностей микропрофиля.

Частота вращения и угловое ускорение эластичного колеса при качении без проскальзывания определяются как

$$\omega = \dot{x}_0 / r_k; \quad \varepsilon = \ddot{x}_0 / r_k - \dot{x}_0 \cdot \dot{r}_k / r_k^2$$

где: $\dot{x}_0, \ddot{x}_0$ – скорость и ускорение горизонтального движения оси;

$r_k, \dot{r}_k$ – радиус качения и скорость изменения радиуса качения колеса.

Величина силы трения в контакте колеса с опорной поверхностью, необходимая для реализации углового ускорения

$$P_{тр} = J_k \cdot \varepsilon / r_g$$

где: J_k и z_g - момент инерции и динамический радиус колеса.

Наличие вертикальных колебаний, сопровождающих качение, приводит к изменению предельной силы сцепления колеса с опорной поверхностью в продольном направлении, в результате чего может наступить момент, когда сила трения не может быть реализована по условию сцепления

$$P_{\tau p} \leq P_{счх} ; P_{счх} = \sqrt{(P_N \cdot \psi)^2 - P_y^2}$$

где: P_N - нормальная реакция в контакте колеса с опорной поверхностью;

ψ - коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью;

P_y - боковая реакция, действующая на колесо в контакте с опорной поверхностью.

Возникает проскальзывание колеса относительно опорной поверхности, а в случае большой амплитуды колебаний и отрыв колеса. Угловое ускорение и частота вращения колеса при качении с проскальзыванием определяются как

$$\varepsilon = P_{счх} \cdot z_g / J_k , \quad \omega = \int \varepsilon \cdot dt$$

В случае отрыва колеса от опорной поверхности - $\omega = const$

Таким образом, коэффициент преобразования эластичного колеса

$$K_z = \int_r^{T+\Delta t} \ddot{x}_0 \cdot dt / \int_r^{T+\Delta t} \omega \cdot dt$$

Интервал Δt следует выбирать, исходя из того, что путь, пройденный колесом, должен быть достаточным для представления всего спектра воздействия микропрофиля опорной поверхности.

Вертикальные колебания катящегося колеса приводят также и к возникновению крутильных колебаний обода на шине. Однако, если пренебречь внутренними инерционными свойствами материала шины, и учитывая, что угол "закрутки" (β) прямо пропорционален силе трения ($P_{\tau p}$), можно сказать, что шина входит в отрыв полностью восстановленной. Следовательно, имеющие место крутильные колебания обода на шине, являются внутренним фактором и при рассмотрении процесса формирования коэффициента преобразования на достаточно большом интервале (Δt) могут не учитываться. Максимальная ошибка, обусловленная таким предположением, составит $\pm \beta_{max}$

Параметры изменения динамического радиуса (z_g) и нормальной реакции в контакте колеса с опорной поверхностью (P_N) получены при рассмотрении вертикальных колебаний. Параметры изменения боковой реакции в контакте колеса с опорной поверхностью, а также скорости и ускорения рабочего перемещения оси колеса ($\dot{y}, \ddot{x}_0$) получены при рассмотрении криволинейного в плане движения.

Для исследования вертикальных колебаний измерительного колеса использована широко применяемая в теории систем подвески упруго-вязкая расчетная модель с экспериментально определенными динамическими характеристиками шины, представляющая собой сосредоточенную массу на упругом и вязком звеньях, рис.3.

Вертикальные колебания колеса описываются уравнением

$$m \cdot \ddot{z}_0 = R_{нпр} + P_n + mg$$

где: m - приведенная к оси колеса масса конструкции, $m = f(\alpha)$ (α - угол наклона вертикального маятника к горизонту);

$\ddot{z}_0$ - ускорение вертикального перемещения оси колеса;

$R_{нпр}$ - приведенная к оси колеса вертикальная реакция упруго-демпфирующего устройства, $R_{нпр} = f(\alpha, \dot{\alpha})$ ($\dot{\alpha}$ - скорость изменения угла наклона вертикального маятника);

g - ускорение свободного падения.

Динамический радиус и нормальная реакция в контакте колеса с опорной поверхностью

$$z_g = z_0 - z_a ; \quad P_n = F_{cш} + F_{вш}$$

где: z_0 и z_a - вертикальные координаты оси колеса и "точки контакта" с опорной поверхностью;

$F_{cш}$ и $F_{вш}$ - силы упругого и вязкого сопротивления колеса.

Отрыв колеса от опорной поверхности возникает при условии $z_0 - z_a > z_{св}$, здесь: $z_{св}$ - свободный радиус колеса.

Рассмотрено влияние взаимных вертикальных колебаний колеса и точки подвеса на параметры рабочего перемещения оси колеса.

