

В. ЦИОЛКОВСКИЙ.

K. Tsiolkowski.

СЖИМАТЕЛЬ ГАЗОВ.

Калуга, Брут, 79, Н. Э. Циолковскому.

U. d. S. S. R., Kaluga, K. Tsiolkowsky =

C. Ziolkowsky = Ciolkowski (latin).

КАЛУГА—1931.

Сжиматель газов и его расчет.

1. Прибор для получения потока сжатого воздуха, теорию которого мы тут даем, состоит из круглой цилиндрической трубы с рядом воздушных винтов, подобных авиационным и с плоскими перегородками между ними. По оси этого цилиндра вращается концентрично другой цилиндр с диаметром вдвое меньшим. Последний имеет закругленные хорошо обтекаемые концы и весь закрыт со всех сторон. Меньший цилиндр и вращает лопасти прикрепленных к нему воздушных винтов. Но чтобы не образовалось общего вращательного движения воздуха, каждая пара лопаток отделяется от соседней плоскостью, параллельной оси цилиндра. Пластинки эти или перегородки приделаны к большему цилиндру и потому неподвижны.

Воздушные лопасти могут иметь одинаковый наклон и разный, что будет выяснено.

Рассмотрим действие сжимателя при вращении лопаток. Тут могут быть три главных случая.

а) Поток в трубе встречает неодолимое препятствие, когда напр. выходное отверстие сжимателя закрыто. В этом случае каждый

воздушный винт сжимает поток на некоторую величину. Но так как воздух сгущается в конце трубы более, чем в начале, то действие пропеллера тем сильнее, чем он ближе к концу трубы. В этом конце сгущение пропорц. числу всех винтов в сжимателе. При равномерном их расположении приращение плотности воздуха пропорц. удалению его от начала трубы, т. е. от входного отверстия.

В этом случае скорость потока наименьшая (нулевая), а сжатие наибольшее.

б). Второй крайний случай получится, когда труба вполне открыта и поток почти не встречает сопротивления своему движению. Тогда скорость потока наибольшая, а сжатие его наименьшее. Тут не только бесполезно, но вредно употребление многих воздушных винтов: довольно и одного.

Если работой потока означим величину произведения его скорости на сжатие, то в обоих этих случаях работа будет нулевой.

в). Третий случай будет, когда поток встречает препятствие, но преодолевает его и потому имеет не только сгущение, но и движение. Тогда работа потока уже не будет нулевой. Максимальная работа получится, как увидим при некоторой средней скорости.

Эти сжиматели дают в секунду какое угодно давление и какую угодно массу воздуха, но утилизация работы никогда не превышает 50%.

Скорость лопаток по окружности (т. е. наибольшая) не может быть произвольно велика, но вполне определена и зависит не от длины их, а от крепости материала, жемаемого запаса прочности и формы их. Эта окружная скорость для цилиндрической палки выражается формулой:

$$Cок = \sqrt{2Uз \cdot Kр : (Плм \cdot Пр)}$$
, где ($Uз$) есть ускорение падающих на земле тел, ($Kр$) временное сопротивление разрыву того материала, из которого сделана палка, ($Плм$)—плотность этой палки и ($Пр$)—запас прочности.

При самой лучшей форме лопатки и крепчайшем материале окружная скорость не превышает 300—400 м. в секунду.

2. Каждый винт, производя давление, пропорциональное плотности воздуха и квадрату скорости отбрасывания, как бы производит в компрессоре искусственную тяжесть, подобную той, которой подвергается всякая планетная атмосфера.

3. Надо только еще принять во внимание, что чем плотнее газ к концу трубы, тем скорость его меньше, а действие на него лопаток, сильнее. Значит „тяжесть“ и сжатие от этого возрастают еще более.

4. Винт бы должен давать газу, если бы не было трения и инерции, такую скорость ($Скв$). Но вследствие сопротивления она равна ($Скп$), т. е. скорости потока. Разность этих скоростей $Скв - Скп = Скр$, служит причиною

давления (Двл) и сжатия (Пл) газа, а затем и повышения от этого его температуры.

5. Имеем следующие основные уравнения:

6. $С_{кв} - С_{ки} = С_{кр}$.

