

УДК 629.331

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ДАВЛЕНИЕ В ШИНАХ

Красавин П.А., Колбасов А.Ф.

*ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (ММИ)»,
Москва, e-mail: audit@iai-audit.ru*

Атмосферный воздух нашей планеты представляет собой смесь газов. Основными характеристиками физического состояния газа являются его давление, температура и плотность. В связи с тем, что авторы исследуют изменение давления в шине, накаченной воздухом, рассматриваются вопросы влияния состава и состояния атмосферного воздуха на внутреннее давление в автомобильной шине. Содержание водяных паров в насыщенном ими воздухе при различных температурах меняется. Поэтому целесообразно рассмотреть изменения основных климатических характеристик в различных климатических поясах в течение суток и в течение длительного времени. Авторами были исследованы состав воздуха, среднегодовые значения давления воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря, содержание водяных паров (г/м³) в насыщенном ими воздухе при различных температурах (°С).

Ключевые слова: атмосферный воздух, состав сухого воздуха, среднее давление воздуха, влажность

INFLUENCE OF COMPOSITION AND STATE OF ATMOSPHERIC AIR PRESSURE IN THE TIRES

Krasavin P.A., Kolbasov A.F.

FGBOU VPO «Moscow State Engineering University (MAMI)», Moscow, e-mail: audit@iai-audit.ru

Atmospheric air of our planet is a blend of gases. The main characteristics of the physical state of the gas are pressure, temperature and density. The fact that the authors explore the tyre pressure, an inflated air, examines the influence of composition and State of atmospheric air to the inner pressure in an automobile tire. Content of water vapor in saturated by them air is changing with different temperatures. Therefore it is expedient to consider changes in the basic climatic characteristics in different climatic zones during the day and for a long time. Investigated the air at an altitude of up to 100 km above sea level, the water vapor saturation (g/m³) of air with different temperatures (°C).

Keywords: atmospheric air, composition of dry air, average air pressure, humidity

В связи с тем, что автомобили эксплуатируются во всех климатических зонах земного шара в тяжелых условиях – снег, дождь, грязь, жара и т.д., целесообразно изучить влияние на эксплуатационные характеристики автомобильной шины климатических условий, важнейшими элементами среди которых являются температура, влажность и плотность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра, облачность, осадки, солнечная радиация, тепловое излучение земли и атмосферы,

температура дорожного покрытия, испарения, явления погоды (грозы, туманы, метели и т.д.) [2]. Рассмотрим влияние состава и состояния атмосферного воздуха на давление в шинах.

Атмосферный воздух нашей планеты представляет собой смесь газов. Доля основных компонентов азота, кислорода и аргона в сухом воздухе составляет 99,96% объемного содержания. Состав сухого воздуха на высотах до 100 км приведены в табл. 1.

Таблица 1

Состав сухого воздуха на высотах до 100 км

| № п/п | Газ | Содержание газа по объему, % | Содержание газа по весу, % |
|-------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | Азот (N ₂) | 78,09 | 75,5 |
| 2 | Кислород (O ₂) | 20,95 | 23,10 |
| 3 | Аргон (Ar) | 0,9325 | 1,286 |
| 4 | Углекислый газ (CO ₂) | 0,030 | 0,046 |
| 5 | Неон (Ne) | 0,0018 | 0,0012 |
| 6 | Гелий (He) | 0,0005 | 0,00007 |
| 7 | Криптон (Kr) | 0,000108 | 0,0003 |
| 8 | Водород (H ₂) | 0,00005 | |
| 9 | Ксенон (Xe) | 0,000008 | 0,0004 |
| 10 | Радон (Rn) | 6,10 ⁻¹⁸ | |

В составе атмосферного воздуха содержится и водяной пар. Объемное содержание его в атмосфере колеблется от 0,2% в полярных районах до 2,5% в приэкваториальных, а в некоторых географических районах достигает 4% [1]. Вода из атмосферы выводится при выпадении осадков в жидком или твердом виде, а также вследствие конденсации на наземных предметах (роса, иней, изморозь и т.д.). Происходящие процессы испарения, транспирации и выведения водяного пара из атмосферы вызывают большую изменчивость его в атмосфере.