Скорость и ускорение рабочего перемещения колеса определяются как

где: $\dot{x}_c$ и $\ddot{x}_c$ - горизонтальная скорость и ускорение точки подвеса;

$\dot{x}_{a\dot{z}}$ - изменение скорости рабочего перемещения оси колеса, обусловленное относительным вертикальным перемещением оси колеса и точки подвеса,

$$\dot{x}_{a\dot{z}} = (\dot{z}_c - \dot{z}_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

здесь: $\dot{z}_c$ и $\dot{z}_0$ - вертикальная скорость точки подвеса и оси колеса;

$\ddot{x}_{a\dot{z}}$ - изменение ускорения рабочего перемещения оси колеса, обусловленное относительным вертикальным перемещением оси колеса и точки подвеса,

$$\ddot{x}_{a\dot{z}} = (\ddot{z}_c - \ddot{z}_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha + (\dot{z}_c - \dot{z}_0)^2 / (l_{в.м.} \cdot \cos \alpha)$$

здесь: $\ddot{z}_c$ и $\ddot{z}_0$ - вертикальное ускорение точки подвеса и оси колеса;

$l_{в.м.}$ - длина вертикального маятника.

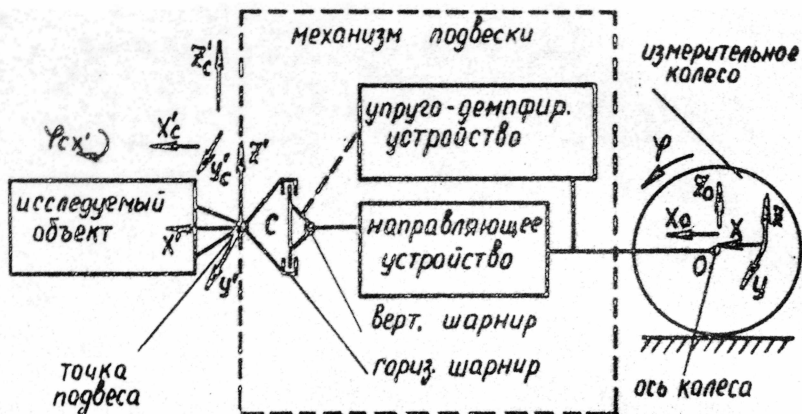


Рис. 1 Схема измерительного преобразования, осуществляемого "пятым" колесом.

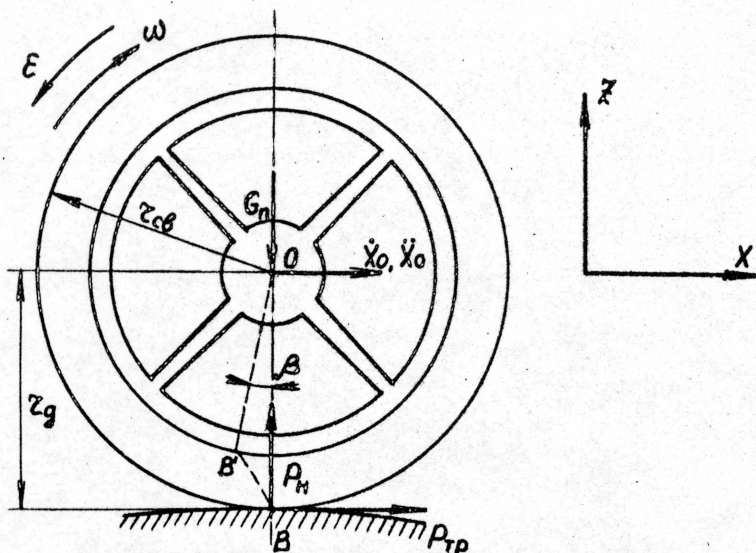


Рис. 2 Схема, отражающая внешнюю механику качения эластичного колеса по реальному микропрофилю.

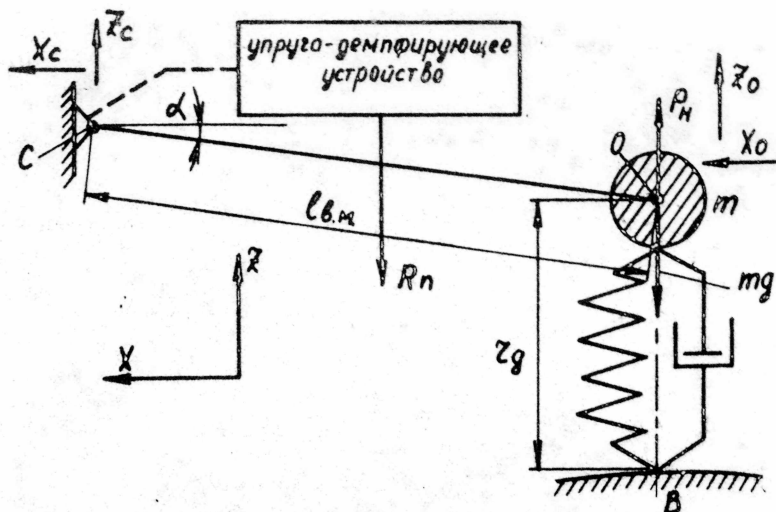


Рис. 3 Расчетная модель вертикальных колебаний эластичного колеса.

