

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПРАВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИН ПРИ РАСЧЁТЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЁСНЫХ МАШИН

**Михаил Павлович Малиновский**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [ntbmadi@gmail.com](mailto:ntbmadi@gmail.com),

**Клим Витальевич Базеев**, студент,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [bazeev.k@yandex.ru](mailto:bazeev.k@yandex.ru)

**Илья Владимирович Балясников**, студент,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [vova.75.vova@mail.ru](mailto:vova.75.vova@mail.ru)

**Аннотация.** Расчёт таких эксплуатационных свойств автотранспортных средств как тяговая динамичность, тормозная эффективность, устойчивость, управляемость и плавность хода при проектировании их систем управления, к которым относятся рулевое управление, антиблокировочная система, противобуксовочная система, система динамической стабилизации, система регулирования давления воздуха в шинах, проводится с использованием геометрических параметров шин.

Экспериментальное определение характеристик шин является сложным и трудоёмким. Среди справочных данных по шинам имеются наружный диаметр, статический радиус, радиус качения, номинальная нагрузка на колесо, номинальное давление в шине, посадочный диаметр и ширина профиля. Авторы разработали методику для определения динамического радиуса колеса, нормальная жёсткость шины, длина пятна контакта и внутренний объём шины. Перечисленные параметры применяются для решения таких задач, как дифференциальное уравнение движения, определение коэффициента вращающихся масс, определение эквивалентной жёсткости подвески, моделирование свойств устойчивости и управляемости, расчёт объёма ресивера для системы управления давлением в шинах. В результате исследования для различных типоразмеров шин установлены отношения свободного, статического и динамического радиусов, степень изменения давления в шине при снятии с неё статической нагрузки, а также обоснована необходимость учёта толщины шины при расчёте её внутреннего объёма в свободном состоянии и при статической нагрузке.

**Ключевые слова:** автотранспортные средства, системы активной безопасности, пневматический привод, радиус колеса, жёсткость шины

## USE OF REFERENCE TIRE PARAMETERS WHEN CALCULATING CONTROL SYSTEMS OF WHEELED VEHICLES

**Malinovsky Mikhail P.**, associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [ntbmadi@gmail.com](mailto:ntbmadi@gmail.com)

**Bazeev Klim V.**, student,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [bazeev.k@yandex.ru](mailto:bazeev.k@yandex.ru)

**Balyasnikov Ilya V.**, student,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [vova.75.vova@mail.ru](mailto:vova.75.vova@mail.ru),

**Abstract.** Calculation of such operational properties of vehicles as traction dynamics, braking efficiency, stability, controllability and smoothness of the ride, when designing their control systems, which include steering, anti-lock braking system, traction control, dynamic stabilization system, tire pressure regulation system, carried out using geometric parameters of tires. Experimental tire characterization is complex and time consuming. Among the reference data for tires are the outer diameter, static radius, rolling radius, nominal wheel load, nominal tire pressure, fit diameter and profile width. The authors developed a methodology for determining the dynamic radius of the wheel, the normal stiffness of the tire, the length of the contact spot and the internal volume of the tire. These parameters are used to solve problems such as the differential equation of motion, determining the coefficient of rotating masses, determining the equivalent stiffness of the suspension, modeling the stability and controllability properties, calculating the receiver volume for a tire pressure control system. As a result of the study, the ratios of free, static and dynamic radii, the degree of change in pressure in the tire when removing the static load from it, were established for various tire sizes, and the need to take into account the thickness of the tire when calculating its internal volume in a free state and under a static load was justified.

**Keywords:** motor vehicles, active safety systems, pneumatic drive, wheel radius, tire stiffness

## Введение

При расчёте различных систем управления автотранспортных средств (АТС), включая системы активной безопасности (САБ), возникает необходимость в использовании геометрических параметров шин. К таким системам можно отнести рулевое управление, антиблокировочную систему (АБС), противобуксовочную систему (ПБС), систему динамической стабилизации (СДС), систему регулирования давления воздуха в шинах (СРДВШ). При проектировании АТС «оценка важнейших эксплуатационных свойств» [1], таких как тяговая динамика, тормозная

эффективность, устойчивость, управляемость и плавность хода, не обходится без учёта поведения шин. Экспериментальное определение характеристик шин является весьма трудоёмким и не всегда доступным. Поэтому для решения различных задач при проектировании АТС применяют расчётные методы, основанные на справочных данных. Рассмотрим подробнее данную проблему.

### Постановка задачи

1. Алгоритмы функционирования ПБС и АБС основаны на решении дифференциального уравнения движения колеса:

$$m_A a_X r_d + J_k \varepsilon_k = M_{тр} - M_{тм} - r_d \sum F_c ,$$

где  $m_A$  – масса АТС, приходящаяся на данное колесо;

$a_X$  – продольное ускорение АТС;

$r_d$  – динамический радиус колеса;

$J_k$  – момент инерции колеса;

$\varepsilon_k$  – угловое ускорение колеса;

$M_{тр}$  – крутящий момент, который подводится от трансмиссии;

$M_{тм}$  – крутящий момент, создаваемый тормозным механизмом.