Основными характеристиками физического состояния газа являются его давление, температура и плотность. Газы сжимаемы. В зависимости от температуры и давления меняется их плотность. Для идеальных газов эта зависимость представляется в виде:

$$PV = RT, \quad (1)$$

где P – парциальное давление газа; V – удельный вес газа ($V = 1/\rho$, где ρ – плотность газа); R – удельная газовая постоянная; T – температура по шкале Кельвина.

Идеальным является газ, в котором отсутствуют силы сцепления между молекулами. Молекулы представляются в идее материальных точек. Поэтому идеальный газ в смеси с другими газами имеет:

- собственное давление – P_i ;
- плотность – ρ_i ;
- удельный объем – V_i .

Для условия термодинамического равновесия смеси у всех газов общая температура T . В соответствии с законом Дальтона общее давление смеси газов должно равняться сумме их парциальных давлений. Уравнение состояния для каждого газа сухого воздуха записывается в виде:

$$P_i V_i = R_i T, \quad \text{где } i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

где R_i – удельная газовая постоянная для соответствующего газа, входящего в смесь.

$$R_i = R^*/\mu_i, \quad (2)$$

где R^* – универсальная газовая постоянная, $R^* = 8,31441 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К (универсальная газовая постоянная – термин, впервые введенный в употребление Д. Менделеевым в 1874 г. Численно равна работе расширения одного моля идеального газа в изобарном процессе при увеличении температуры на 1 К); μ_i – относительная молекулярная масса i -го газа.

Давление смеси газов:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (3)$$

Удельный объем каждого газа – V_i , масса – m_i .

Для сухого воздуха V :

$$V_i = V/m_i. \quad (4)$$

Из уравнений (1), (3) и (4) следует:

$$pv = v \sum_{i=1}^n p_i = T \sum_{i=1}^n m_i R_i \quad (5)$$

или

$$pv = R_c T, \quad (6)$$

где R_c – удельная газовая постоянная сухого воздуха.

$$R_c = 287 \text{ Дж/кгК}. \quad (7)$$

Влажный воздух представляет собой смесь сухого воздуха и водяного пара. Для водяного пара уравнение состояния записывается в следующем виде:

$$ev = R_n T, \quad (8)$$

где e – парциальное давление; V – удельный объем; R_n – удельная газовая постоянная водяного пара.

$$R_n = R^*/\mu_n = 461,5 \text{ Дж/кгК}, \quad (9)$$

где $\mu_n = 18,015$ кг/кмоль – относительная молекулярная масса водяного пара.

По данным многочисленных исследований, в диапазоне температур от 0 до 40°C удельная газовая постоянная водяного пара R_n практически совпадает с теоретической и не меняется [4].

Выведем уравнение состояния влажного воздуха.

Возьмем 1 кг влажного воздуха. В нем будет содержаться q кг водяного пара и $(1 - q)$ кг сухого воздуха. Удельные объемы водяного пара, сухого и влажного воздуха составят соответственно: V_n , V_c , V .

Удельные объемы водяного пара и сухого воздуха будут равны:

$$V = V/q; \quad V_c = V/1 - q. \quad (10)$$

Уравнение состояния сухой части воздуха:

$$(p - e)V_c = R_c T, \quad (11)$$

где p – общее давление; $(p - e)$ – парциальное давление воздуха; T – общая температура.

Из формул (7) и (9) следует, что

$$R_n/R_c = 1,608. \quad (12)$$

Если заменить удельную газовую постоянную водяного пара удельной газовой постоянной сухого воздуха, то получим уравнение состояния влажного воздуха:

$$pV = R_c T (1 + 0,608q). \quad (13)$$

Плотность влажного воздуха всегда меньше плотности сухого.