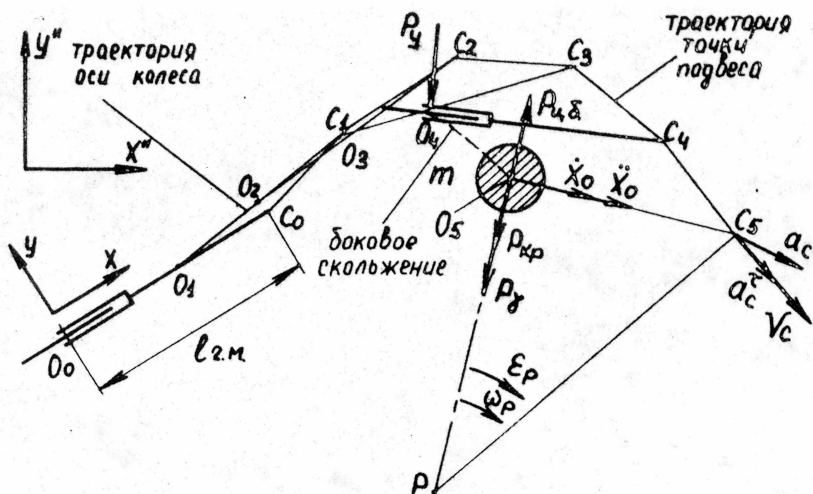


Рис. 4 Расчетная схема для определения параметров криволинейного в плане движения измерительного колеса.

Расчетная схема для определения параметров криволинейного в плане движения измерительного колеса представлена на рис.4.

Вследствии наличия в конструкции "пятого" колеса горизонтального шарнира и несовпадения его оси с осью измерительного колеса, очевидным является факт несоответствия траектории точки подвеса и оси колеса при криволинейном движении. Это – кинематическое рассогласование траекторий движения. Кроме этого, ввиду возможного действия боковых сил, обусловленных поперечным наклоном опорной поверхности (P_j), креном колеса (P_{kr}) и действием центробежной силы инерции при криволинейном движении ($P_{цб}$), возможно также и боковое скольжение (занос) колеса, что может в еще большей степени увеличить рассогласование траекторий.

Количественной оценкой степени рассогласования траектории движения точки подвеса и оси колеса рассматривается коэффициент рассогласования, который определяется как

$$K_1 = S_c / S_o$$

где: S_c и S_o – путь, пройденный исследуемым объектом (точкой подвеса) и осью измерительного колеса

$$S_c = \ell_{c_0 c_1} + \ell_{c_1 c_2} + \dots + \ell_{c_{n-1} c_n} + \dots; S_o = \ell_{o_0 o_1} + \ell_{o_1 o_2} + \dots + \ell_{o_{n-1} o_n} + \dots$$

Коэффициент рассогласования траектории движения – суть коэффициент преобразования механизма подвески (K_1).

Для упрощения расчетных выкладок сделано допущение об отсутствии "увода" колеса. Ввод в рассмотрение "увода" измерительного колеса, при известной характеристике $R_y = f(\gamma, \psi)$ принципиально не усложнил бы расчетной схемы.

При определении траектории движения оси колеса выполняется следующая последовательность операций.

Зная направление скорости движения точки подвеса и координаты оси колеса, определяем мгновенный центр скоростей звена ОС (P). Определяем угловую скорость и ускорение звена ОС относительно найденного центра скоростей

$$\omega_p = v_c / \ell_{cp}; \quad \epsilon_p = a_c^t / \ell_{cp}$$

где: a_c^t – тангенциальное ускорение точки подвеса (C);

ℓ_{cp} – расстояние между точкой подвеса и мгновенным центром скоростей, $\ell_{cp} = \sqrt{(x_c - x_p)^2 + (y_c - y_p)^2}$

Параметры рабочего перемещения оси колеса определяются как

$$\dot{x}_o = \omega_p \cdot \ell_{op} + \ddot{x}_{\Delta z}, \quad \ddot{x}_o = \epsilon_p \cdot \ell_{op} + \ddot{x}_{\Delta z}, \quad \ddot{z}_o = \ddot{z}_{\Delta z}$$

Величина боковой реакции, действующей в контакте колеса с опорной поверхностью

$$P_y = P_{цб} + P_j + P_{кр}$$

где: $P_{цб}$ - центробежная сила инерции, $P_{цб} = m \cdot \omega_p^2 \cdot \rho_{ор}$