7. $С_{ки} = С_{кр_1} : \frac{Пл}{Пл_1}$

8. $Пл = Пл_{11} \cdot Д : Т$ Тут (Пл) есть переменная плотность газа, ($С_{ки}$) — скорость вхождения его в компрессор, ($Пл_{11}$) — плотность газа при единице давления и единице абсолютной температуры, (Т) абс. температура и (Д) — давление газа на единицу площади.

9. $dД = \frac{С_{кр}^2}{2 \cdot У_3} \cdot Пл \frac{dx}{Хв}$ Тут (Уз) есть

секундное ускорение падающих на землю тел.

х есть длина сжимателя по оси цилиндра (хв) есть протяжение, занимаемое одним винтом. Так что (х : хв) есть число винтов. Кроме того нам известна зависимость между плотностью и температурой (См. ДАВЛЕНИЕ стр. 6) Именно:

10. $\frac{T}{T_1} = \left(\frac{Пл}{Пл_1} \right)^{1:A} ; 1 : A = 0,403.$

11. Эти пять уравнений содержат шесть переменных величин. Именно: скорость потока ($С_{ки}$), скорость разностную или относительную скорость отброса ($С_{кр}$), плотность (Пл) упругой жидкости, ее давление (Д) на

единицу площади, ее абсолютную температуру (Т) и число винтов, выражаемое длиной (Х) цилиндра.

Исключая из 5 уравнений 4 переменных, получим зависимость между какими либо двумя переменными величинами.

Нас более всего интересует зависимость между плотностью газа и числом винтов (Х). Эту зависимость мы прежде всего и определим.

12. Исключаем из всех уравнений скорость потока (Скп) посредством 7. Получим:

$$13. \dots \dots \dots С_{кв} - \frac{П_{л_1} \cdot С_{кп_1}}{П_{л}} = С_{кр}$$

$$14. \dots \dots \dots П_{л} = П_{л_1} \cdot Д : Т$$

$$15. \dots \dots \dots dД = \frac{С_{кр}^2}{2У_3} \cdot \frac{П_{л}}{Х_{в}} \cdot dx$$

$$17. \dots \dots Т : Т_1 = (П_{л} : П_{л_1})^{1 : A}$$

18. Из этих выключим (Т) посредством 14.

$$19. \dots \dots \dots С_{кв} - \frac{П_{л_1} \cdot С_{кп_1}}{П_{л}} = С_{кр}$$

$$20. \dots \dots \dots dД = \frac{С_{кр}^2}{2У_3} \cdot \frac{П_{л}}{х_{в}} \cdot dx$$

$$22. \dots \dots \dots \frac{П_{л_1} \cdot Д}{П_{л} \cdot Т_1} = \left(\frac{П_{л}}{П_{л_1}} \right)^{1 : A}$$

23. Исключаем (Скр) посредством 19.

$$24 \dots\dots dD = \frac{1}{2U_3} \cdot \left(C_{KB} - \frac{Пл_1 \cdot C_{KP_1}}{Пл} \right)^2 \cdot \frac{Пл}{ХВ} \cdot dx$$

$$25 \dots\dots\dots \frac{Пл_{11} \cdot D}{T_1 \cdot Пл} = \left(\frac{Пл}{Пл_1} \right)^{1:A}$$

26.... Из 25 имеем:

$$D = \frac{T_1 \cdot Пл_1}{Пл_{11}} \cdot \left(\frac{Пл}{Пл_1} \right)^{1:A} \cdot \frac{1}{A} \text{ . Значит:}$$

$$27 \dots dD = \frac{T_1 \cdot (1+A)}{Пл_{11} \cdot A} \cdot \left(\frac{Пл}{Пл_1} \right)^{1:A} \cdot dПл.$$

28. Теперь исключим (D) из 24 и, сделав некоторые преобразования, получим:

$$29 \dots \left[\left(\frac{Пл}{Пл_1} \right)^{1:A} : \left\{ 1 - \frac{(C_{KP_1} : C_{KB})^2}{Пл : Пл_1} \right\}^2 \right] \cdot \frac{dПл}{Пл_1} = \frac{Пл_{11} \cdot A}{2U_3 \cdot T_1 (1+A)} \cdot \frac{dx}{ХВ}$$

или 30.... $\left\{ Z^{1:A-1} : \left(1 - \frac{П_1}{Z} \right)^2 \right\} dZ = П_2 \cdot dx$, где

$$31 \dots\dots Z = \frac{Пл}{Пл_1}, \quad 32 \dots\dots\dots П_1 = \frac{C_{KP_1}}{C_{KB}},$$

$$33 \dots\dots\dots П_2 = \frac{Пл_{11} \cdot C_{KB}^2 \cdot A}{2U_3 \cdot T_1 \cdot (1+A) \cdot ХВ}$$

34. Допустим при вращении винтов нулевую скорость потока, т. е. $C_{KP_1} = 0$.

