

М 237911

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

МИТРОФАНОВ Валерий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ
И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ
ДВИЖИТЕЛЕЙ ПО ИСПЫТАНИЯМ ИХ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ МОДЕЛЕЙ

(Специальность 05.05.03 — Автомобили и тракторы)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



1237911

Митрофанов В.И. Исследования

Диссертационная работа выполнена на кафедре К-3 Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор Н. Ф. Бочаров.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук В. М. Семенов,
кандидат технических наук В. А. Пугин.

Ведущее предприятие — Днепропетровский филиал НИИ
шинной промышленности.

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.
в « » часов на заседании Совета Конструкторско-механи-
ческого факультета МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Ваши отзывы на авторе-
ферируемые печатания, просим на-
править по адресу: 107005, 2-я Бауманская ул.

С диссертацией можно
ознакомиться в библиотеке
им. Н. Э. Баумана.

Ученый секретарь Совета
факультета
к. т. н., доцент

M237911

В Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства подчеркнута необходимость ускорения темпов научно-технического прогресса и роста производительности труда - важнейших задач, определяющих не только путь, по которому страна пойдет в текущем пятилетии, но и общую ориентацию хозяйственного развития страны на длительную перспективу.

Интенсивный рост автомобилестроения и автопарка нашей страны, предусмотренный планом на 1971-1975 годы, требует значительного увеличения выпуска автомобилей общего назначения, создания и производства машин большой грузоподъемности (150-200 тонн) и транспортных средств повышенной проходимости, что вызывает увеличение общего производства шин, дальнейшее совершенствование их конструкций, а также выпуск новых шин (в частности - крупногабаритных). Очевидно, поставленные задачи нельзя выполнить без дальнейшего развития теории колесного движителя, в основу которой должны быть положены результаты теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия колесного движителя с опорной поверхностью.

В настоящее время во многих отраслях техники широко применяются различные методы моделирования и, в частности, исследования на геометрически подобных моделях. В автомобилестроении до настоящего времени основой для определения тягово-сцепных качеств колесных машин и колесных движителей были и остаются испытания опытных образцов, выполненных в натуральную величину. Понятно с какими трудностями приходится сталкиваться, например, при создании крупногабаритных шин большой грузоподъемности, диаметром более 2-3 метров, когда необходима дорогостоящая технологическая оснастка для их производства, а исследования таких шин занимает продолжительное время, требует больших материальных и физических затрат, уникального стендового оборудования.

Учитывая сказанное выше, целью данной работы явилось определение констант подобия исследуемых характеристик натуральных шин и их геометрически подобных моделей, связанных масштабом моделирования с определенным показателем степени. В данной работе рассмотрен процесс взаимодействия модели шины с твердой гладкой опорной поверхностью. Отсутствие достаточно полных и обоснованных теоретических и экспериментальных исследований, посвященных применению моделей шин, определило задачи данной работы:

- Разработку теоретически обоснованных исходных условий на создание резино-кордной оболочки модели шины и ее исследование при нагружении различными сочетаниями внешних сил.

M 237911

- Разработку методик экспериментальных исследований по определению кинематических параметров, упругих свойств и тягосцепных качеств моделей шин как при статическом нагружении, так и при качении по твердой опорной поверхности в различных режимах с малыми скоростями.

- Создание прессформ для производства моделей шин, изготовление моделей шин и стендового оборудования для их исследования.

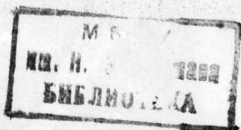
- Сравнение экспериментальных зависимостей одноименных параметров натур и модели для выявления степени их подобия, а также определение коэффициентов перехода от модели к натуре и наоборот.

- Выявление влияния некоторых конструктивных особенностей моделей шин на одноименные параметры их прототипов.

Первая глава посвящена истории развития теории подобия и анализа размерностей, их применению в практике исследования автомобилей и колесных движителей, а также краткому изложению основных теорем теории подобия и размерного анализа.

Проведенный исторический обзор свидетельствует о приоритете отечественной науки в развитии основных теорем теории подобия и размерного анализа. Так, в 1907г. автор трудов по строительной механике и теории упругости В.Л.Кирпичев дал блестящее изложение основ теории подобия и доказал первую теорему подобия. В 1911г. А.Федерман сформулировал и доказал основную теорему теории подобия и размерностей (вторую теорему) о возможности выражения физических законов в виде зависимостей между безразмерными числами (критериями подобия), характеризующими явление. В 1925г. Т.А.Афанасьева-Эренфест вывела обе теоремы подобия для любых явлений. В 1930г. М.В.Кирпичевым и А.А.Гухманом была сформулирована и доказана третья теорема подобия, сыгравшая огромную роль в развитии учения о моделировании, т.к. она установила условия, соблюдение которых необходимо и достаточно для реализации подобия. Сформирование основных положений теории подобия и размерного анализа дало возможность применить их к практике исследования автомобилей и колесных движителей.

