

**К. Циолковский**

**Давление на плоскость при ее  
нормальном движении в  
воздухе**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
К11

К11      **К. Циолковский**  
Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе / К. Циолковский – М.: Книга по Требованию, 2020. – 51 с.

**ISBN 978-5-458-58032-8**

**ISBN 978-5-458-58032-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2020

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2020

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



Форм. 50 — 79. Тут ( $D_1$ ) означает давление атмосферы а ( $D$ ) сверхдавление на движущуюся нормально плоскость. Скорость=Ск. Секундное ускорение падающих на земле тел=Уз. В 58 ( $D$ ) означает полное давление, а в 59 и далее—сверхдавление.

### Сжатие газа.

11. Сначала обратимся к изложению явлений, происходящих при изменении объема газа. Это необходимо при определении сопротивления воздуха движению плоскости.

Имеем некоторый объем ( $Об_1$ ) совершенного газа при плотности ( $\Pi_1$ ), давлении на единицу ( $D_1$ ) и абсолютной температуре ( $T_1$ ). Газ расширился или сжался, без потери тепла, — и те же величины стали иными, именно: ( $Об$ )., ( $\Pi$ )., ( $D$ ) и ( $T$ ). При этом он совершил некоторую работу ( $Рб.$ ), эквивалентную изменению его температуры.

На этих основах можем составить следующие известные уравнения (новый счет из рукописи):

12... Диф.  $Рб.=D$ . Диф.  $Об$ . (Диф. есть знак дифференциала).

13...  $D=D_{11}$ .  $T$ .  $\Pi$ ., где ( $D_{11}$ ) означает давление газа при единице его плотности и единице температуры. Так что:

14...  $D_{11}=D_1: (\Pi_1. T_1)$ .

15...  $\Pi: \Pi_1=Об_1: Об$  (масса газа, конечно, неизменна).

17... Диф.  $P_6 = M_T \cdot U_T$ . Диф.  $T \cdot M_3$ .

Тут означаем массу газа ( $M_T$ ), его теплоемкость, или удельную теплоту при постоянном объеме ( $U_T$ ) и механический эквивалент тепла ( $M_3$ ).

Для массы газа имеем:

18 ..  $M_T = \rho_1 \cdot \text{Об}_1$ .

Решая эти уравнения (11 — 18,) найдем:

22...  $\text{Логн} \left( \frac{\text{Об}_1}{\text{Об}} \right) = \frac{U_T \cdot M_3}{D_{11}} \cdot \text{Логн} \left( \frac{T_1}{T} \right)$ . Это есть зависимость объема от абс. температуры на случай расширения газа. На случай сжатия имеем:

$$23... \text{Логн} \left( \frac{\text{Об}_1}{\text{Об}} \right) = \frac{U_T \cdot M_3}{D_{11}} \cdot \text{Логн} \left( \frac{T}{T_1} \right).$$

(Логн) означает натуральный логарифм.

25... Для воздуха положим:  $U_T = 0,169$ ;  $\rho_1 = 0,00129$ ;

$T_1 = 273$  (по Цельсию — нуль);  $D_{11} = 10,33$  (тонн);  $M_3 = 248$ . Значит:  $D_{11} = 29,26$ ;  $1/D_{11} = \rho_{11} = 0,0343$ ;  $U_T \cdot M_3 : D_{11} = 2,481$ ;  $D_{11} : (U_T \cdot M_3) = 0,4032$ . Следовательно:

26.  $\text{Логн} (\text{Об}_1 : \text{Об}) = 2,481 \cdot \text{Логн} (T : T_1)$ .

27...  $\text{Логн} (T : T_1) = 0,4032 \cdot \text{Логн} (\text{Об}_1 : \text{Об})$ .

( $\rho_{11}$ ) есть плотность газа при единице давления и температуры.

28... На основании последней формулы, составим таблицу:

|                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\text{Об}_1 : \text{Об}$ | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
| $T : T_1$                 | 1,32 | 1,56 | 1,75 | 1,91 | 2,06 | 2,19 | 2,31 | 2,42 | 2,53 | 2,63 |

Следовательно, при каждом сжатии воздуха в 6 раз, его абс. температура увеличивается в 2 раза слишком И обратно—при разрежении в 6 раз, она уменьшается в два раза.