При невыполнении условия $P_y \leq P_{цб}$ возникает боковое скольжение (занос) измерительного колеса. Предельная сила сцепления колеса с опорной поверхностью в поперечном направлении определяется как $P_{сцy} = \sqrt{(P_H \cdot \psi)^2 - P_{гр}^2}$

Траектория движения оси в случае заноса $f(\dot{x}_0, \ddot{x}_0, \dot{y}_0, \ddot{y}_0)$, где

$$\dot{y}_0 = (P_y - P_{сцy}) / m, \quad \ddot{y}_0 = \int \ddot{y}_0 dt$$

здесь: $\dot{y}_0$ и $\ddot{y}_0$ - скорость и ускорение поперечного перемещения оси измерительного колеса.

В случае отсутствия заноса траектория движения оси определяется как $f(\dot{x}_0, \ddot{x}_0)$

Задавшись шагом Δt , определяем новое значение координат оси измерительного колеса.

Повторяя приведенную последовательность операций, получаем ряд координат $x_{oi}, y_{oi} \dots$, характеризующих траекторию движения оси колеса.

Предлагаемый подход к исследованию рабочего процесса "пятого" колеса наглядно иллюстрируется рис.5, где приведены графики углового ускорения измерительного колеса при движении по синусоидальному профилю с длиной волны неровности $\lambda = 3\text{м}$ и высотой полуволны $d = 0.002\text{м}$. На графиках отчетливо видны характерные участки качения измерительного колеса с проскальзыванием и отрыва от опорной поверхности. На рис.6 представлен график изменения коэффициента преобразования в интервале скоростей движения от 100 до 200 км/час. Изменение коэффициента преобразования составило 0.3%. Учитывая тот факт, что погрешность измерения пройденного пути не должна превышать 0.5%, можно сказать, что учет влияния вертикальных колебаний при рассмотрении рабочего процесса "пятого" колеса является обязательным.

Разработанная математическая модель была реализована на гибридной вычислительной системе, где было проведено расчетное исследование влияния отдельных конструктивных особенностей и условий проведения измерений на параметры рабочего процесса "пятого" колеса. Исследовалась "чувствительность" подсистемы "измерительное колесо" к характеру демпфирующего воздействия подвески и усилию прижима колеса к опорной поверхности, а также к входному воздействию со стороны микропрофиля. Полученные зависимости изменения коэффициента преобразования от скорости движения при различном характере демпфирования, усилии прижима и амплитуде

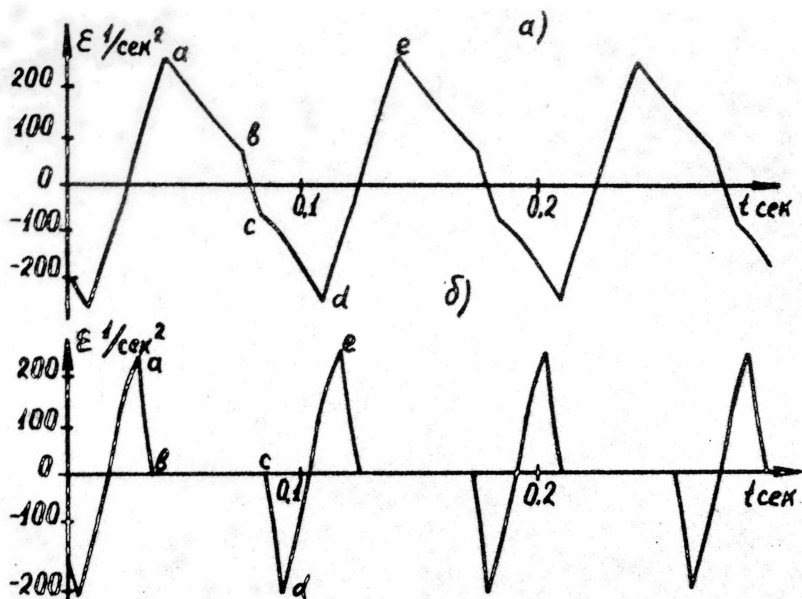


Рис. 5 Угловое ускорение измерительного колеса при движении по опорной поверхности синусоидального профиля: а) скорость 108 км/час (б-с, д-е - качение без проскальзывания; а-б, с-д - качение с проскальзыванием); б) скорость 126 км/час (д-е - качение без проскальзывания; а-б, с-д - качение с проскальзыванием; б-с - отрыв колеса).