Насколько известно, первые работы, посвященные определению параметров автомобиля на его модели, были работы О.Лютца и В.Камма, проведенные в 1934-1937гг. в Германии. В 1944г. они были продолжены А.Марквиком в Англии и М.Беккером в Канаде, а после окончания Второй мировой войны - М.Беккером, С.Нателем, Р.Мак-Коуном и др. в США и Канаде. В СССР исследования параметров автомобилей



на их моделях были начаты в 1940г. Н.И.Павликовским, продолженные затем Я.Х.Закиным, П.П.Ширяевым, В.С.Колесниковым и др. Однако, во всех перечисленных работах авторы, исследуя вопросы проходимости транспортных средств на местности, устойчивости и управляемости автомобилей, не затрагивали проблем моделирования собственно резинно-кордных оболочек колесных движителей.

Впервые М.О.Корнфельд, в 1940г., используя методы теории подобия и анализ размерностей, рассмотрел возможность проектирования шин с наперед заданными свойствами. Однако, рассматривая соотношения между параметрами, характеризующими шину, он исходил из предположения, что каркас шины представляет собой сплошную однородную оболочку, в результате чего из анализа выпал вопрос влияния слоистости каркаса на общие свойства шины и ее модели.

Представляют интерес работы коллектива авторов под руководством В.А.Петрушова, проводимые в НАМИ на шине TSG. Хотя данная шина не имела геометрически подобного прототипа, однако, ее исследование позволили авторам выявить характер протекания анализируемых процессов и оценить правильность полученных ими аналитических зависимостей.

Большим вкладом в области моделирования колесных движителей явились работы В.Л.Бидермана. Применяя методы теории подобия на основе размерного анализа, он составил безразмерные комплексы, характеризующие работу материалов в шине в зависимости от воздействия внутреннего давления и нормальной нагрузки, которые наиболее полно отражают геометрию корда и особенности ее конструкции.

Дальнейшим этапом развития работ В.Л.Бидермана явились исследования, проведенные Р.К.Гордоном в НИИ шинной промышленности, обосновывающие некоторые теоретические положения на технологию изготовления моделей, расчета моделей шин и определения ряда эксплуатационных характеристик. Эта работа явилась первой попыткой связать теоретические положения, вытекающие из подобия, с практическими исследованиями моделей шин. Однако, работа, выполненная Р.К.Гордоном, проводилась на модели шины без рисунка протектора, каркас которой был выполнен с нарушением условия подобия по слоистости, что не позволило получить коэффициенты пропорциональности при константах подобия, необходимые для определения параметров натуре по испытаниям ее модели.

Вторая глава посвящена особенностям применения теории подобия и анализа размерностей к созданию моделей колесных движителей и условиям их исследований. Особенность рассматриваемых процессов

заключается в том, что оболочка шины находится под воздействием большого числа разнородных факторов. В результате получаемые уравнения чаще всего состоят из многих величин самой различной физической природы. Однако, сложные по своей аналитической структуре они выражают физические законы, которые весьма просты как по существу, так и по форме, т.е. сложные явления можно выражать более простыми по своей физической природе величинами: геометрическим размером, длительностью процесса, массой изучаемого тела, скоростью, физическими константами, свойствами среды и т.д.

1. Некоторые вопросы моделирования резино-кордной оболочки шины

При моделировании оболочки учитываем, что модель колесного дви-

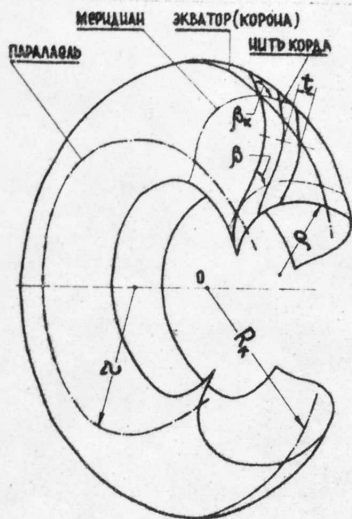


Рис.1

где: β - угол наклона нити корда в любой точке оболочки шины, β_k - угол наклона нити корда по экватору (короне), R_k - радиус по короне, z - расстояние от рассматриваемой точки до оси вращения, ρ - радиус кривизны оболочки, t - шаг нитей корда в слое, l - частота нитей в слое, C - константа подобия, т.е. отношение одноименных величин природы и модели. Индекс при C указывает на конкретную величину, а индексы "н" и "м" при величине относятся соответственно к природе и модели.

В работах В.Д.Бидермана и Р.К.Гордона указывалось на то, что углы β в слоях подобных шин должны быть одинаковыми, т.е. $\sin \beta_n = \sin \beta_m$