$\sum F_c$  – сумма всех сил сопротивления, приведённые к колесу.

Тягово-динамический расчёт АТС [2] базируется на решении общего дифференциального уравнения движения [3], в состав которого входит «коэффициент учёта вращающихся масс» [4]:

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{J_d U^2 \eta + \sum J_k}{r_d^2 m} ,$$

где  $J_d$  – момент инерции двигателя;

$U$  – суммарное передаточное число трансмиссии;

$\eta$  – КПД трансмиссии;

$\sum J_k$  – сумма моментов инерции всех колёс;

$r_d$  – динамический радиус колёс;

$m$  – масса АТС.

Оба уравнения включают динамический радиус колеса  $r_d$ , который определяется исключительно опытным путём, хотя при проектировочных расчётах «радиус качения  $r_k$  можно приравнять статическому радиусу и подсчитать примерно как  $r_{ст}=r_k=\lambda r_{св}$ , где коэффициент  $\lambda$ , учитывающий радиальную деформацию шин, для стандартных шин равен 0,9...0,96, для шин с регулируемым давлением воздуха 0,92...0,93, а при минимальном давлении воздуха в них – 0,87...0,9» [1, 2].

2. «Для подвесок колесных машин, имеющих эластичную шину, при рассмотрении одномассовой колебательной системы определяется коэффициент эквивалентной жёсткости» [5]:

$$C_э = \frac{\bar{C}_p C_{ш}}{\bar{C}_p + C_{ш}},$$

где  $C_p$  – приведённый коэффициент жёсткости упругого элемента;

$C_{ш}$  – коэффициент нормальной жёсткости шины.

Нормальная жёсткость шины определяет характер зависимости статического радиуса колеса от давления в шине, а также используется при расчёте «статической поперечной устойчивости» [6].

3. «При моделировании свойств устойчивости и управляемости АТС приходится иметь дело с моделированием длины пятна контакта колеса с дорогой» [7], которая влияет не только на «режим качения, но и различные явления в пятне: сцепные свойства, увод и колебания управляемых колес» [8]. При повороте АТС происходит упругая деформация шины, и «элементарные боковые реакции распределяются так, что линия действия результирующей боковой реакции  $R_Y = K_Y \cdot \delta$  не совпадает с центром пятна контакта, а смещена назад на расстояние  $\ell_k/6$ , где  $\ell_k$  – длина пятна контакта» [9]. Это явление лежит в основе шинной скоростной стабилизации управляемых колёс [10].

4. Питание традиционной СРДВШ производится от штатного компрессора пневматической тормозной системы. Однако перспективные автоматические системы управления давлением в шинах (АСУДШ) оснащаются отдельным ресивером [11], при подборе которого требуется определить внутренний объём шин. Давление в контуре после соединения ресивера с шиной определяется следующим выражением:

$$P_k = \frac{P_{p0} V_p + P_{ш0} V_{ш}}{V_p + V_{ш}}, \text{ МПа,}$$

где  $V_p$  – объём ресивера;

$V_{ш}=V_{ст}$  – объём шины (в статическом состоянии);

$p_{p0}, p_{ш0}$  – начальное давление в ресивере и шине соответственно.

В ходе настоящего исследования авторы поставили цель провести анализ справочных данных по шинам с точки зрения их применимости для решения перечисленных выше задач.

### Расчёт параметров шин

Исходными данными для расчётов являются следующие параметры шин, значения которых приведены в [12]:

$d_{св}$  – свободный (наружный) диаметр, мм;

$r_{ст}$  – статический радиус, мм;

$r_{д}$  – динамический радиус (качения), мм;

$m_{ном}$  – номинальная нагрузка на колесо, кг;

$p_{ном}$  – номинальное давление в шине, МПа;

$d_{вн}$  – посадочный диаметр, мм;

$B$  – ширина профиля, мм.

Нормальная (радиальная) жёсткость шины в статическом состоянии:

$$C_{ш} = \frac{m_{ном}g}{r_{св} - r_{ст}}, \text{ Н/мм.}$$

Также в ходе исследования была рассчитана динамическая жёсткость шины  $S_{шд}$  по аналогичной формуле, хотя её физическая интерпретация пока не обоснована ни теоретически, ни экспериментально.

Длина пятна контакта в статическом состоянии, мм:

$$l_k = 2\sqrt{r_{св}^2 - r_{ст}^2}.$$

Для определения внутреннего объёма шины в свободном состоянии и в статическом состоянии при номинальных нагрузке и давлении составлена расчётная схема, представленная на рис. 1.