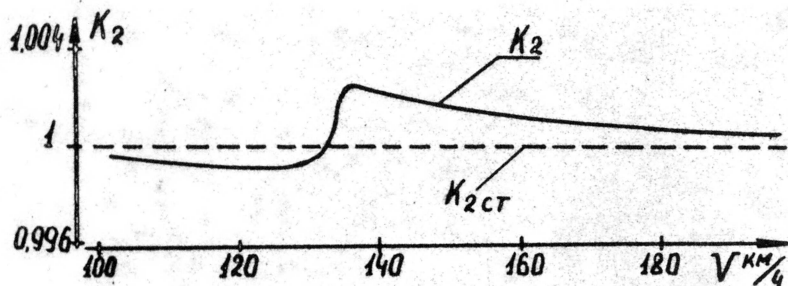


Рис. 6 Коэффициент преобразования измерительного колеса при движении по опорной поверхности синусоидального профиля (--- статический коэффициент преобразования).

входного воздействия (по сути частотные характеристики системы) представлены на рис.7 и 8.

Исследование влияния отрыва измерительного колеса от опорной поверхности в неустановившихся режимах движения показало, что относительное изменение коэффициента преобразования, обусловленное отрывом, может быть оценено выражением

$$\delta K_2 = 2 \cdot \rho_{отр} \cdot \ddot{x}_0 / (f_{отр} \cdot \dot{x}_{оср})$$

где: $f_{отр}$ — частота вертикальных колебаний колеса при качении о отрывом;

$\rho_{отр}$ — доля времени нахождения колеса в отрыве.

Так для "пятого" колеса ф.Пайолер изменение коэффициента преобразования оставило: при разгоне в интервале скоростей 65+75 км/час (ускорение 0.5 м/сек²) — 0.17%, а при торможении в интервале скоростей 50+40 км/час (замедление 5 м/сек²) — 0.4%.

Кроме этого исследовано влияние геометрических параметров подвески на ее преобразующие свойства и проведена оценка коэффициента рассогласования траектории движения при прохождении круговой кривой.

Рассмотрен также вопрос об использовании в качестве демпфирующего устройства в подвеске измерительного колеса динамического гасителя. В качестве критерия подбора и оценки параметров демпфирующего устройства использован известный ранее показатель — минимальное время "полета" колеса при наезде на единичную неровность.

Проведенный анализ математических зависимостей, описывающих рабочий процесс "пятого" колеса, и результатов исследования позволил сформулировать некоторые требования и рекомендации к конструкции как самого измерительного колеса, так и к механизму подвески, которые были положены в основу конструктивной проработки скоростного "пятого" колеса. Сформулированные рекомендации представлены в разделе — результаты и выводы.

В четвертой главе представлено описание разработанной конструкции скоростного "пятого" колеса, позволяющей проводить измерения при скоростях движения до 200 км/час. Конструкция выполнена на базе специального измерительного колеса: обод — цельнолитой, из легкого сплава, сохраняет стабильность исходной геометрии в режиме высоких скоростей движения; шина — диагональной конструкции, двухслойная, протекторная резина с повышенным содержанием каучука, рисунок — кольцевые канавки, имеет устойчивую