т.е. модель является геометрически подобной своему прототипу, а отношение геометрических размеров природы и модели есть масштаб моделирования λ_m , резина и материал, из которого изготавливаются нити корда природы и модели, одинаковы. Основные уравнения, определяющие полную геометрию нитей корда в слое и конструкцию каждого слоя в оболочке шины (рис.1), имеют вид:

$$\sin \beta = \frac{z}{R_k} \sin \beta_k, \quad (1) \quad i = \frac{1}{t}, \quad (2)$$

$$z_n / z_m = R_{kn} / R_{km} = \dots = \rho_n / \rho_m = \lambda_m. \quad (3)$$

Преобразование выражений 1,2,3 через константы подобия дает:

$$C_\beta = \frac{C_z}{C_{R_k}} \cdot C_{\beta_k}, \quad (4) \quad C_i = \frac{1}{C_t}, \quad (5)$$

$$C_z = C_{R_k} = C_\rho = C_t = \lambda_m, \quad (6)$$

или $C_\beta = 1$. Учитывая это замечание и выражение (6), из (4) следует, что $C_{\beta_k} = 1$ или $\beta_{kH} = \beta_{kM}$. Условия полного геометрического подобия (ПГП) требуют изменения полной толщины стенки оболочки δ , а также шага нити в слое t , что в свою очередь требует изменения диаметра нити корда α . Полная толщина стенки определится выражением: $\delta = \Delta\delta \cdot n$ или $C_\delta = C_{\Delta\delta} \cdot C_n$, (7) где: $\Delta\delta$ - толщина одного слоя обрешиненного корда, n - полное число слоев корда в оболочке шины. По условию C_β и $C_{\Delta\delta}$ есть λ_M , тогда из (7) и (5) с учетом (6) следует, что $C_n = 1$ или $n_H = n_M$ (8), а $C_i = \lambda_M^i$ или $i_M = \lambda_M \cdot i_H$ (9). Однако изменение диаметра (калибра) нити корда при сохранении особенностей его конструкции является достаточно сложной технической задачей, особенно при больших масштабах моделирования. Учитывая это замечание, целесообразно проследить возможность применения для изготовления моделей шин тех же кордных тканей, что и в натуре, т.е. условия неполного геометрического подобия (НГП). При НГП имеем: $C_\beta = \lambda_M$, $C_{\Delta\delta} = 1$, $C_t = 1$, из (7) и (5) подстановкой $C_\beta, C_{\Delta\delta}, C_t$ получим: $C_n = \lambda_M$ или $n_H = \lambda_M \cdot n_M$ (10) и $C_i = 1$ (11).

Таким образом, углы наклона нитей корда по короне в слое натуре и модели должны быть одинаковыми как при ПГП, так и при НГП. При ПГП число слоев корда в натуре и модели должно быть одинаковым, частота нитей корда в слое модели должна быть увеличена пропорционально произведению частоты нитей в слое натуре на масштаб моделирования. При НГП число слоев корда в оболочке модели шины должно быть уменьшено пропорционально отношению числа слоев корда натуре к масштабу моделирования при одинаковой частоте нитей корда в натуре и модели.

2. Нагружение оболочки внутренним давлением воздуха

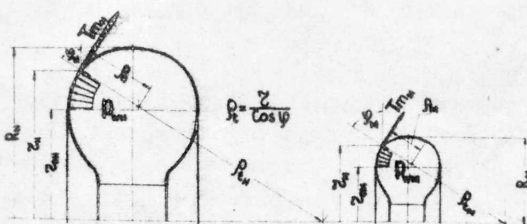


Рис.2

где: P_w - внутреннее давление воздуха, T_m - интенсивность меридианального усилия в оболочке шины.

Из геометрии профилей оболочек натуре и модели (рис.2) видно, что при условии геометрического подобия, когда $C_\beta = C_\alpha = \dots = C_\rho = \lambda_M$ (12) и $P_{wH} = P_{wM} = 0$, углы φ у натуре и модели будут равны, т.е. $\varphi_H = \varphi_M$ или $C_\varphi = 1$.

6.

Полагаем, что при $\frac{P_{wH}}{P_{wM}} = C_P$ изменение отношений геометрических размеров (рис.2) натуры и модели будет подчиняться условию: $C_{\varphi_0} = C_{R_0} = C_{P_0} = C_{P_0} = \dots = \lambda_M$ (13) при $C_{\varphi_0} = 1$. Уравнение равновесия элемента $(z - z_0)_0$ резино-кордной оболочки в общем случае имеет вид: $T_m \cdot 2\pi \cdot z_0 \cdot \cos \varphi_0 = P_w (z^2 - z_0^2) \cdot K$, что через константы с учетом (12) и (13) дает: $C_{Tm} = C_{P_w} \cdot \lambda_m$. (14)

В.Л.Бидерманом была получена зависимость, связывающая интенсивность меридианального усилия в оболочке шины с усилием в нити корда: $T_m = N \cdot n \cdot i \cdot \cos^2 \beta$ или $C_{Tm} = C_N \cdot C_n \cdot C_i \cdot C_{\beta}^2$. (15)

Сравнивая (14) и (15) в общем случае, имеем: $C_N \cdot C_n \cdot C_i = C_{P_w} \cdot \lambda_m$. (16) При НГП - подстановка в (16) выражений (8) и (9) дает:

$C_N = C_{P_w} \cdot \lambda_m^2$ (17). При НГП - подстановка в (16) значений (10) и (11) дает: $C_N = C_{P_w}$ (18). Однако, усилие в нити корда связано с напряжением условием: $N = G \cdot F_{кор}$, что при равенстве напряжений в элементах резино-кордной оболочки натуры и модели соответственно дает: при НГП - $C_N = \lambda_m^2$, при НГП- $C_N = 1$, подстановка которых в (17) и (18) однозначно определит: $C_{P_w} = 1$ или $P_{wH} = P_{wM}$ (19).