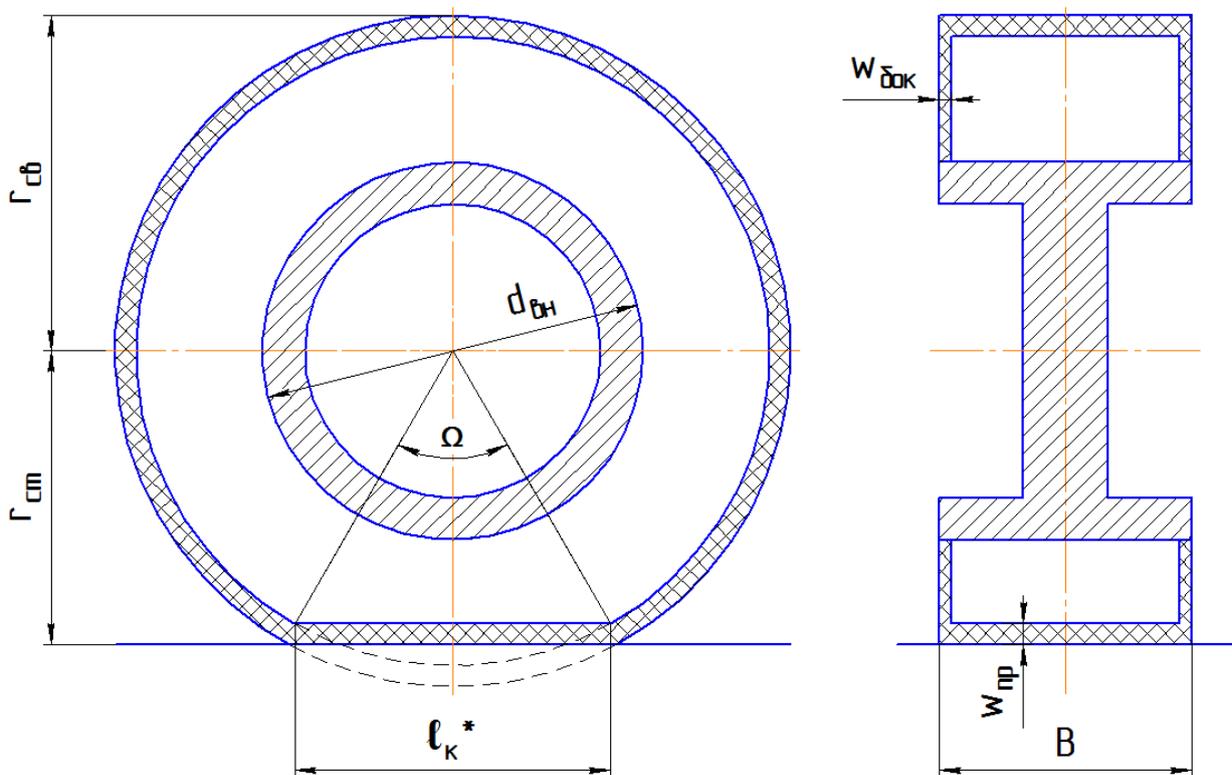


Рис.1. Расчётная схема объёма шины

Сначала определяется объём шины в свободном состоянии (при вывешенных колёсах). Площадь шины, мм<sup>2</sup>:

$$S_{ш} = \pi(r_{св} - w_{пр})^2.$$

Площадь колёсного диска, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{вн}} = \pi r_{\text{вн}}^2.$$

Площадь шины в свободном состоянии, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{св}} = S_{\text{ш}} - S_{\text{вн}}.$$

Объём шины в свободном состоянии, мм<sup>3</sup>:

$$V_{\text{св}} = S_{\text{св}} (B - 2w_{\text{бок}}).$$

Далее определяется объём шины при номинальной статической нагрузке. Длина пятна контакта по внутренней стенке шины, мм:

$$l_{\text{к}}^* = 2\sqrt{(r_{\text{св}} - w_{\text{пр}})^2 - (r_{\text{ст}} - w_{\text{пр}})^2}.$$

Площадь сектора, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{сект}} = S_{\text{ш}} \left[ 1 - \frac{\Omega}{360^\circ} \right],$$

где  $\Omega = \arcsin \frac{l_{\text{к}}^*}{r_{\text{св}} - w_{\text{пр}}} = 2 \arccos \frac{r_{\text{ст}} - w_{\text{пр}}}{r_{\text{св}} - w_{\text{пр}}}$  (в градусах).

Площадь треугольника, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} l_{\text{к}}^* (r_{\text{ст}} - w_{\text{пр}}).$$

Площадь шины в статическом состоянии, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{ст}} = S_{\text{сект}} + S_{\Delta} - S_{\text{вн}}.$$

Объём шины в статическом состоянии, мм<sup>3</sup>:

$$V_{\text{ст}} = S_{\text{ст}} (B - 2w_{\text{бок}}).$$

Зависимости для вычисления объёма шины в динамическом состоянии  $V_{\text{д}}$  аналогичны формулам для статического состояния. Единственное отличие – вместо  $r_{\text{ст}}$  нужно подставить  $g_{\text{д}}$ .