В результате проведения работ по отбору и анализу проб воздуха, взятых до высот 100 км, установлено, что он имеет постоянный состав, т.е. представляет собой гомосферу. Это вызвано интенсивным вертикальным перемешиванием атмосферы [5]. В настоящее время в условиях рельефа города Сочи автомобили эксплуатируются на высотах до 5 км над уровнем моря.

Для определения характеристики реальной атмосферы с содержанием водяного пара, учитывая изменения с барометрической высотой, используют либо барометрическую ступень (высота, на которую нужно подняться, чтобы давление уменьшилось на 1 гПа) при небольших изменениях высот, либо следующее уравнение:

$$z_2 - z_1 = \frac{R}{g} T_0 (1 + \alpha \bar{t}) \left[1 + \beta \left(\frac{\bar{t}}{P} \right) \right] \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (14)$$

где $Z_2 - Z_1$ – высоты точек; R – удельная газовая постоянная водяного пара; g – ускорение силы тяжести; $T_0 = 273\text{K}$; \bar{t} – среднее значение характеристик для данного слоя; коэффициенты: $\beta = 0,378$; $\alpha = 3,66 \cdot 10^{-3}$.

Содержащиеся в воздухе пары воды участвуют своим парциальным давлением в общем давлении атмосферы в данном месте. Давление паров воды воздуха в мм рт. столба может быть определено по уравнению:

$$l = 4,53 \cdot 10 - \frac{7,45 t}{234,7 + t}, \quad (15)$$

где t – температура воздуха.

Рекомендованное заводом-изготовителем автомобилей давление в шинах (p_u) представляет собой избыточное давление газа. Это разность между внутренним (собственным) давлением газа и атмосферным давлением [3].

$$p_u = p - p_a, \quad (16)$$

где p – полное давление газа; p_a – атмосферное давление.

Нормальное атмосферное давление составляет 760 мм рт. столба или 101,325 кПа. При неизменной температуре воздуха с высотой атмосферное давление уменьшается по экспоненциальному закону:

$$p_h = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}, \quad (17)$$

где p_0 – атмосферное давление у поверхности Земли, Па; p_h – атмосферное давление на высоте h ; h – высота над поверхностью Земли, м; ρ_0 – плотность воздуха у поверхности Земли, кг/м³; $g = 9,81$ м/с²; $e = 2,71828$.

Уравнение (17) называется барометрической формулой высоты.

При среднегодовом значении атмосферного давления на уровне моря 101,325 кПа и температуре 15°C для высот до 11000 м (тропосфера) пользуются в основном международной формулой

$$p_h = 101,3 \left(1 - \frac{6,5h}{288} \right)^{5,255}, \quad (18)$$

где давление выражается в килопаскалях, а высота h – в километрах.

В метеорологии атмосферное давление измеряется в миллибарах.

$P_h = 101,325$ кПа = 1013,25 мбар при среднегодовой температуре 15°C.

Значения среднегодовых давлений воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднегодовые значения давления воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря

| Высота над уровнем моря h , м | Давление p | |
|------------------------------------|--------------|------------|
| | кПа | мм рт. ст. |
| 0 | 101,3 | 760 |
| 100 | 100,1 | 751 |
| 200 | 99,0 | 742 |
| 300 | 97,8 | 733 |
| 400 | 96,6 | 725 |
| 500 | 95,5 | 716 |
| 700 | 93,2 | 699 |
| 1000 | 89,9 | 674 |
| 1600 | 83,5 | 627 |
| 2000 | 79,5 | 596 |
| 2450 | 75,6 | 567 |
| 2800 | 71,9 | 539 |

Вода имеет большую скрытую теплоту парообразования. При температуре 100°C она составляет 539 кал/г. В результате испарения воды от тел отводится значительное количество тепловой энергии.