Таким образом, при моделировании диаметра нити корда, шага и плотности нитей корда в слое (случай НГП) равенство усилий в нитях корда натуры и модели достигается увеличением значения P_{wH} - модели пропорционально произведению P_{wH} - натуры на квадрат масштаба моделирования.

Применение в моделях шин тех же кордных тканей, что и в натуре (случай НГП), обуславливает равенство усилий в нитях корда натуры и модели при одинаковых значениях внутреннего давления воздуха.

Выполнение указанных выше условий обуславливает изменение отношений геометрических размеров натуры и модели пропорционально масштабу моделирования.

3. Нагрузочные характеристики

При нагружении шины P_w и нормальной нагрузкой - G_K видно (рис.1), что в данном случае преобладающей будет сила упругости, т.к. под действием G_K шина получит прогиб $h_{ш}$. Следовательно, можно записать, что: $G_K = C_{ш} \cdot h_{ш} = R_z$ (20). $R_z = P_K \cdot F_K = E \cdot \delta \cdot F_K$ (21) где $C_{ш}$ - жесткость шины в радиальном направлении, R_z - сила упругости, P_K - среднее удельное давление в контакте, F_K - площадь контакта, E - модуль упругости материала оболочки, δ - относительная деформация материала шины.

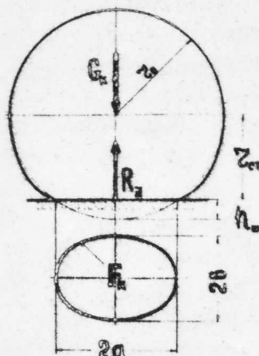


Рис.3

показывает, что: $C_{сш} = \lambda_m$ или $C_{сш} = \lambda_m \cdot C_{сшм}$. (26)

Известно, что скорость деформации $V_{сш}$ и время деформации $t_{сш}$ имеют существенное значение при определении упругих свойств резино-кордных оболочек шин. В упругих системах они определяются выражениями $V_{сш} = \frac{h_{сш}}{t_{сш}}$; $t_{сш} = \sqrt{\frac{m_{сш}}{C_{сш}}}$; при $m_{сш} = \rho_{сш} \cdot V_{сш}$, (27) где: $m_{сш}$ - масса оболочки шины, $\rho_{сш}$ - плотность материала шины, $V_{сш}$ - объем материала оболочки шины.

Преобразуя (27) через константы подобия и учитывая, что $C_{R_{сш}} = \lambda_m C_{сш} = \lambda_m$, $C_{R_{сш}} = 1$, $C_{R_{сш}} = \lambda_m^3$, получим: $C_{m_{сш}} = \lambda_m^3$, $C_{t_{сш}} = \lambda_m$, $C_{V_{сш}} = 1$ или $m_{сш} = \lambda_m^3 \cdot m_{сшм}$, $t_{сш} = \lambda_m \cdot t_{сшм}$, $V_{сш} = V_{сшм}$. (28) Следовательно, при изготовлении моделей шин из тех же материалов, что и натура, отношение их масс будет пропорционально кубу масштаба моделирования. Величина нормальной нагрузки на модель должна быть уменьшена пропорционально отношению нагрузки на натуру к квадрату масштаба моделирования при одинаковых значениях внутреннего давления воздуха в натуре и модели. При этом отношение прогибов, жесткостей и времени деформации должно быть пропорционально масштабу моделирования, а скорости деформации у оболочек натуре и модели должны быть одинаковыми.

4. Моделирование процесса качения.

Учитывая, что дифференциальных уравнений, включающих все факторы, влияющие на процесс качения колеса с пневматической шиной, до настоящего времени не составлено, а имеющиеся полуэмпирические зависимости включают лишь часть факторов, был применен метод получения констант подобия при помощи размерного анализа. При этом считалось, что модель шины является геометрически подобной, выпол-

Преобразование выражений (20) и (21) через константы подобия дает: $C_{G_K} = C_{сш} \cdot C_{h_{сш}}$, (22)

$$C_{R_K} = C_{R_K} \cdot C_{R_K} = C_E \cdot C_{сш} \cdot C_{h_{сш}} = C_{G_K}. \quad (23)$$

При изготовлении моделей и натуре из одних и тех же материалов, когда $E_n = E_m$, $\epsilon_n = \epsilon_m$ и отношении нормальных нагрузок равно $G_{Kn}/G_{Km} = C_{G_K}$, полагаем, что отношение их геометрических размеров будет изменяться согласно выражению

$$\frac{h_n}{h_m} = \frac{a_n}{a_m} = \frac{\epsilon_n}{\epsilon_m} = C_{h_{сш}} = C_a = C_b = \lambda_m. \quad (24)$$

Учитывая сказанное выше, из (23) следует: $C_{G_K} = \lambda_m^2$ или $G_{Kn} = \lambda_m^2 \cdot G_{Km}$. (25)

Подстановка в (22) значений (25) и (26)

нена из тех же резино-кордных материалов, что и натура, отношения внутренних давлений воздуха, масс и свободных размеров натур и модели подчиняются выражениям (12), (19), (28). Качение производится по твердой поверхности в различных режимах.