При расчётах объёма с учётом толщины покрышки принимаются следующие усреднённые значения толщины боковины  $w_{\text{бок}}$  и протектора  $w_{\text{пр}}$ , полученные опытным путём:

$w_{бок}=6$  мм,  $w_{пр}=10$  мм – для  $R=13\dots 16''$ ;

$w_{бок}=14$  мм,  $w_{пр}=30$  мм – для  $R=18\dots 20''$ ;

$w_{бок}=24$  мм,  $w_{пр}=52$  мм – для  $R>20''$ .

Допущение: при расчётах не учитывалась боковая деформация шины при изменении давления в ней. В реальности при статической деформации боковина шины выгибается около опорной поверхности колеса, что несколько компенсирует уменьшение объёма под нагрузкой.

В открытых источниках встречается методика для приближённого расчёта объёма шины по её наружному контуру. Чтобы оценить её погрешность, расчёты по предлагаемым в статье зависимостям проводились также без учёта толщины покрышки (при  $w_{бок}=w_{пр}=0$ ).

При движении давление в шине изменяется под действием целого ряда динамических факторов, среди которых скорость движения, нагрузка на колесо, гипсометрический уровень, метеорологические условия, освещённость солнцем, вид опорной поверхности, состояние атмосферного воздуха [13; 14]. Регулирование давления в шинах является политропным процессом ( $p=var$ ,  $T=var$ ,  $V=var$ ). Однако при вывешивании колёс изменением температуры можно пренебречь ( $T=const$ ). Исходя из уравнения изотермического процесса  $V_{св}p_{св}=V_{ст}p_{ст}$ , давление в шине при снятии статической нагрузки определяется следующим выражением:

$$p_{св} = p_{ст} \frac{V_{ст}}{V_{св}},$$

где  $p_{ст}=p_{ном}+p_a$  – абсолютное давление в шине при статической нагрузке, МПа.

Зависимость жёсткости шины от давления  $C_{ш}(p_{ш})$  нельзя рассчитать на основании справочных данных, а можно определить только опытным путём [15].

## Анализ результатов и выводы

Результаты расчётов сведены в табл. 1–5.

Таблица 1

Расчётные параметры шин для легковых АТС по ГОСТ 4754-97 (динамика)

| Типоразмер        | Рис.  | $S_{шд}$ , Н/мм | $r_d/r_{ст}$ , % | $r_d/r_{св}$ , % | $V_d$ , л | $V_d$ , л ( $w=0$ ) |
|-------------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------|---------------------|
| Диagonальные шины |       |                 |                  |                  |           |                     |
| 155-13 (6,15-13)  | Д/У/З | 226,9           | 102,16           | 94,67            | 25,6      | 30,4                |
| 165-13 (6,45-13)  | Д/У/З | 259,3           | 102,11           | 95,41            | 28,7      | 33,9                |
| 175-13 (6,95-13)  | Д/З   | 239,5           | 102,13           | 94,43            | 30,5      | 35,9                |
| 185-14 (7,35-14)  | Д     | 264,3           | 101,94           | 94,61            | 39,1      | 45,4                |
| 185-14 (7,35-14)  | Д     | 196,2           | 101,94           | 91,86            | 41,7      | 48,2                |
| 185-14 (7,35-14)  | З     | 339,8           | 101,90           | 95,82            | 39,7      | 46,1                |
| 185-14 (7,35-14)  | З     | 392,4           | 101,90           | 95,82            | 39,7      | 46,1                |
| 5,90-13           | П     | 310,7           | 102,05           | 96,13            | 27,7      | 32,8                |
| 6,40-13           | Д     | 327,0           | 101,98           | 95,81            | 35,0      | 40,8                |
| 8,40-15           | У     | 431,6           | 101,92           | 95,50            | 68,3      | 77,2                |
| 8,40-15           | П     | 408,3           | 101,89           | 95,32            | 71,6      | 80,9                |
| 6,50-16           | У     | 494,3           | 101,94           | 96,58            | 50,0      | 57,6                |
| 6,50-16           | П     | 414,6           | 101,94           | 95,95            | 50,8      | 58,5                |
| 175-16 (6,95-16)  | У     | 231,6           | 101,86           | 94,80            | 36,6      | 42,8                |
| Радиальные шины   |       |                 |                  |                  |           |                     |
| 175/70R13         | Д     | 441,5           | 106,04           | 96,90            | 26,1      | 31,1                |
| 205/70R14         | Д     | 437,7           | 106,10           | 96,01            | 41,1      | 47,6                |

|           |   |        |        |       |      |      |
|-----------|---|--------|--------|-------|------|------|
| 155/80R13 | Д | 363,0  | 106,08 | 96,54 | 22,8 | 27,4 |
| 165/80R13 | Д | 365,6  | 105,90 | 96,31 | 26,8 | 31,8 |
| 155/82R13 | Д | 605,0  | 105,88 | 97,96 | 24,4 | 29,2 |
| 185/80R15 | Д | 1073,0 | 106,13 | 97,63 | 38,9 | 45,3 |