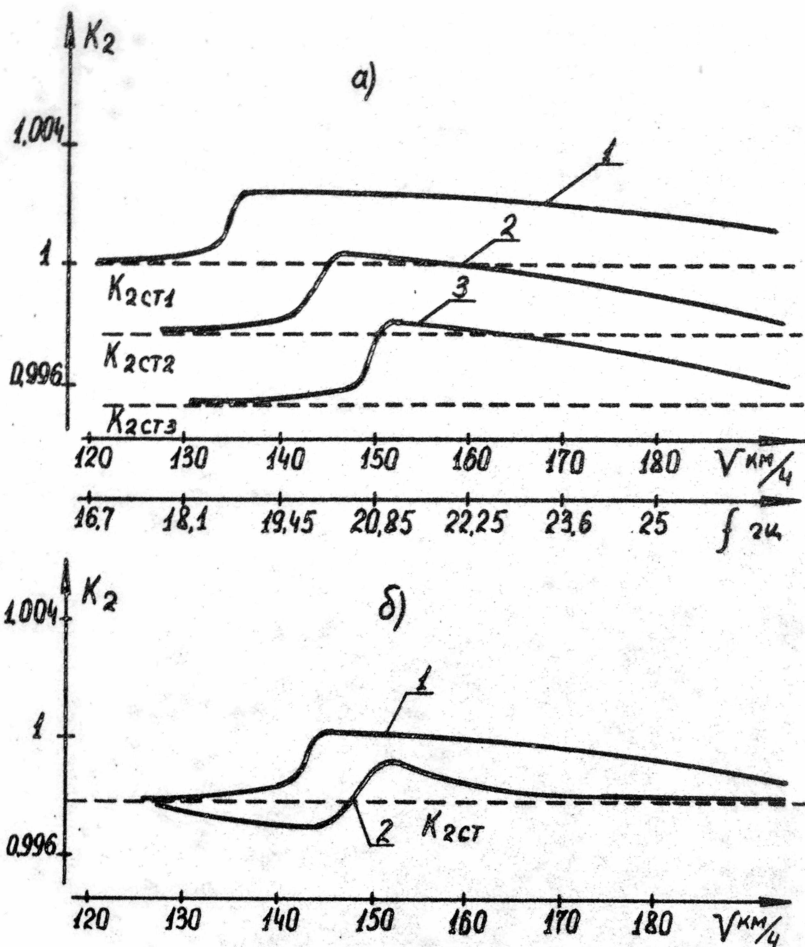


Рис. 7 Зависимость изменения коэффициента преобразования от скорости при движении по опорной поверхности синусоидального профиля: $\lambda = 2\text{м}$, $a = 1\text{мм}$. а) Демпфирование на ходе отбоя, усилие прижима: 1 - 150Н, 2 - 200Н, 3 - 250Н. б) Усилие прижима 200Н, демпфирование: 1 - на ходе отбоя, 2 - на ходе сжатия.

M477301

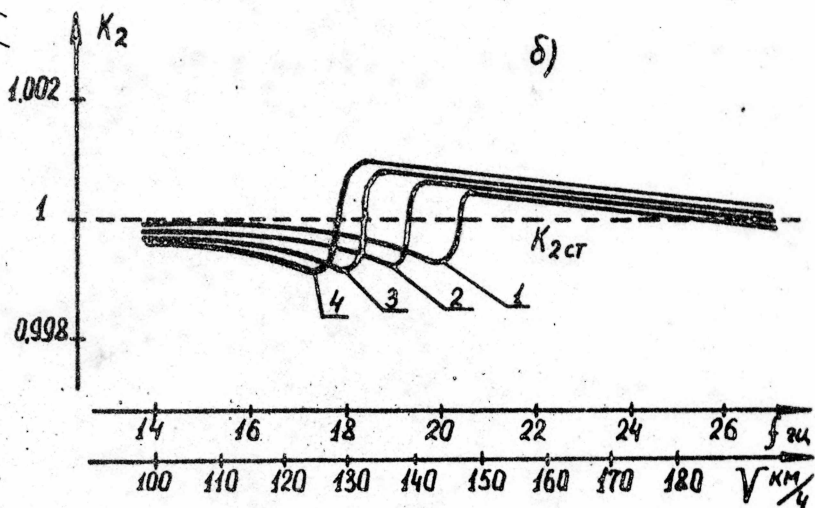
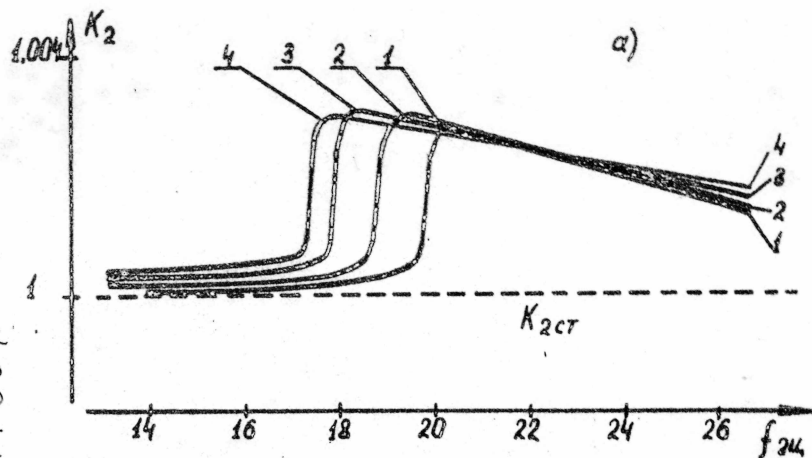


Рис. 8 Зависимость изменения коэффициента преобразования от скорости при движении по опорной поверхности синусоидального профиля с длиной волны $\lambda = 2\text{ м}$ и высотой полуволны: 1 - 0.75 мм, 2 - 1 мм, 3 - 1.25 мм, 4 - 1.5 мм ("пятое" колесо ПК-6). Усилие прижима 150 Н, демпфирование: "а" - на ходе отбоя; "б" - на ходе сжатия.

характеристику "радиус качения - скорость движения" во всем диапазоне скоростей. Подвеска колеса, представляющая собой четырехзвенный механизм, обеспечивает постоянное усилие прижима измерительного колеса к опорной поверхности при обкатывании неровностей микропрофиля и при вертикальных колебаниях автомобиля. В качестве гасителя вертикальных колебаний в системе применен гидропневматический амортизатор, обеспечивающий удовлетворительное гашение на малых ходах. Шарнирные узлы подвески выполнены специальными подшипниками серии ИС, что практически исключает появление люфтов, приводящих к возникновению вибраций в конструкции. В подвеске колеса предусмотрено устройство, предохраняющее конструкцию от поломки при движении задним ходом - колесо выводится из контакта с дорогой когда угол "складывания" рамы достигает критического значения. Разработанная модель "пятого" колеса оснащена оптоэлектронным импульсным датчиком пути, генерирующим один импульс на один сантиметр пути, в котором имеется канал "самоконтроля", позволяющий осуществлять контроль количества сгенерированных импульсов за один оборот колеса.