При взаимодействии колесного движителя с опорной поверхностью преобладающее значение имеет сила сопротивления качению, которая в основном определяет как изменение кинематических параметров, так и его тягово-сцепные качества. Полагаем, что сила сопротивления качению является функцией следующих величин:

в ведомом режиме - $P_{\text{жк}}^0 = f(G_k, \rho_w, J_k, V_k, \rho_w, K_w, z_0, z_k^0)$, (29)

в ведущем (тормозном) режиме -

$$P_k = f(G_k, M, \rho_w, J_k, m_w, C_w, K_w, V_k, t, \omega_k, \lambda_k, z_0, z_k). \quad (30)$$

На основании теоремы и матрицы размерностей из функциональных зависимостей были определены критерии подобия, преобразование которых через константы подобия дало обуславливающие равенства:

1. Для ведомого режима -

$$\frac{C_{P_f} \cdot C_{J_k}}{C_{K_w}^2 \cdot C_{z_0}^3} = 1, \quad \frac{C_{G_k} \cdot C_{J_k}}{C_{K_w}^2 \cdot C_{z_0}^3} = 1, \quad \frac{C_{P_w} \cdot C_{J_k}}{C_{K_w}^2 \cdot C_{z_0}^3} = 1, \quad \frac{C_{J_k} \cdot C_{V_k}}{C_{K_w}^2 \cdot C_{z_0}^3} = 1, \quad \frac{C_{P_w} \cdot C_{z_0}^5}{C_{J_k}} = 1, \quad \frac{C_{z_k^0}}{C_{z_0}} = 1.$$

2. Для ведущего (тормозного) режима -

$$\frac{C_{P_f} \cdot C_t^2}{C_{m_w} \cdot C_{z_k}} = 1, \quad \frac{C_{G_k} \cdot C_t^2}{C_{m_w} \cdot C_{z_k}} = 1, \quad \frac{C_{M} \cdot C_t^2}{C_{m_w} \cdot C_{z_k}^2} = 1, \quad \frac{C_{P_w} \cdot C_{z_k}^2 \cdot C_t}{C_{m_w}} = 1, \quad \frac{C_{J_k}}{C_{z_k}^2 \cdot C_{m_w}} = 1, \\ \frac{C_{C_w} \cdot C_t^2}{C_{m_w}} = 1, \quad \frac{C_{K_w} \cdot C_t}{C_{m_w}} = 1, \quad \frac{C_{V_k} \cdot C_t}{C_{z_k}} = 1, \quad \frac{C_{\lambda_k} \cdot C_{z_k} \cdot C_{m_w}}{C_t^2} = 1, \quad C_{\omega_k} \cdot C_t = 1, \quad \frac{C_{z_0}}{C_{z_k}} = 1,$$

где: $G_k, \rho_w, \rho_w, C_w, m_w$ - те же, что и выше, M - подводимый момент, J_k - момент инерции шины, V_k - линейная скорость шины, K_w - коэффициент демпфирования материала шины, ω_k - угловая скорость оболочки шины, t - время, z_0 - свободный радиус, z_k^0 - радиус качения в ведомом режиме, z_k - радиус в ведущем (тормозном) режиме, λ_k - коэффициент тангенциальной эластичности.

Подстановка в обуславливающие равенства полученных ранее значений $C_{P_w}, C_{m_w}, C_{P_w}, C_{z_0}$ дает следующие константы подобия одноименных параметров натур и модели, выраженные масштабом моделирования: $C_{z_k} = C_{z_k^0} = \lambda_m, C_{C_w} = \lambda_m, C_t = \lambda_m, C_{G_k} = \lambda_m^2, C_{K_w} = \lambda_m^2,$

$C_{P_f}^0 = C_{P_f} = \lambda_m^2, C_M = \lambda_m^3, C_{J_k} = \lambda_m^5, C_{V_k} = 1, C_{\omega_k} = \lambda_m^{-1}, C_{\lambda_k} = \lambda_m^{-2}$. Таким образом, определены основные константы подобия, характеризующие конструкцию резино-кордных оболочек, кинематические параметры, упругие свойства и тягово-сцепные качества натуральных шин и

их геометрически подобных моделей.

В третьей главе рассмотрены вопросы создания технологической оснастки для производства моделей шин с рисунком и без рисунка протектора самих моделей, стендового оборудования для их исследования, а также вопросы разработки методик экспериментальных исследований. Показаны особенности разработки и изготовления прессформ моделей шин с рисунком протектора в масштабах моделирования

$\lambda_m = 4, 5, 9$, прототипом которых были шины: с регулируемым давлением воздуха ОИ-25 размером 14.00-20, И-159 размером 16.00-20 и крупногабаритной - В-179 размером 24.00-49. Приводится методика сборки покрышек моделей шин ОИ-25 и дается анализ их срезов, подтверждающий подобие резино-кордных оболочек натуре и моделей. Показана конструкция стендов для испытания моделей шин и описан принцип их работы.