Тогда вместо форм. 30 получим:

$$Z^{1:A-1} \cdot dZ = \Pi_2 \cdot dx$$

35. Интегрируя, найдем:

$$A \cdot Z^{1:A} = \Pi_2 \cdot x + \text{Пост.}$$

36. Если сжатие $(Z) = 1$, то $X = 0$ (начало трубы). Следовательно,

$$\text{Пост} = A \text{ и } A \cdot Z^{1:A} = \Pi_2 \cdot X + A.$$

$$\begin{aligned} 37. \dots \text{Отсюда } X &= \frac{A}{\Pi_2} \cdot (Z^{1:A} - 1) \text{ и } Z = \\ &= \left(\frac{\Pi_2}{A} \cdot X + 1 \right)^A \end{aligned}$$

38. Из 33 видим, что

$$\begin{aligned} A : \Pi_2 &= \frac{2U_3 \cdot T_1 \cdot (+A_1) \cdot X_v}{\Pi_{л1} \cdot C_{KB}^2} \text{ и } \frac{\Pi_2}{A} = \\ &= \frac{\Pi_{л1} \cdot C_{KB}^2}{2U_3 \cdot T_1 \cdot (1 + A) \cdot X_v} \end{aligned}$$

Эти уравнения — для нулевого потока. Сжатие наибольшее.

39. Положим: $\Pi_{л1} = 0,0343$; $C_{KB} = 300$; $2U_3 = 20$; $T_1 = 273$ (0°C); $A = 2,5$; $X_v = 1$ (т.е. на протяжении 1-го метра один винт).

Тогда вычислим: $\Pi_2 = 0,41$ и $\Pi_2 : A = 0,16$.

40. Значит, вместо 37, найдем: $Z = (0,16X + 1)$.

41. По этой формуле составим, таблицу:

$$X = \quad 1 \quad \quad 2 \quad \quad 3 \quad \quad 4 \quad \quad 5 \quad \quad 6 \quad \quad 7,$$

$$Z = 1,45 \quad 2,00 \quad 2,67 \quad 3,44 \quad 4,35 \quad 5,38 \quad 6,54,$$

$$X = 10 \quad 50 \quad 100 \quad 500 \quad 1000,$$

$$Z = 10,9 \quad 243 \quad 1175 \quad 38900 \quad 329000.$$

Большие сжатия относятся к разреженным газам.

42. При неизменной температуре, т. е. при искусственном охлаждении газа, плотности (Z) должны получиться гораздо большие. Тут для решения вопроса довольно 4-х уравнений (6—9), где (T)—постоянное.

42. Исключая из них ($C_{кп}$) посредством (7), найдем:

$$C_{кв} - C_{кп_1} \cdot (П_{11} : П) = C_{кр} \text{ (см. 13),}$$

$$П = П_{11} \cdot Д : T \text{ (см. 14) и } dД = \frac{C_{кр}^2}{2У_3} \cdot$$

$$\cdot \frac{П}{Х_в} \cdot dX \text{ (см. 15).}$$

43. Из этих исключаем ($C_{кр}$). Получим:
 $П = П_{11} \cdot Д : T.$

$$44. dД = \left(C_{кв} - C_{кп_1} \cdot \frac{П_{11}}{П} \right)^2 \cdot \frac{П \cdot dX}{2У_3 \cdot Х_в}$$

$$45. \text{ Из 43 получим: } dД = \frac{T}{П_{11}} \cdot dП.$$

46. Исключая это из 44, найдем:

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{C_{кп_1} : C_{кв}}{П : П_{11}} \right)^{-2} \cdot \left(\frac{П}{П_{11}} \right)^{-1} \cdot \frac{dП}{П} = \\ = \frac{П_{11} \cdot C_{кв}^2}{2У_3 \cdot T \cdot Х_в} \cdot dX. \end{aligned}$$

47. Положим тут:

$$C_{\kappa\Pi_1} : C_{\kappa B} = \Pi_1; \Pi_1 : \Pi_1 = Z; \frac{\Pi_{11} \cdot C_{\kappa B}^2}{2Y_3 \cdot T \cdot X_B} = \Pi_2.$$

48. Тогда получим:

$$\left(1 - \frac{\Pi_1}{Z}\right)^{-2} \cdot Z^{-1} \cdot dZ = \Pi_2 \cdot dX, \text{ или}$$

$$\frac{Z \cdot dZ}{(Z - \Pi_1)^2} = \Pi_2 \cdot dX.$$

$$50. \text{ Интегрируя, получим: } X = \left\{ \text{Le} \left(\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\Pi_1}{1 - \Pi_1} - \frac{\Pi_1}{Z - \Pi_1} \right) \right\} : \Pi_2.$$

52. Тут по сгущению (Z) можно узнать (X). Если $X_B = 1$, то (X) будет число винтов, необходимое для сгущения (Z).

53. Положим $\Pi_1 = 0$, т. е. неподвижность газа при вращении винтов. Тогда:

$$X = \text{Le}(Z) : \Pi_2 = \text{Le}(Z^1 : \Pi_2) : \Pi_2, \text{ откуда } \text{Le}(Z) = \\ = \Pi_2 \cdot X \text{ или } L_{10} \cdot (Z) = \Pi_2 \cdot X \cdot L_{10}(e) = \\ = \Pi_2 \cdot 0,4343 \cdot X.$$

54. По условиям 39, $\Pi_2 = 0,568$ (см. 47).

Следовательно $L_{10} \cdot (Z) = 0,2467 \cdot X$. Составим таблицу наибольших сгущений (Z), в зависимости от числа винтов (X).

X =	1	2	3	4	5	6	7,
Z =	1,77	3,12	5,51	9,73	17,2	30,3	53,6,

X=	8	9	10	12	14	16	18	20,
Z=	94,6	167	295	921	2870	8950	27900	87100.

Уже при 12 винтах получается сгущение воздуха, более плотное, чем вода. При охлаждении можно ожижать все газы при небольшом числе винтов. Понятно большое сгущение (Z) относится к разреженным газам высот.

55. По условиям 39 мы приняли $С_{кв} = 300$. Допустим $С_{кв} = 100$. Тогда по 47, $P_2 = 0,0631$ и табл. получится такая:

X=	1	5	10	15	20	30
Z=	1,065	1,37	1,88	2,58	3,53	6,68
X=	50	100	150	200	300	500
Z=	13,7	550	13.330	316.000	$1,78 \cdot 10^8$	$50,1 \cdot 10^{10}$

Тут для сгущения до плотности воды надо более 100 винтов, при употреблении же особого холодильника—гораздо меньше.

56. Резюмируя предыдущее, скажем:

1. Уравнение 30 относится к газовому потоку при естественном его нагревании от сжатия, без потери тепла.

2. Формула 37—то же, но скорость потока равна нулю—при быстром вращении винтов. Тут давление получается наибольшее (табл. 41). Но так как сжатый воздух неподвижен, то он скоро охлаждается до температуры окружающего воздуха и сжатие выражается более простым уравнением 53 (табл. 54).

3. Формула 51, предполагает поток с неизменной температурой.

4. Форм. 53 относится не только к неизменной температуре, но и к отсутствию поступательного движения в сжимателе (табл. 54).

Формула 53 применяется к ожижению газов, при их охлаждении.

Формула 51 есть наиболее практическая. Она применяется к сжатию охлаждаемого воздуха и питанию им моторов.

Уравнение 30 относится к питанию домн сжатым и нагретым воздухом и в других подобных производствах.

57. Выгоднее всего, для уменьшения числа винтов и укорочения сжимателя, быстрое вращение лопаток. Мы видели, что оно может дойти до 353 м. по окружности. При угле, тангенс которого в конце лопатки равен 1 (уг. 45°), это рождает максимальную скорость потока в 353 м.