Примечание: в колонке «Рис.» указан рисунок протектора: У – универсальный; Д – дорожный; З – зимний; П – повышенной проходимости; К – карьерный

Таблица 2

Расчётные параметры шин для легковых АТС по ГОСТ 4754-97 (статика)

| Типоразмер        | Рис.  | С <sub>ш</sub> ,<br>Н/мм | Г <sub>ст</sub> /Г <sub>св</sub> ,<br>% | ℓ <sub>к</sub> , мм | С учётом w          |                     | При w=0             |                     |
|-------------------|-------|--------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                   |       |                          |   |                     | V <sub>св</sub> , л | V <sub>ст</sub> , л | V <sub>св</sub> , л | V <sub>ст</sub> , л |
| Диагональные шины |       |                          |   |                     |                     |                     |                     |                     |
| 155-13 (6,15-13)  | Д/У/З | 165,0                    | 92,67                                   | 226                 | 26,1                | 25,1                | 31,1                | 29,8                |
| 165-13 (6,45-13)  | Д/У/З | 181,5                    | 93,44                                   | 217                 | 29,1                | 28,2                | 34,5                | 33,3                |
| 175-13 (6,95-13)  | Д/З   | 177,0                    | 92,46                                   | 232                 | 31,2                | 29,9                | 36,8                | 35,2                |
| 185-14 (7,35-14)  | Д     | 198,2                    | 92,81                                   | 249                 | 39,9                | 38,4                | 46,5                | 44,6                |
| 185-14 (7,35-14)  | Д     | 161,6                    | 90,12                                   | 298                 | 43,4                | 40,7                | 50,4                | 47,1                |
| 185-14 (7,35-14)  | З     | 237,9                    | 94,03                                   | 228                 | 40,2                | 39,2                | 46,9                | 45,5                |
| 185-14 (7,35-14)  | З     | 274,7                    | 94,03                                   | 228                 | 40,2                | 39,2                | 46,9                | 45,5                |
| 5,90-13           | П     | 207,1                    | 94,19                                   | 208                 | 28,0                | 27,3                | 33,3                | 32,4                |
| 6,40-13           | Д     | 226,4                    | 93,95                                   | 221                 | 35,4                | 34,5                | 41,5                | 40,3                |
| 8,40-15           | У     | 308,3                    | 93,69                                   | 272                 | 69,2                | 67,4                | 78,5                | 76,2                |
| 8,40-15           | П     | 296,2                    | 93,55                                   | 279                 | 72,7                | 70,7                | 82,3                | 79,8                |

|                  |   |       |       |     |      |      |      |      |
|------------------|---|-------|-------|-----|------|------|------|------|
| 6,50-16          | У | 321,3 | 94,74 | 243 | 50,5 | 49,4 | 58,3 | 56,9 |
| 6,50-16          | П | 285,6 | 94,12 | 259 | 51,4 | 50,2 | 59,4 | 57,7 |
| 175-16 (6,95-16) | У | 173,7 | 93,06 | 253 | 37,3 | 36,0 | 43,9 | 42,1 |
| Радиальные шины  |   |       |       |     |      |      |      |      |
| 175/70R13        | Д | 158,9 | 91,38 | 236 | 26,3 | 24,9 | 31,4 | 29,6 |
| 205/70R14        | Д | 183,5 | 90,49 | 277 | 41,6 | 39,0 | 48,3 | 45,2 |
| 155/80R13        | Д | 139,6 | 91,00 | 240 | 23,0 | 21,7 | 27,8 | 26,0 |
| 165/80R13        | Д | 149,0 | 90,94 | 248 | 27,1 | 25,6 | 32,3 | 30,3 |
| 155/82R13        | Д | 165,0 | 92,52 | 223 | 24,5 | 23,5 | 29,4 | 28,1 |
| 185/80R15        | Д | 317,9 | 91,99 | 264 | 39,1 | 37,3 | 45,6 | 43,4 |

Таблица 3

Расчётные параметры шин для грузовых АТС по ГОСТ 5513-97

| Типоразмер        | Рис. | С <sub>ш</sub> ,<br>Н/мм | Г <sub>ст</sub> /Г <sub>св</sub> ,<br>% | ℓ <sub>к</sub> ,<br>мм | С учётом w          |                     | При w=0             |                     |
|-------------------|------|--------------------------|---|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                   |      |                          |   |                        | V <sub>св</sub> , Л | V <sub>ст</sub> , Л | V <sub>св</sub> , Л | V <sub>ст</sub> , Л |
| 7,50R20 (220R508) | У    | 510,9                    | 94,83                                   | 295                    | 73,5                | 71,8                | 102,8               | 99,7                |
| 7,50-20 (220-508) | У    | 583,9                    | 95,49                                   | 277                    | 74,6                | 73,2                | 104,1               | 101,4               |
| 8,25R20 (240R508) | У    | 525,5                    | 94,23                                   | 325                    | 92,7                | 90,2                | 126,0               | 121,8               |
| 8,25R20 (240R508) | П    | 507,4                    | 94,03                                   | 331                    | 93,3                | 90,7                | 126,7               | 122,3               |
| 8,25-20 (240-508) | У    | 639,8                    | 95,29                                   | 296                    | 94,5                | 92,7                | 128,2               | 124,9               |
| 9,00R20 (260R508) | У    | 591,5                    | 93,33                                   | 366                    | 121,9               | 118,0               | 161,0               | 154,8               |
| 9,00-20 (260-508) | У    | 773,5                    | 94,94                                   | 323                    | 123,7               | 121,2               | 163,1               | 158,8               |
| 9,00-20 (260-508) | Д    | 758,9                    | 94,82                                   | 325                    | 122,0               | 119,4               | 161,0               | 156,6               |