Четвертая глава посвящена вопросам экспериментального исследования моделей шины ОИ-25, выполненных в масштабе $M 1:4$ ($\lambda_m = 4$), различной слоистости с рисунком и без рисунка протектора. Выбор прототипа данной модели шины был обусловлен тем, что этот прототип является шиной с регулируемым давлением, т.е. она предназначена для эксплуатации в широком диапазоне внутренних давлений воздуха, а с другой стороны, тем, что кафедрой "Колесные машины" МВТУ им.Баумана были проведены широкие исследования шины 14.00-20 (ОИ-25) различной слоистости, а также испытаниями НАМИ и УралАЗ.

Экспериментальные исследования моделей шины проводились в диапазоне внутренних давлений воздуха $P_m = 0,5 - 4,0 \text{ кг/см}^2$ и нормальной нагрузки $G_{km} = (0,25 \div 1,3) \lambda_m^2 \cdot G_{kn}$, где G_{kn} - номинальная нормальная нагрузка на прототип, равная 2500 кг. Для выявления степени подобия качественных характеристик и количественных значений исследуемых параметров натуральных шин и их моделей экспериментальные зависимости были построены в виде сравнительных характеристик, когда по оси абсцисс и оси ординат одноименные параметры натуре и модели отложены с учетом масштаба подобия.

Экспериментальные исследования показали, что функциональные зависимости параметров натуре и модели подобны. Из сравнения зависимостей некоторых основных параметров, приведенных на рис. 4 + 12, следует, что параметры натуре могут быть определены с достаточной степенью точности по экспериментальным исследованиям моделей, а их численные значения подсчитываются по выражениям для: свободного радиуса - $\Sigma_{0H} = (0,95 \div 0,98) \lambda_m \cdot \Sigma_{0m}$, статического прогиба - $h_H = (0,96 \div 0,98) \lambda_m \cdot h_m$, радиуса качения в ведомом

10.

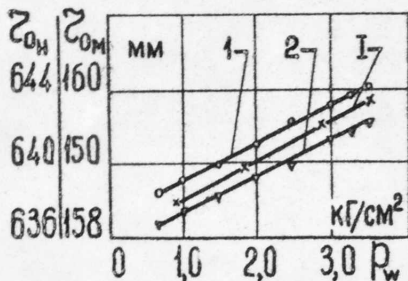


Рис. 4 Соответствие $z_o = f(p_w)$ природы и моделей.

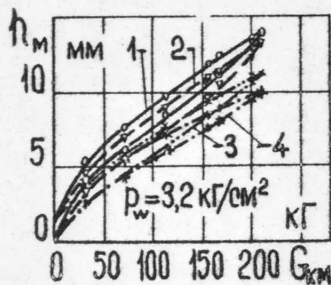


Рис. 5 Нагрузочные характеристики моделей.

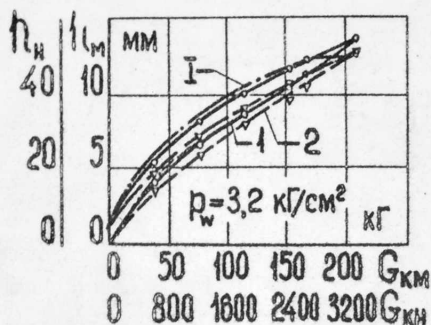


Рис. 6 Соответствие $h = f(G_k)$ природы и моделей.

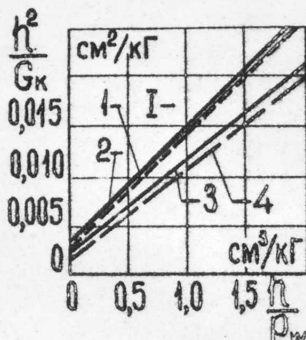


Рис. 7 Соответствие универсальных характеристик.

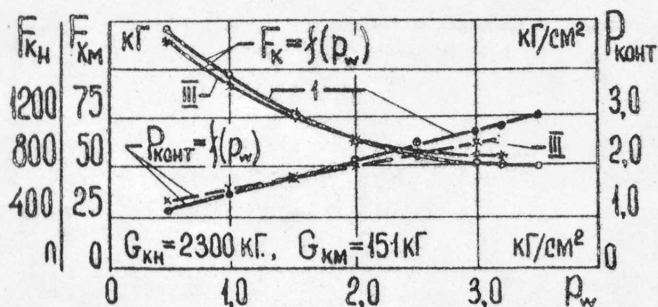


Рис. 8 Соответствие $F_k = f(p_w)$ и $P_{конт} = f(p_w)$ природы и моделей.

I — натура, по данным НИИ, III — натура, по данным УралАЗ, 1 — модель с рисунком протектора, 2 — модель без рисунка протектора.