Мы можем надеяться получить поток в 200 м. (Скв = 200).

58. В применении к ожижению воздуха воспользуемся формулами 53, на основании которых составим еще таблицу. Имеем:

$$53. \dots L_{10} \cdot (Z) = P_2 \cdot X \cdot L_{10}(e) = P_2 \cdot 0,4343 \cdot X$$

$$\text{и } 47. \dots P_2 = \text{Пл}_{11} \cdot \text{Скв}^2 : (2Уз \cdot Т \cdot Хв)$$

Положим тут: плотность при единицах давления и температуры, т. е. $\text{Пл}_{11} = 0,0343$;

$С_{кв} = 200$; $2Уз = 20$; $T = 273(0^{\circ}C)$; $Xв = 1$ (на погонный метр один винт). Тогда:
 $П_2 = 0,2366$ и $L_{10} \cdot (Z) = 0,10275 \cdot X$.

59. Теперь получим:

$X =$	1	2	3	4	5	6	7
$Z =$	1,27	1,61	2,04	2,58	3,28	4,15	5,27
$X =$	8	9	10	11	12	13	14
$Z =$	6,67	8,45	10,7	13,6	17,2	21,8	27,7
$X =$	15	16	17	18	19	20	21
$Z =$	35,1	44,5	56,4	71,45	87,7	115	145
$X =$	22	23	24	25	26	27	28
$Z =$	183	234	296,5	376	477	604	765

60. Значит 28 винтов довольно для сгущения воздуха до плотности воды. Если каждый винт с перегородками, препятствующими вращению воздуха в трубе сжимателя, занимает протяжение 20 сант., то компрессор в 28 винтов займет 560 сант. или около 6 метров в длину.

61. Теперь обратимся к потоку с неизменной температурой. Имеем

$$X = \left\{ Le \left(\frac{Z - П_1}{1 - П_1} \right) + \frac{П_1}{1 - П_1} - \frac{П_1}{Z - П_1} \right\} :$$

$$: П_2 \quad (51), \quad П_1 = С_{кп_1} : С_{кв}$$

$$\text{и } 47 \dots П_2 = П_{л_1} \cdot С_{кв}^2 : (2Уз \cdot T \cdot Xв)$$

62. Когда же будет число винтов (X) наименьшим? Из формул видно, что оно таково:

1. При наименьшей температуре (T)

2. При наибольших (Π_{11}) и (Скв).

3. Зависимость от (Π_1) или от ($\text{Скп}_1 : \text{Скв}$) не ясна. Но так как при $\Pi_1 = 0$ сжатие наибольшее, то очевидно, что чем меньше (Π_1) тем число винтов и скорость потока будут меньше.

63. Мы хотим получить наибольшую утилизацию работы (61). Для этого необходима некоторая скорость потока, примерно, в половину наибольшей. Положим $\Pi_1 = 0,5$. Далее: $\Pi_{11} = 0,0343$; $\text{Скв} = 200$; $2Yz = 20$; $T = 273$; $Xv = 1$. Тогда $\Pi_2 = 0,237$ и $X = 4,32 \cdot \text{Le}(2z - \frac{1}{2z - 1})$. Тут по желаемому сгущению (Z)

можем определить число потребных гитов. Напр., если $Z = 100$, то $X = 22,9$. Значит нужно 23 винта. Если $Z = 2$, то $X = 5,62$, т. е. надо менее 6 винтов.

64. При (Z) 2 можно даже ограничиться формулой:

$$X = 4,32 \cdot \text{Le}(2z),$$

65. Откуда $\text{Le}(2z) = 0,237 \cdot X$. По этой формуле получим таблицу:

$X =$	5	10	15	20	25	30
$Z =$	7,6	117	1795	27.500	420.500	$6,45 \cdot 10^6$

Следовательно: при 10—15 винтах сгущение плотнее воды.

66. Формулу 61, вообще, при средней величине (Z), можно заменить $X = \text{Le} \left(\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} \right) : \Pi_2$.

67. Более точная формула (61) может понадобиться только при малых сгущениях (Z).

68. При $\Pi_1 = 0,5$ получим форм. 63.