|                    |   |       |       |     |       |       |       |       |
|--------------------|---|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 10,00R20 (280R508) | Д | 767,7 | 93,40 | 373 | 142,1 | 137,7 | 184,7 | 177,8 |
| 10,00-20 (280-508) | Д | 637,7 | 93,96 | 363 | 143,9 | 140,2 | 186,9 | 180,9 |
| 11,00R20 (300R508) | У | 763,8 | 93,52 | 382 | 165,3 | 160,5 | 211,9 | 204,4 |
| 11,00R20 (300R508) | Д | 812,8 | 93,52 | 382 | 162,2 | 157,5 | 208,3 | 201,0 |
| 11,00-20 (300-508) | Д | 755,9 | 94,33 | 357 | 160,1 | 156,4 | 205,8 | 199,8 |
| 12,00R20 (320R508) | У | 836,3 | 93,75 | 390 | 193,7 | 188,6 | 244,9 | 237,0 |
| 12,00R20 (320R508) | Д | 932,8 | 93,75 | 390 | 193,7 | 188,6 | 244,9 | 237,0 |
| 12,00-20 (320-508) | У | 765,2 | 94,21 | 382 | 204,7 | 200,0 | 257,7 | 250,3 |
| 12,00-20 (320-508) | Д | 910,9 | 93,69 | 393 | 197,5 | 192,2 | 249,3 | 241,1 |

Таблица 4

Расчётные параметры шин особо большой грузоподъёмности по ГОСТ  
8430-85

| Типоразмер | Рис. | С <sub>ш</sub> ,<br>H/мм | Г <sub>ст</sub> /Г <sub>св</sub> ,<br>% | ℓ <sub>к</sub> , мм | С учётом w          |                     | При w=0             |                     |
|------------|------|--------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|            |      |                          |   |                     | V <sub>св</sub> , л | V <sub>ст</sub> , л | V <sub>св</sub> , л | V <sub>ст</sub> , л |
| 8,25-15    | Д    | 614,6                    | 91,87                                   | 330                 | 57,1                | 54,1                | 101,8               | 95,2                |
| 8,25-20    | Д    | 705,1                    | 93,55                                   | 351                 | 77,5                | 74,8                | 133,4               | 127,2               |
| 9,00-15    | К    | 854,9                    | 92,22                                   | 348                 | 81,3                | 77,7                | 135,8               | 128,1               |
| 12,00-20   | Д    | 1103,6                   | 92,86                                   | 416                 | 160,5               | 154,6               | 244,1               | 232,6               |
| 14,00-20   | П    | 692,1                    | 90,98                                   | 506                 | 253,6               | 240,0               | 362,4               | 339,6               |
| 14,00-20   | П    | 759,8                    | 90,48                                   | 537                 | 276,9               | 260,7               | 391,6               | 365,2               |
| 14,00-20   | П    | 783,0                    | 91,60                                   | 497                 | 264,0               | 251,8               | 375,4               | 354,6               |
| 14,00-20   | К    | 1229,5                   | 91,09                                   | 616                 | 469,8               | 446,5               | 630,2               | 594,1               |

## Транспортная техника

|          |   |        |       |     |        |        |        |        |
|----------|---|--------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|
| 14,00-20 | Д | 1037,6 | 90,63 | 676 | 659,6  | 624,9  | 855,9  | 804,7  |
| 16,00-24 | П | 606,3  | 91,79 | 653 | 696,8  | 668,4  | 900,7  | 857,7  |
| 18,00-24 | П | 947,0  | 90,75 | 627 | 564,7  | 533,9  | 744,5  | 698,2  |
| 18,00-25 | К | 2017,2 | 90,50 | 761 | 958,0  | 906,3  | 1208,0 | 1135,0 |
| 20,5-25  | П | 726,5  | 90,29 | 752 | 1132,0 | 1070,0 | 1405,6 | 1319,3 |
| 21,00-28 | П | 1021,4 | 91,44 | 899 | 2116,9 | 2028,1 | 2529,0 | 2409,7 |
| 26,5-25  | П | 1096,4 | 91,87 | 330 | 57,1   | 54,1   | 101,8  | 95,2   |
| 27,00-33 | П | 1605,7 | 93,55 | 351 | 77,5   | 74,8   | 133,4  | 127,2  |