Так как ( $D_{11}$ ) не зависит от плотности, объема и температуры воздуха, то из ф. 26 делаем такой вывод: какой бы не был объем воздуха и как бы не был он разрежен или плотен,—сокращение объема в определенное число раз (напр. в 10) всегда вызывает также определен. изменение абс. температуры в опред. число раз (по табл. в 2,53 раза).

29... На основании этого даем следующую приблизительную таблицу:

| Разрежение. |        |      |      |     | Сжатие.     |      |      |      |  |
|-------------|--------|------|------|-----|-------------|------|------|------|--|
| 1296        | 216    | 36   | 6    | 1   | 6           | 36   | 216  | 1296 |  |
| Охлаждение. |        |      |      |     | Нагревание. |      |      |      |  |
| 18,7        | 37,5   | 75   | 150  | 300 | 600         | 1200 | 2400 | 4800 |  |
| —254,3      | —235,5 | —198 | —123 | +27 | 327         | 923  | 2123 | 4527 |  |
| 15,6        | 31,2   | 62,5 | 125  | 250 | 500         | 1000 | 2000 | 4000 |  |
| 12,5        | 25     | 50   | 100  | 200 | 400         | 800  | 1600 | 3200 |  |
| 9,3         | 18,7   | 37,5 | 75   | 150 | 300         | 600  | 1200 | 2400 |  |
| 6,2         | 12,5   | 25   | 50   | 100 | 200         | 400  | 800  | 1600 |  |
| 3,1         | 6,2    | 12,5 | 25   | 50  | 100         | 200  | 400  | 800  |  |
| 1,6         | 3,1    | 6,2  | 12,5 | 25  | 50          | 100  | 200  | 400  |  |

Кроме третьей строки с температурой по Цельсию, тут даны только абсол. температуры. Из таблицы видно, что сжатие обыкновенного воздуха (при уровне океана) может легко довести его температуру до 2—3 тысяч градусов Цельсия. Если же дан разреженный газ высот, то температура от сжатия может дойти до нескольких десятков тысяч градусов, смотря по плотности и начальной температуре данного газа: чем меньше плотность, тем возможно высокая температура, потому что возможно многократное уплотнение. Разреженный воздух высот нагревается от сжатия слабее, если он очень холоден. Но в атмосфере мы не имеем воздуха с температурой ниже 80 град. холода, что соответствует довольно высокой абс. температуре в 193 гр. (см. строку 5-ую).

Положим для краткости (см. 14).

30... Ут. Мэ:  $D_{11} = \text{Ут. Мэ. Пл}_1. T_1 : D_1 = A.$

Тогда из тех же основных уравнений (12—18) найдем:

$$31... \text{Об} : \text{Об}_1 = (T_1 : T)^A$$

$$32... T : T_1 = (\text{Об} : \text{Об}_1)^{1:A}$$

$$33... D : D_1 = (T : T_1)^{A+1}$$

$$34... T : T_1 = (D : D_1)^{1:(A+1)}$$

$$35... \text{Пл} : \text{Пл}_1 = (T : T_1)^A$$

$$36... T : T_1 = (\text{Пл} : \text{Пл}_1)^{1:A}$$

$$37... D : D_1 = (\text{Пл} : \text{Пл}_1)^{1+1:A}$$

$$37_1... \text{Пл} : \text{Пл}_1 = (D : D_1)^{A:(1+A)}$$

$$38... \text{Рб.} = \text{Мг. Ут. } T_1 \cdot \text{Мэ.} \left( 1 - \frac{T}{T_1} \right)$$



$$39... P_6 = A \cdot D_1 \cdot O_{b_1} \cdot \{ 1 - (O_{b_1} : O_b)^{1 : (A+1)} \}$$

Форм. 31 и 32 показывают изменение объема в зависимости от изменения температуры и обратно — изменение температуры в зависимости от изменения объема. В двигателях приходится сжимать воздух для усиленной работы моторов, также, когда он очень разрежен. Вот одно из применений этих формул.

Форм 37<sub>1</sub> дает изменение плотности в зависимости от изменения давления. Эту формулу применим к определению сопротивления плоскости, при быстром нормальном ее движении.

Сжимая газ, мы совершаем работу. Величину ее необходимо знать. Для того служат формулы 38 и 39.