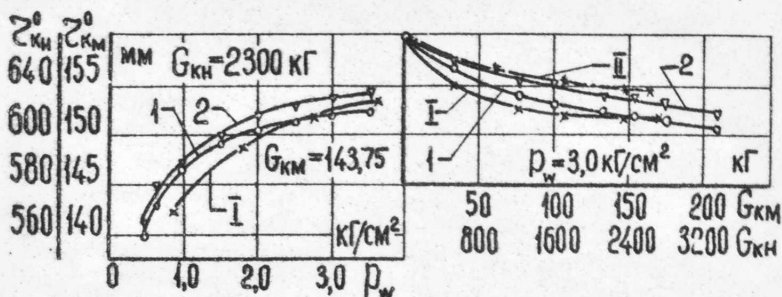


Рис.9 Соответствие $z_k = f(p_w)$ и $z_k = f(G_k)$ природы и моделей. I—натура, по данным НАМИ, II—натура, по данным МВТУ, 1—модель с рисунком протектора, 2—модель без рисунка протектора.

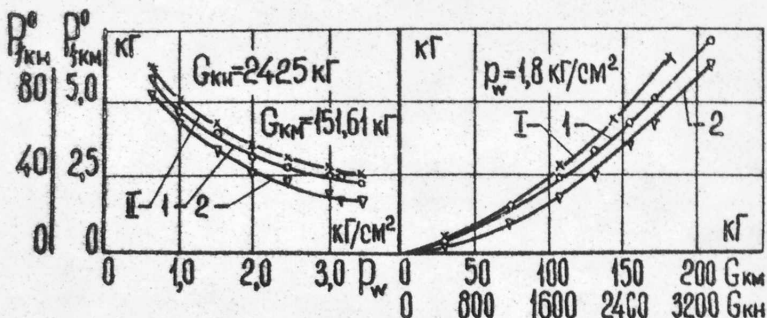


Рис.10 Соответствие $p_k^0 = f(p_w)$ и $p_k^0 = f(G_k)$ природы и моделей.

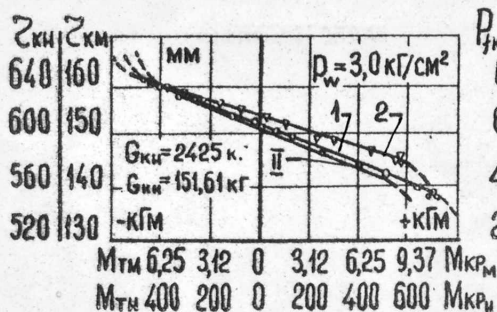


Рис.11 Соответствие $z_k = f(M)$ природы и моделей.

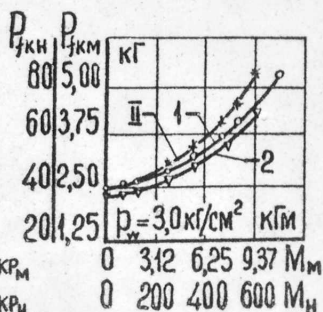


Рис.12 Соответствие $p_k = f(M)$ природы и моделей.

режиме - $\varphi_{KH}^0 = (0,98 \pm 0,99) \lambda_m \cdot \varphi_{KM}^0$, радиуса качения в ведущем (тормозном) режиме - $\varphi_{KH} = (0,97 \pm 0,99) \lambda_m \cdot \varphi_{KM}$, площади пятна контакта - $F_{KH} = (0,95 \pm 0,98) \lambda_m^2 F_{KM}$, контурного удельного давления в контакте - $P_{KH} = (0,97 \pm 0,99) P_{KM}$, параметров - $C_{1H} = 0,98 C_{1M}$ и $C_{2H} = (0,95 \pm 0,98) \lambda_m^2 C_{2M}$, сил сопротивления качению: $P_{fH}^0 = (1,15 \pm 1,2) \lambda_m^2 \cdot P_{fM}^0$ и $P_{fH} = (1,06 \pm 1,55) \cdot \lambda_m^2 P_{fM}$, коэффициента тангенциальной эластичности - $\lambda_m^2 \cdot P_{fM}$ и т.д. Модели шин, выполненные с нарушением подобия по слоистости и без рисунка протектора, хотя и применимы для определения параметров их прототипов, однако, имеют меньшее соответствие с натурой о чем свидетельствуют зависимости, приведенные на рис.5 и рис.7.

Глава пятая посвящена оценке экономической эффективности применения метода масштабных моделей к практике создания и исследования автомобильных шин. Отсутствие методик оценки применения моделирования автомобильных шин не позволило провести подробный анализ, т.к. достоверные результаты экономической эффективности применения данного метода могут быть получены только в результате серьезных экономических исследований. Однако, проведенная приближенная оценка затрат на производство технологической оснастки (прессоформ) для изготовления моделей шин, затраты на приобретение покрышек натуральных шин и моделей, некоторых видов стендового оборудования, а также на ускоренные ходовые испытания шин ОИ-25 и их моделей позволила установить, что экономический эффект в данном случае составил более 300 тыс.рублей.

Выводы

1. Применение положений теории подобия позволило получить аналитические зависимости, определяющие **расположение** нитей корда в оболочке модели шины.