Из нее получим:

$$Z^2 - 0,5 \cdot Z(1 - \Phi) - 0,25 \cdot (1 + \Phi) = 0, \text{ где } \Phi = e^{0,236X}.$$

Отсюда найдем: $Z = 0,25 \cdot (1 - \Phi) \cdot$

$$\cdot \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \Phi}{0,25 \cdot (1 - \Phi)^2}} \right\}.$$

69. Условимся считать за максимальную утилизацию работы, вернее за наибольший успех (эффeкт) сжимателя, когда произведение скорости потока ($C_{\text{кп}_1}$) на избыток сгущения ($Z - 1$) становится наибольшим, т. е. когда $(Z - 1) \cdot \Pi_1$ есть максимум (см. 32).

70. Примем постоянную температуру и приблизительную формулу 66. Из нее имеем:

$(Z - \Pi_1) : (1 - \Pi_1) = a$, где $a = e^{\Pi_2 \cdot X}$, т. е. постоянное (при определенном числе винтов, см. еще 47). Из этого получим:

$$(Z - 1) \cdot \Pi_1 = \Pi_1 \{ \Pi_1 \cdot (1 - a) - (1 - a) \}.$$

Если поток нулевой ($\Pi_1 = 0$) или скорость потока наибольшая $\Pi_1 = 1$, то в обоих случаях, как видно из формулы, и результат (эффeкт) нулевой. Когда же эта функция приобретает наибольшую величину?

71. Взяв от нее производную и приравняв ее нулю, получим $\Pi_1 = 0,5$, т. е. $\frac{C_{кп1}}{C_{кв}} = 0,5$ (см. 32).

Следовательно, скорость потока должна быть вдвое меньше возможной винтовой скорости ($C_{кв}$), которая получается при отсутствии инерции и трения газового потока.

73. У нас еще есть ряд вопросов, на которые отвечают основные уравнения (6—10).

74. Так крепость стенок трубы определяется давлением (D), т. е. формулой 8, из которой получим: $D = (\Pi_l : \Pi_1) \cdot T$. Разумеется, это давление переменное и к концу трубы увеличивается.

75. Температура (если она не постоянна, т. е. если нет охлаждения или потери тепла) определяется уравнением 10.

76. Скорость потока ($C_{кп}$) в разных частях трубы различна и вычисляется по формуле 7.

Идеальная скорость, без сгущения среды и ее сопротивления ($C_{кв}$), зависящая от устройства винта и его предельной скорости по данной ранее формуле.

78. Скорость отброса или скорость разностная видна из формулы 6.

79. Важное значение имеет температура уплотненных частей потока. Но мы уже давали ранее много раз таблицы температур в

зависимости от плотности или уменьшения объема (см. мое „Давление“, парагр. 28 и 29).

Приблизительно, абсол. температура повышается вдвое при уплотнении в 6 раз. Напр. для холода (-73°Ц) высших слоев атмосферы имеем следующую таблицу:

Сжатие	(Z) =	1	6	36	216	1296
Темпер. абс.	=	200	400	800	1600	3200
Темпер. по Ц	$-73 +$	127	527	1327	2927	

Значит при самом большем естественном холоде, при сжатиях в 200—1000 раз, получается опасная для целостности приборов температура. Без охлаждения такое сжатие не мыслимо. Но для домн и других нагревательных приборов, давление не превышает атмосферы и потому нагревание ничтожно, не более 87°Ц . Тут не только оно полезно, но температуру еще больше повышают дымовым нагреванием.

80. Интересно определить работу полезную и—затраченную и узнать коэффициент ее полезности (утилизацию).

Мы не можем принять тут в расчет трение, газовые вихри и другие неправильности в движении потока. Эта работа превращается в тепло и может быть использована только для нагревания каких либо холодных частей, если это нужно.

81. Представим себе частицу газа в трубе. Без ее инерции, винт должен бы сообщить ей скорость вдоль трубы, равную (Скв). Но

ведем пример. Положим, что $С_{кв} = 200$, а $С_{кп_1} = 198$. Тогда утилизация будет $= 198 : 200 = 0,99$, т. е. 99%. Конечно, это в начале трубы, также для всей трубы, когда сгущение (Z) очень мало. Но положим $Z = 10$, т. е. 10 атмосферам. Тогда утилизация будет только 9,9% (см. 82). Значит утилизация будет колебаться между 0,99 и 0,099. При малых сгущениях, менее 2 ($Z = 2$), можно принять среднюю утилизации; но чем больше сгущение, тем ошибка будет больше.