С целью выбора и обоснования параметров установки "пятого" колеса и исследования его метрологических характеристик были проведены испытания двух опытных образцов. Испытания проводились на динамометрической дороге автополигона НАМИ. Исследовались метрологические характеристики конструкции в реальных условиях эксплуатации. В качестве оцениваемого параметра, характеризующего метрологические свойства, была принята цена одного импульса датчика пути. Этот показатель принято нормировать в измерительных преобразователях такого типа.

По предварительным оценкам метрологических свойств опытных образцов скоростного "пятого" колеса и с учетом его конструктивных особенностей даны следующие рекомендации к применению:

- учитывая конструкцию и тип рисунка протектора шины измерительного колеса, данная модель может быть рекомендована к использованию на дорогах с асфальтобетонным покрытием;
- метрологические характеристики данной модели "пятого" колеса стабильны в пределах изменения атмосферных условий согласно требованиям ГОСТов на дорожные испытания автомобилей;
- разработанная модель ориентирована на проведение измерений при высоких скоростях движения и обеспечивает погрешность измерения в диапазоне скоростей до 200 км/час менее 0.5%, что позволяет рекомендовать ее для испытаний легковых автомобилей высшего и

среднего класса, грузовых автомобилей и автобусов;

- в пределах скоростей движения 20+120 км/час данная модель имеет практически линейную горизонтальную метрологическую характеристику $C = f(V)$, что позволяет на этих скоростях значительно повысить точность измерений (нет необходимости учитывать поправку на изменение цены импульса в этом диапазоне скоростей).

В пятой главе представлено описание способов и устройств их реализации, которые легли в основу разработанных методик статической и динамической поверки "пятого" колеса.

В основу разработанной методики статической поверки положен способ кинематического определения цены импульса аластичного измерительного колеса, заключающийся в следующем:

- "пятое" колесо устанавливают на специальной установке и производят регулировку контрольных параметров;
- измерительное колесо проворачивают на установке при помощи протягиваемой под ним с постоянной скоростью аттестованной мерной ленты, на которой посредством закрепленного на ободе колеса устройства наносят две метки - начала и конца пути, точно соответствующие одному обороту колеса;
- по расстоянию между метками, которое непосредственно считывается с мерной ленты, и количеству импульсов, вырабатываемых датчиком за один оборот колеса, вычисляют действительную цену импульса.

В основу методики динамической поверки "пятого" колеса в дорожных условиях положен способ оценки цены импульса датчика пути методом измерения длины контрольного участка дороги, заключающийся в следующем:

- на динамометрической дороге производят разметку контрольных участков (по 400 м) и проводят метрологическую аттестацию их длины;
- "пятое" колесо устанавливают на автомобиль и производят регулировку контрольных параметров;
- проезжают контрольные участки с постоянными скоростями: 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 км/час, одновременно производят счет импульсов, вырабатываемых датчиком пути на контрольном участке;
- путем деления известной длины контрольного участка дороги на подсчитанное количество импульсов, получают динамическую цену импульса для данной скорости движения;
- по полученным значениям динамической цены импульса строят мет-

рологическую характеристику.

В разработанной методике динамической проверки "пятого" колеса в лабораторных условиях дорожный эксперимент исключен. Определение динамической цены импульса производится на специальной установке, в которой качение измерительного колеса производится по движущейся ленте транспортера. Воздействие неровностей дороги на катящееся колесо и колебания точки подвеса моделируются специальными устройствами. Путь, пройденный измерительным колесом, при известной длине ленты транспортера, определяется количеством полных оборотов ленты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В целом по результатам настоящей работы сделаны следующие выводы:

1. Сформулированы технические требования к конструкции "пятого" колеса – стабильный радиус качения и контакт измерительного колеса с опорной поверхностью при усилии прижима, не нарушающем тягово-сцепных характеристик автомобиля, а также выполнение требования не нарушения аэродинамических свойств автомобиля.

2. Разработана схема "пятого" колеса, как устройства состоящего из нескольких функциональных систем, и математическая модель измерительного преобразователя, раскрывающая физическую сущность и внутренние взаимосвязи процессов, происходящих в функциональных системах. В качестве характеристики рабочего процесса "пятого" колеса предложен коэффициент преобразования, который представлен как произведение коэффициента преобразования механизма подвески и коэффициента преобразования измерительного колеса.