2. Анализ напряженного состояния резино-кордной оболочки геометрически подобной модели, нагруженной внутренним давлением воздуха, позволил установить, что:

а) применение тех же кордных материалов, что и в прототипе обуславливает равенство напряженных состояний резино-кордных оболочек натур и модели при одинаковых значениях внутреннего давления воздуха и уменьшении числа слоев корда в модели пропорционально масштабу моделирования. Оно наиболее целесообразно, т.к. снижает стоимость изготовления моделей и ускоряет процесс их производства;

б) при моделировании диаметра нити корда и его конструкции в слое равенство усилий в нитях корда оболочек натурн и модели достигается увеличением внутреннего давления воздуха в модели пропорционально квадрату масштаба моделирования при одинаковом числе слоев корда, что также должно обеспечить пропорциональность отношения свободных размеров оболочек натурн и модели масштабу моделирования.

3. Применение методов теории подобия к определению нагрузочных и универсальных характеристик натурных шин показало, что изменение геометрических размеров и упругих свойств у натурн и ее модели должно быть подобно. Полученные при этом аналитические зависимости свидетельствуют о том, что изменение одноименных параметров натурн и модели должно быть пропорционально масштабу моделирования с определенным показателем степени.

4. Применение анализа размерностей к функциональным зависимостям, характеризующим процесс качения пневматической шины, позволило получить критерии подобия кинематических параметров, упругих свойств и тягово-сцепных качеств натурн и модели.

5. Установленные из Анализа размерности константы идентичны константам, полученным методами теории подобия, а аналитические зависимости показывают, что соотношения радиусов качения, сил сопротивления качению, моментов инерций, подводимых моментов и т.д. также изменяются пропорционально масштабу моделирования с определенным показателем степени.

6. Создание технологической оснастки для производства различных моделей шин, а также стендового оборудования для их исследования позволили на практике проверить справедливость разработанных методик определения их необходимых параметров.

7. Изготовление моделей шины ОИ-25 различной слоистости с рисунком и без рисунка протектора, их экспериментальное исследование подтверждают справедливость полученных аналитических зависимостей и принятых при их выводе допущений.

8. Анализ одноименных экспериментальных зависимостей натурн и модели показывает на подобный характер их изменения. Сравнение их численных значений дало возможность определить коэффициенты пропорциональности при масштабах моделирования, позволяющих получать значения параметров прототипа по испытаниям его модели.

9. Предложенный графо-аналитический метод сравнения соответствия исследуемых параметров с учетом степенного показателя масштаба моделирования позволяет производить как их качественную,

так и количественную оценку.

10. Проведенный экономический анализ показал на высокую эффективность применения рассмотренного метода к практике создания и исследования новых типов колесных движителей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Митрофанов В.И., Гусев В.И.; Макаров С.Г., Бочаров Н.Ф. - Определение свободного радиуса модели колесного движителя и его соответствие протектору. Известия вузов. "Машиностроение", № 8, 1971г.

2. Митрофанов В.И., Гусев В.И., Макаров С.Г., Коновалов В.В., Бочаров Н.Ф. - Определение нагрузочных характеристик шин по испытаниям их моделей. Известия вузов. "Машиностроение", № 5, 1972г.

3. Бочаров Н.Ф., Митрофанов В.И. - Применение методов подобия и анализа размерностей к практике исследования автомобилей и колесных движителей. Труды МВТУ № 166. М., 1973г.

4. Коновалов В.В., Макаров С.Г., Митрофанов В.И., Гусев В.И., Бочаров Н.Ф. - Силовой баланс колесного движителя при его статическом нагружении. Известия вузов. "Машиностроение", № 6, 1973г.

5. Митрофанов В.И., Бочаров Н.Ф., Коновалов В.В., Макаров С.Г., Гусев В.И., Малинин В.А. - Определение радиуса качения колесного движителя по испытаниям его модели. Известия вузов. "Машиностроение", № 7, 1973г.

6. Митрофанов В.И., Гордон Р.К., Трошенков И.В. - Экспериментальные исследования модели шины И-202. Труды МВТУ, № 166. М., 1973г.

7. Митрофанов В.И., Козлов А.Д., Гусев В.И., Бочаров Н.Ф. - Технологическая оснастка для изготовления моделей шин. Труды МВТУ, № 166. М., 1973г.

8. Коновалов В.В., Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Макаров С.Г., Митрофанов В.И. - Стенд для испытания моделей колесных движителей. Труды МВТУ № 166. М., 1973г.

9. Митрофанов В.И., Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Макаров С.Г., Коновалов В.В. - Стенд с грунтовым каналом для определения параметров качения модели колесного движителя. Труды МВТУ № 166. М., 1973г.

10. Коновалов В.В., Митрофанов В.И., Гусев В.И., Макаров С.Г., Стрементарев В.А., Пугин П.П., Ермаков В.К. Стенд для статического испытания колес транспортных средств. Авторское свидетельство № 389430. Бюллетень изобретений № 29, 1973г.

Основные положения диссертации доложены:

на Юбилейной межвузовской научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина. МВТУ. 1970г.;
на XXXI и XXXII научно-исследовательских конференциях МАДИ. 1973 и 1974гг.;

на Всесоюзном научно-техническом совещании "Проблема повышения проходимости автомобилей". НАМИ. 1974г.