Формулы 32, 33 и 35 можно написать в одной строке:

$$39_1... T : T_1 = (O_{b_1} : O_b)^{1 : A} = (D : D_1)^{1 : (A+1)} \\ = (Pl : Pl_1)^{1 : A}$$

Для всех „постоянных“ газов, как известно, имеем:

$$40... U_{тг} = U_{тв} \cdot \frac{M_{вв}}{M_{вг}} \text{ и}$$

$$41... Pl_{г} = Pl_{в} \cdot \frac{M_{вг}}{M_{вв}}.$$

Здесь выражена зависимость удельной теплоты ( $U_{тг}$ ) и плотности какогонибудь газа ( $Pl_{г}$ ) от удельной теплоты и плотности водорода ( $U_{тв}$  и  $Pl_{в}$ ) и молекулярных их весов ( $M_{вг}$  и  $M_{вв}$ ). Из 40, 41 и 30 теперь найдем:

42...  $A=(U_{тв. Плв})$ . Мэ.  $T_1 : D_1$ . Но произведение  $(U_{тв. Плв})$  постоянно, поэтому и  $(A)$  постоянно. Следовательно, все выведенные формулы и законы одинаково применяются ко всем постоянным газам.

43... Во всех формулах (31 — 39<sub>1</sub>) мы видим зависимость отношений от  $(A)$ . По формуле 42, для всех постоянных газов,  $(A)$  зависит от начальных: температуры ( $T_1$ ) и давления ( $D_1$ ) на единицу площади (т. е. от упругости газа).

44... Для воздуха при уровне океана и нулевой температуре по Цельсию,  $A=2,48$ ;  $1 : A = 0,403$ ;  $A + 1 = 3,48$ ;  $1 + \frac{1}{A} = 1,403$ ;  $1 : (A + 1) = 0,287$ ;  $A : (A + 1) = 0,713$  (см 30, 42 и 25).

Теперь вместо строки 39<sub>1</sub>, найдем:

$$45... T : T_1 = (Ob_1 : Ob)^{0,403} = (D : D_1)^{0,287} = (Pl : Pl_1)^{0,403} = \sqrt[2,8]{Ob_1 : Ob} = \sqrt[3,48]{D : D_1} = \sqrt[2,48]{Pl : Pl_1}$$

Значит, для воздуха изменение абс. температуры обратно пропорционально корню (2,48) степени из изменения объема (34), или прямо пропорционально корню степени (3,48) из изменения давления или прямо пропорционально корню (2,48) степени изменения плотности.

46..  $(A)$  еще пропорционально отношению  $(T_1 : D_1)$ . (см. 42). Следовательно, показатель корня  $(A)$  или  $A + 1$ . См. 39<sub>1</sub>) тем больше, чем больше абс. темпер. газа и чем меньше его давление ( $D_1$ ) на единицу площади, т. е. чем меньше упругость газа.

Допустим, что газ имеет постоянную температуру ( $T_1$ ), несмотря на изменение его объема. Это может быть на деле, если изменение объема происходит медленно, так что газ успевает охлаждаться или нагреваться внешней средой. Это бывает еще тогда, когда принимают усиленные меры для уравнивания температуры газа.

Тогда в уравнениях (12—17) ( $T$ ) будет постоянно ( $T_1$ ) и 17-е уравнение окажется ненужным. Из остальных мы получим:

$$12_1... \text{Диф } (P_6) = D_{11} \cdot T_1 \cdot \text{Пл}_1 \cdot \text{Об}_1 \cdot \frac{\text{Диф } (\text{Об})}{\text{Об}} \text{ или}$$

на основании 14-й форм.:

$$\text{Диф } (P_6) = D_1 \cdot \text{Об}_1 \cdot \frac{\text{Диф } (\text{Об})}{\text{Об}}. \text{ Интегрируя же,}$$

найдем:

13<sub>1</sub>...  $P_6 = D_1 \cdot \text{Об}_1 \cdot \text{Логн } (\text{Об}) + \text{Пост.}$  Если  $\text{Об} = \text{Об}_1$ , то  $P_6 = 0$ . Поэтому:

14<sub>1</sub>...  $P_6 = D_1 \cdot \text{Об}_1 \cdot \text{Логн } \left( \frac{\text{Об}}{\text{Об}_1} \right)$ . Если газ расширяется ( $\text{Об} > \text{Об}_1$ ), то работа будет положительна, т. е. она выделяется. Если же газ сжимается ( $\text{Об} < \text{Об}_1$ ), то работа поглощается, ибо нужна внешняя работа, чтобы его сжать и потому она будет отрицательна.