Таблица 5

Расчётные параметры шин с регулируемым давлением по ГОСТ 13298-90

| Типоразмер   | Рис. | С <sub>ш</sub> ,<br>Н/мм | r <sub>ст</sub> /r <sub>св</sub> ,<br>% | ℓ <sub>к</sub> , мм | С учётом w          |                     | При w=0             |                     |
|--------------|------|--------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|              |      |                          |   |                     | V <sub>св</sub> , Л | V <sub>ст</sub> , Л | V <sub>св</sub> , Л | V <sub>ст</sub> , Л |
| 12,00-18     | П    | 490,5                    | 93,17                                   | 394                 | 170,5               | 164,9               | 255,7               | 244,6               |
| 13,00-18     | П    | 459,4                    | 92,76                                   | 423                 | 201,7               | 194,6               | 295,6               | 282,2               |
| 12,00-20     | П    | 526,4                    | 92,82                                   | 425                 | 184,7               | 177,9               | 275,2               | 262,4               |
| 14,00-20     | П    | 596,9                    | 92,54                                   | 478                 | 289,6               | 279,1               | 407,2               | 388,7               |
| 16,00-20     | П    | 408,8                    | 91,33                                   | 564                 | 446,7               | 426,3               | 598,8               | 566,5               |
| 1200x500-508 | П    | 667,5                    | 91,76                                   | 468                 | 303,8               | 289,8               | 425,9               | 402,1               |
| 1220x400-533 | П    | 654,3                    | 93,33                                   | 431                 | 266,4               | 257,9               | 379,3               | 363,6               |
| 1300x530-533 | П    | 713,5                    | 91,41                                   | 519                 | 411,5               | 391,7               | 558,3               | 526,4               |
| 1500x600-635 | П    | 700,7                    | 90,67                                   | 633                 | 682,2               | 644,5               | 884,8               | 829,1               |
| 1600x600-685 | П    | 1107,1                   | 91,19                                   | 652                 | 753,4               | 716,3               | 969,7               | 914,9               |

1. Отношение динамического радиуса к статическому  $r_{ст}/r_{св}$  составляет в среднем 102% для диагональных легковых шин и 106% – для радиальных. Взаимозависимость динамического и статического радиуса со свободным коррелирует с большим разбросом:  $r_{д}/r_{св}=91,9\dots 98,0\%$ ,  $r_{ст}/r_{св}=90,1\dots 95,5\%$ , независимо от группы шин.

2. Средняя погрешность при расчёте внутреннего объёма шины без учёта толщины покрышки составляет для легковых шин 6,2 л или 17,02%, для грузовых шин – 40,5 л или 30,91%, для шин особо большой грузоподъёмности – 154,2 л или 41,52%, для шин с регулируемым давлением – 128,9 л или 39,01%.

3. При снятии статической нагрузки давление в шине уменьшается в среднем на 3,75% от номинального значения.

### Заключение

В результате анализа справочных данных по шинам авторы разработали методику для расчёта таких параметров, как нормальная жёсткость шины, динамический радиус, длина пятна контакта с опорной поверхностью и внутренний объём шины, давление в шине при снятии статической нагрузки. Обоснована необходимость учёта толщины покрышки при расчёте внутреннего объёма шины в свободном состоянии и при статической нагрузке. Представленная методика может применяться для оценки эксплуатационных свойств автотранспортных средств при проектировании систем управления ТС, а также в учебном процессе.

### Список литературы

1. Павлов, В.В. Проектировочные расчёты транспортных средств специального назначения (ТССН): учебное пособие / В.В. Павлов. – Москва: МАДИ, 2014. – 116 с. – Библиогр.: с. 114.
2. Павлов, В.В. Тягово-динамический расчёт транспортных средств специального назначения: методические рекомендации по подготовке курсовой работы / В.В. Павлов. – Москва: МАДИ, 2017. – 52 с. – Библиогр.: с. 47.