На метеорологических станциях определяется абсолютная, относительная влажность воздуха, дефицит влажности, точка росы и другие показатели. Наиболее часто на практике используется значение относительной влажности R , которая представляет собой отношение упругости водяных паров e , содержащихся в атмосфере при определенной температуре, к упругости насыщающих ее водяных паров E при той же температуре.

$$R = \frac{e}{E} 100\%. \quad (19)$$

Выражается относительная влажность в процентах.

Содержание водяных паров, г/м³, в насыщенном ими воздухе при различных температурах в градусах Цельсия приведены нами в табл. 3.

Таким образом, целесообразно исследовать влияние рассмотренного изменения состава атмосферного воздуха на давление в автомобильных шинах.

Таблица 3

Содержание водяных паров, г/м³, в насыщенном ими воздухе при различных температурах, °С

| °С | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -10 | 2,15 | 1,98 | 1,81 | 1,66 | 1,52 | 1,40 | 1,28 | 1,18 | 1,08 | 0,98 |
| -0 | 4,84 | 4,47 | 4,13 | 3,81 | 3,52 | 3,24 | 2,99 | 2,75 | 2,54 | 2,34 |
| +0 | 4,84 | 5,18 | 5,54 | 5,92 | 6,33 | 6,76 | 7,22 | 7,70 | 8,22 | 8,70 |
| 10 | 9,38 | 9,94 | 10,57 | 11,25 | 11,96 | 12,71 | 13,51 | 14,34 | 15,22 | 16,14 |
| 20 | 17,12 | 18,14 | 19,22 | 30,36 | 21,55 | 22,85 | 24,11 | 25,49 | 26,93 | 28,45 |
| 30 | 30,04 | 31,70 | 33,45 | 35,28 | 37,19 | 39,19 | 41,28 | 43,47 | 45,75 | 48,14 |

Список литературы

1. Алисов Б.П., Полтараус, Б.В. Климатология. – М.: Изд-во МГУ. 1962. – 228 с.
2. Колбасов А.Ф. Некоторые актуальные вопросы работы автомобильной шины // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8.
3. Литвинов А.С. Фарабин, А.Я. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
4. Семенченко Б.А. Физическая метеорология: учебник. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 415 с.
5. Мир Вокруг Нас: Энциклопедия [Электронный ресурс] // Метеорология и климатология. – URL: www.bigpi.biysk.ru/encicl/articles/04/1000405/1000405A.htm (дата обращения 18.01.2012).

References

1. Alisov B.P., Poltaraus B.V. Klimatologija. (Climatology) M. Izd-vo MGU. 1962. 228 p.
2. Kolbasov A.F. Nekotorye aktual'nye voprosy raboty avtomobil'noj shiny. Zhurnal «Fundamental'nye issledovani-ja», no. 8 (chast 1), 2011 god. (Some of the important issues of

the tire, «The Fundamental research» magazine, no. 8 (Part 1), 2011.)

3. Litvinov A.S. Farabin, A.Ja. Avtomobil. Teorija jekspluatacionnyh svojstv. (Car. The theory of operational properties) M., Mashinostroenie. 1989. 240 p.
4. Semenchenko B.A. Fizicheskaja meteorologija. (Physical meteorology) Uchebnik. M.: Aspekt Press. 2002. 415 p.
5. Encyclopaedia The World Around Us [electronic resource] // Meteorology and Climatology. URL: www.bigpi.biysk.ru/encicl/articles/04/1000405/1000405A.htm (accessed 18/01/2012).

Рецензенты:

Макаров К.Н., д.т.н, профессор, зав. кафедрой «Городское строительство» ФГБОУ «Сочинский государственный университет», г. Сочи;

Ткаченко В.П., д.т.н., профессор кафедры «Ландшафтное строительство» ФГБОУ «Сочинский государственный университет», г. Сочи.

Работа поступила в редакцию 23.01.2013.