Если бы давление было постоянным, то работа, при расширении объема ( $\text{Об}_1$ ) до объема ( $\text{Об}$ ), была бы:

$$15_1... P_6 = D_1 \cdot (\text{Об} - \text{Об}_1) = D_1 \cdot \text{Об}_1 \left( \frac{\text{Об}}{\text{Об}_1} - 1 \right),$$

Деля почленно уравнение 14<sub>1</sub> на уравн. 15<sub>1</sub>, получим относительную работу изменения объема при постоянной температуре. Получим:

$$16_1... P_6 : P_{61} = \text{Логн} \left( \frac{Ob}{Ob_1} \right) \left( \frac{Ob}{Ob_1} - 1 \right). \text{ Также}$$

поступая с формулами 39 и 15<sub>1</sub>, получим сравнительную работу при расширении и сжатии, без потери и приобретения газом тепла извне (диабатическом). Найдем:

$$17_1... P_6 : P_{61} = A \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{Ob_1}{Ob} \right)^{1:A} \right\} : \left( \frac{Ob}{Ob_1} - 1 \right).$$

Здесь  $1:A = 0,403$  (см. 44).

Формулы 15<sub>1</sub>, 16<sub>1</sub> и 17<sub>1</sub> дают нам возможность составить таблицу относительных работ при изменении объема: 1) при постоянном давлении, 2) при постоянной температуре и при 3) переменной (диабатическое явление).

18<sub>1</sub>... Все работы в таблице принимаем положительными. Чтобы получить истинные работы, конечно, нужно их умножить на работу по формуле 15<sub>1</sub>. Наприм. для нормального воздуха и единицы объема можем положить:  $T_1 = +273$  (нул по Цельсию);  $Pl_1 = 0,0013$ ;  $D_1 = 10,3$ ;  $D_{11} = 31,4$  тонны (см. 14). Теперь вычислим:

$$P_{61} = D_1 \cdot \left( \frac{Ob}{Ob_1} - 1 \right) = 10,3 \cdot \left( \frac{Ob}{Ob_1} - 1 \right) \text{ тонномет-}$$

ров. Напр., при тройном расширении  $P_{61} = 20,6$  т. м.  $\approx 2060$  килограмметров.

Разберем предлагаемую таблицу (см. табл. стр. 12—13). Она разделяется толстой отвесной чертой на правую и левую половину. Левая относится к сжатию газа, правая к его расширению. Первая строка указывает на кратное изменение объема, вторая на относительное разностное изменение объема и одновременно на работу при постоянном давлении.

За 1 единицу работы во всей таблице принимается работа изменения объема на единицу при постоянном давлении (20,6 тонометров). Третья строка относится к работе сжатия при постоянной температуре, 5-я—к переменной температуре.

Обратимся к работе сжатия (левая половина). Мы видим, что благодаря непрерывно возрастающему давлению, работа сжатия гораздо больше, чем при постоянном давлении.

Так, при сжатии в 1000 раз, она возрастает от этого почти в 7 раз. При естественном же (не устраненном) возвышении температуры, также при сокращении в 1000 раз, она уже увеличивается в 37 раз. Чем меньше сжатие, тем эти отклонения меньше.

Строка 7-я указывает, во сколько раз работа сжатия больше, благодаря возвышению тепла от сжатия газа. Так, при сокращении в 1000 раз, работа увеличивается в 5,4 раза вследствие нагревания газа.

Теперь обратимся к правой половине, относящейся к разрежению газа. Тут выделяемая

С ж а т и е.

| 1.                                                | 1000  | 100   | 10   | 5    | 4    | 3     | 2    |
|---------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| 2. (Об : Об <sub>1</sub> )—1.                     | 0,999 | 0,99  | 0,9  | 0,8  | 0,75 | 0,667 | 0,5  |
| 3. По форм. 16 <sub>1</sub> .                     | 6,90  | 4,65  | 2,62 | 2,01 | 1,84 | 1,65  | 1,39 |
| 4. Обратное...                                    | —     | —     | —    | —    | —    | —     | —    |
| 5. По форм. 17 <sub>1</sub> .                     | 37,2  | 13,54 | 4,22 | 2,83 | 2,48 | 2,08  | 1,59 |
| 6. Обратное...                                    | —     | —     | —    | —    | —    | —     | —    |
| 7. Отношение<br>17 <sub>1</sub> : 16 <sub>1</sub> | 5,4   | 2,9   | 1,6  | 1,4  | 1,3  | 1,25  | 1,2  |
| 8. Обратное...                                    | —     | —     | —    | —    | —    | —     | —    |