3. Гладов, Г.И. Специальные транспортные средства: Теория: учебник для вузов / Г.И. Гладов, А.М. Петренко; под. ред. Г.И. Гладова. – Москва: Академкнига, 2006. – 215 с. – Библиогр.: с. 212. – ISBN 5-94628-254-9.
4. Гаевский, В.В. Развитие теории движения одноколейных транспортных средств: монография / В.В. Гаевский. – Москва: МАДИ, 2019. – 176 с. – Библиогр.: с. 161-167. – ISBN 978-5-7962-0257-9.
5. Павлов, В.В. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин: учебник для вузов / В.В. Павлов, В.В. Кувшинов. – Чебоксары: ООО «Чебоксарская типография №1», 2011. – 424с. – Библиогр.: с. 423. – ISBN 978-5-7361-0143-6.
6. Петренко, А.М. Устойчивость специальных транспортных средств: учебное пособие / А.М. Петренко. – Москва: МАДИ, 2013. – 41 с. – Библиогр.: с. 39.
7. Балакина, Е.В. Методика расчёта длины пятна контакта легковых радиальных низкопрофильных шин с дорожным покрытием / Е.В. Балакина, Д.С. Сарбаев // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 12. – С. 31-33. – Библиогр.: с. 33.
8. Определение взаимного положения зон разного трения в пятне контакта шины с опорной поверхностью / Ю.Н. Козлов, В.И. Сальников, А.А. Барашков, Е.В. Балакина // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 7. – С. 15-17. – Библиогр.: с. 17.
9. Малиновский, М.П. Системы управления колёсных машин: учебное пособие / М.П. Малиновский. – Москва: МАДИ, 2018. – 100 с. – Библиогр.: с. 96-97. – ISBN 978-5-7962-0234-0.
10. Malinovsky, M.P. Refinement to calculation of stabilizing moments of steerable wheels / M.P. Malinovsky // Science journal of transportation. – 2019. – № 9. – С. 101-112. – Библиогр.: с. 112.
11. Усиков, В.Ю. Обзор технических решений совершенствования конструкции системы регулирования давления воздуха в шинах / В.Ю. Усиков, А.В. Келлер // Наука и военная безопасность. – 2018. – № 1. – С. 37-43. – Библиогр.: с. 43.
12. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовкин и др. – Москва: Трансконсталтинг, НИИАТ, 1994. – 779 с.
13. Факторы, влияющие на изменение давления в шинах автомобиля, и современные системы его контроля / П.А. Красавин, Г.В. Фисичев, А.О. Смирнов, Н.О. Касимов // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – № 3. – С. 16-21. – Библиогр.: с. 21.
14. Красавин, П.А. Влияние состава и состояния атмосферного воздуха на давление в шинах / П.А. Красавин, А.Ф. Колбасов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4-1. – С. 49-52. – Библиогр.: с. 52.
15. Малиновский, М.П. Метод повышения активной безопасности путем предупреждающего управления движением автопоезда: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / М.П. Малиновский; МАДИ (ГТУ). – Москва, 2009. – 157 с. – Библиогр.: с. 141-153.

## References

1. Pavlov, V.V. *Proektirovochnye raschety transportnyh sredstv special'nogo naznachenija (TSSN)* [Design calculations of special purpose vehicles]. Moscow, MADI, 2014, 116 p.
2. Pavlov V.V. *Tjagovo-dinamicheskij raschjot transportnyh sredstv special'nogo naznachenija* [Traction and dynamic calculation of special vehicles]. Moscow, MADI, 2017, 52 p.
3. Gladov G.I., Petrenko A.M. *Special'nye transportnye sredstva: Teorija* [Special vehicles: Theory]. Moscow, Akademkniga, 2006, 215 p.
4. Gaevskij, V.V. *Razvitie teorii dvizhenija odnokolejnyh transportnyh sredstv* [Development of the theory of single-track vehicles]. Moscow, MADI, 2019, 176 p.
5. Pavlov V.V., Kuvshinov V.V. *Teorija dvizhenija mnogocel'nyh gusenichnyh i kolesnyh mashin* [The theory of movement of multi-purpose tracked and wheeled vehicles]. Cheboksary, ООО «Cheboksarskaja tipografija №1», 2011, 424 p.
6. Petrenko A.M. *Ustojchivost' special'nyh transportnyh sredstv* [Stability of special vehicles]. Moscow, MADI, 2013, 41 p.
7. Balakina E.V., Sarbaev D.S. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2018, no. 12, pp. 31-33.
8. Kozlov Ju.N., Sal'nikov V.I., Barashkov A.A., Balakina E.V. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2014, no. 7, pp. 15-17.
9. Malinovskij, M.P. *Sistemy upravlenija koljosnyh mashin* [Control systems of wheel vehicles]. Moscow, MADI, 2018, 100 p.
10. Malinovskij, M.P. *Science journal of transportation*, 2019, no. 9, pp. 101-112.
11. Usikov V.Ju., Keller A.V. *Nauka i voennaja bezopasnost'*, 2018, no. 1, pp. 37-43.
12. Ponizovkin A.N. et al. *Kratkij avtomobil'nyj spravocnik* [Quick automobile reference]. Moscow, Transkonstaltin, НИИТ, 1994, 779 p.
13. Krasavin P.A., Fischev G.V., Smirnov A.O., Kasimov N.O. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2015, no. 3, pp. 16-21.
14. Krasavin P.A., Kolbasov A.F. *Fundamental'nye issledovanija*, 2013, no. 4-1, pp. 49-52.
15. Malinovskij M.P. *Metod povyshenija aktivnoj bezopasnosti putem preduprezhdajushhego upravlenija dvizheniem avtopoezda* [Method of active safety improvement by preventive motion control of articulated vehicle], Ph.D. thesis, Moscow, MADI, 2009, 157 p.

Рецензент: В.Е. Ютт, д-р. техн. наук, проф., МАДИ