В качестве характеристики преобразующих свойств механизма подвески введено понятие коэффициента рассогласования траектории движения и предложен подход к его определению.

3. Проведено исследование влияния характера воздействия микропрофиля опорной поверхности, величины усилия дополнительного прижима колеса и характера демпфирования в системе подвески на коэффициент преобразования измерительного колеса. Получена количественная оценка изменения коэффициента преобразования, обусловленного вертикальными колебаниями и отрывом измерительного колеса от опорной поверхности, как при постоянных скоростях, так и при неустановившемся движении.

4. По результатам расчетно-теоретических исследований сфор-

мулированы некоторые рекомендации, которые могут быть положены в основу разработки конструкции "пятого" колеса:

- при одинаковой массе предпочтительно иметь измерительное колесо большего диаметра (отрицательное влияние увеличения момента инерции менее значимо, чем положительный эффект, достигаемый за счет увеличения динамического радиуса и радиуса качения колеса);
- обод измерительного колеса должен быть цельнолитой конструкции, что обеспечит постоянство походной геометрии колеса в режиме высоких скоростей движения;
- для оснащения измерительного колеса может быть рекомендована низкопрофильная шина радиальной конструкции (имеет более стабильную характеристику "радиус качения - скорость движения");
- шина измерительного колеса должна иметь высокую износостойкость и сцепные свойства с опорной поверхностью;
- механизм подвески должен обеспечивать развязку вертикальных колебаний измерительного колеса и точки подвеса;
- демпфирование вертикальных колебаний измерительного колеса целесообразней осуществлять на ходе колеса вверх;
- ось вертикального шарнира и ось измерительного колеса в рабочем положении должны находиться на одном горизонтальном уровне;
- длина вертикального маятника должна выбираться из условия выполнения соотношения $\Delta Z_c / \rho_{cm} \leq 0,1$;
- ось горизонтального шарнира должна быть по возможности максимально приближена к оси измерительного колеса;
- установку номинальной величины статического коэффициента преобразования необходимо производить регулировкой дополнительного усилия прижима, а не изменением давления воздуха в шине.

5. Разработана конструкция скоростного "пятого" колеса, позволяющая проводить измерения при скоростях движения до 200 км/час, которая может быть рекомендована для обеспечения испытаний легковых автомобилей высшего и среднего класса, а также грузовых автомобилей и автобусов на дорогах с асфальтобетонным покрытием.

6. Разработаны методики и аппаратные средства метрологической аттестации "пятого" колеса:

- методика статической поверки;
- методика динамической поверки в дорожных условиях;
- методика динамической поверки в лабораторных условиях.

Разработанная математическая модель рабочего процесса измерения и сформулированные рекомендации могут быть использованы

при разработке "пятого" колеса для иных условий эксплуатации и другого типажа транспортных средств.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Пучиньян И.А., Раков А.В. Требования к конструкции "пятого" колеса//Автомобильная промышленность.- 1985.- №1.- С. 18.

2. Раков А.В. К вопросу исследования работы эластичного колеса как измерительного преобразователя//Известия вузов. Машиностроение.- 1987.- №2.- С. 80-84.

3. Раков А.В. Синтез механизма подвески "пятого" колеса методами математического моделирования на ЭВМ//Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре "Проблемы совершенствования автомобильной техники".- Москва, 1986.

4. А.с. 1312366 СССР, МКИ² G 01 B 3/12. Способ определения цены деления эластичного измерительного колеса/В.А.Трутенъ, И.А.Пучиньян, А.В.Раков (СССР).- №3970990/25-28; Заявлено 07.05.85; Опубл. 25.05.87, Бюл. №19.

5. А.с. 1305521 СССР, МКИ² G 01 B 3/02. Устройство для определения пути эластичного измерительного колеса за один оборот /В.А.Трутенъ, И.А.Пучиньян, А.В.Раков (СССР).- №3915967/25-28; Заявлено 07.05.85; Опубл. 23.04.87, Бюл. №15.

6. А.с. 1317264 СССР, МКИ² G 01 B 3/12. Устройство для поверки измерительного "пятого колеса"/В.А.Трутенъ, И.А.Пучиньян, А.В.Раков (СССР).- №3970989/25-28; Заявлено 24.10.85; Опубл. 15.06.87, Бюл. №22.



РАКОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОЛЕСА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЙДЕННОГО ПУТИ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ
АВТОМОБИЛЯ С ЦЕЛЮ ВЫРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕГО
ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

(А в т о р е ф е р а т)

Подписано . 25.07.88 Формат 60х90 1/16 Объем 1,5 п.л.

1,2 уч. изд. л. Тираж 100 Заказ 761 МЛ-46413 Бесплатно

109068, Москва, Автозаводская, 16. Ротапринт Завода-вуза при ЗИЛе