85. Ясно, что очень невыгодно употреблять большую скорость отброса (82). Также невыгодно большое сгущение (Z).

Но можно получить большое уплотнение (Z) и большую утилизацию, если наклон лопатки винта к его кругу делать тем меньше, чем сгущение (Z) потока больше. Собственно, мы говорим про тангенс этого угла. В таком случае скорость отброса (6) по отношению к скорости потока будет одинакова, также как и утилизация работы всякого винта. Это будет очень выгодно в отношении использования работы мотора, хотя и не даст таких сжатий (Z) при том же количестве винтов.

86. Тогда утилизация всегда будет выражаться формулой 82, где скорость потока для разных частей сжимателя будет величиною переменной и станет уменьшаться во столько раз, во сколько увеличится его плотность (Z), т. е. она будет всегда $У_t = С_{кп_1} : С_{кв}$,

где $(Скп_1)$ есть уже величина постоянная, как и $(Скв)$.

Мы видели, что получение наибольшего эффекта будет при условии: $Скп_1 : Скв = 0,5$ (см. 71).

Но тогда утилизация составит только 50% (86).

Определим наибольшее сгущение (Z) при средней утилизации и среднем отношении $(Скп_1 : Скв)$, т. е. когда отклонение от середины не чрезмерно. Допустим и постоянную температуру.

87. Теперь в формуле (6) все величины переменны, но они все, для каждого винта, уменьшены в одинаковое число раз (Z) .

Для первого винта получим:

$$Скв_1 - Скп_1 = Скр_1.$$

Для винта же, где сгущение потока, (Z) , найдем:

$$\frac{Скв_1}{Z} - \frac{Скп_1}{Z} = \frac{Скр_1}{Z}.$$

$$\text{Значит: } Скв = Скв_1 : Z; \quad Скр = Скп_1 : Z;$$

$$Скр = Скр_1 : Z.$$

Здесь постоянные относятся к началу сжатия или к первому винту.

88. Вместо 8 и 10-го уравнения напишем тождественные уравнения (см. 32):

$$Z = \frac{\Pi_{11}}{\Pi_1 \cdot T} \cdot D, \quad dD = \frac{Скр^2 \cdot \Pi_1}{2U_3} \cdot Z \cdot \frac{dX}{X_в} \text{ и}$$

$$T : T_1 = 1 : A.$$

89. При постоянной температуре ($T = T_1$) последнее уравнение не нужно. Исключая отсюда ($Скр$) посредством 87, найдем:

$$Z = aD \text{ и } dD = \frac{b}{X_B} \cdot \frac{X}{Z},$$

где $a = Пл_{11} : (Пл_1 \cdot T)$ и $b = Скр_1^2 \cdot Пл_1 : 2Уз$.

90. Исключая теперь (D), получим:

$$\frac{dZ}{Z} = \frac{ab}{X_B} \cdot dX.$$

91. Интегрируя, найдем:

$$Le(Z) = \frac{ab}{X_B} \cdot X + \text{Пост. Если } X = 0, \text{ то } Z = 1.$$

Следовательно, $\text{Пост} = 0$ и $Le(Z) = ab \cdot \frac{X}{X_B}$

$$\text{или } Z = e^{ab(X : X_B)} \text{ или } L^{10}(Z) = L^{10}(e) \cdot ab \left(\frac{X}{X_B} \right).$$

92. Из 89:

$$ab = \frac{Пл_{11} \cdot Скр_1^2}{2Уз \cdot T}. \text{ Тут } Пл_{11} = \frac{Пл_1}{D_1} \cdot T_1.$$

$$\text{и } ab = \frac{Пл_1 \cdot Скр_1^2}{2Уз \cdot D_1} \cdot \left(\frac{T_1}{T} \right).$$

93. Положим: $D_1 = 10,3$; $Скр_1 = 100$; $2Уз = 20$; $Пл_1 = 0,0013$; $T_1 : T = 1$. Тогда $ab = 0,0631$ и

$$L^{10}(Z) = 0,0273 \cdot \left(\frac{X}{X_B} \right).$$

94. Составим таблицу:

$X:X_B=1$	2	3	4	5	6	7	8
$Z=1,065$	1,13	1,21	1,29	1,37	1,46	1,55	1,65
$X:X_B=9$	10	12	14	16	18	20	
$Z=$	1,76	1,87	2,13	2,41	2,73	3,10	3,52
$X:X_B=25$	30	35	40	45	50	60	70 80
$Z=$	481	6,60	9,02	12,4	16,9	23,2	43,5 81,5 153

95. Винтов оказывается очень много для сильных уплотнений. Но можно положить для первого винта ВДВОЕ больший наклон лопасти, т. е. тангенс = 2. Тогда $Скр_1 = 200$ и

$L_{10}(Z) = 0,0867 \left(\frac{X}{X_B} \right)$. Таблица даст:

96. $\frac{X}{X_1} =$	1	5	10	15	20	25	30	35,
$Z =$	1,22	2,71	7,36	20,0	54,2	147	400	1080.

При 35 винтах сгущение плотнее воды.

97. Кроме того, можно и окружную скорость лопасти увеличить до 300. Таким образом:

$Скв_1 = 600$ (Танг = 2) и $Скр_1 = 300$.

Тогда $L_{10}(Z) = 0,197 \left(\frac{X}{X_1} \right)$. Таблица будет:

$\frac{X}{X_1} =$	1	5	10	15	20	25,
$Z =$	1,58	9,66	93,3	902	8710	84.100.

Эта система пригодна для самых разреженных газов, при сносной утилизации в 50%.

98. Не забудем, что наши выводы относятся к постоянной температуре, что применимо для стратопланов, где имеем дело с расширением выхлопных газов в разреженной атмосфере и, следовательно, с весьма сильным источником холода. Мы даже можем получить большее сжатие (Z), чем дают таблицы, благодаря этому источнику холода.

99. Окупается ли работа сжатия избытком механической работы моторов? Да! Но этот вопрос мы разберем в стратоплане.

100. Сжатие (Z) определяется числом винтов, но количество или масса доставляемого компрессором воздуха зависит от поперечного диаметра трубы сжимателя.

Мы видели, что максимальная скорость потока величина постоянная, как и окружная скорость лопаток винта. Она несколько не зависит от размеров сжимателя. Отсюда видно, что наибольший объем ($Об$) воздуха, доставляемый компрессором выражается формулой: $Об = Пш : С_{кп_1}$, где ($Пш$) есть площадь поперечного сечения потока, а ($С_{кп_1}$) есть начальная скорость его. Она обыкновенно составляет, при наибольшем эффекте, 50% скорости винтовой ($С_{кв}$). Последняя не превышает 363 м. Значит скорость потока, мы можем положить в 150 м.

101. На основании этого даем таблицу, предполагая размер лопаток в 0,25 поперечного диаметра компрессора:

Диам. =	0,1	0,2	0,3
$\Pi\omega = 0,59 \cdot D^2 =$	0,0059	0,0236	0,0531
$Об = \Pi\omega \cdot 150 =$	0,885	3,54	7,96
$Окр = \pi D =$	0,314	0,628	0,942
Число оборо- тов в сек. =	468	234	156

0,4	0,5	0,6	0,7
0,0944	0,1475	0,2124	0,2891
14,16	22,13	31,86	43,36
1,256	1,572	1,884	2,198
117	93,6	78	67

Д	0,8	0,9	1	1,2
$\Pi\omega$	0,3776	0,4779	0,59	0,8496
Об	56,64	71,68	88,5	127,4
Окр	2,515	2,826	3,14	3,768
Чис. об.	59,8	53,2	47,8	39,8

1,4	1,6	1,8	2
1,1564	1,5104	1,9116	2,36
173,4	226,5	286,6	354,0
4,396	5,024	5,652	6,28
34,1	29,9	26,5	23,9

Объем воздуха громаден. Так, при двух метрах в диаметре получаем 354 куб. м. в секунду. Из моего „РЕАКТ. АЭР“, видно, что на 1000 метр. сил надо только 0,75 куб. м. Так что это количество довольно для 472000 м сил. Для тысячи сил потребуется труба с диаметром менее 0,1 м.

Для 1000 сил и менее число оборотов вала в компрессоре неудобно велико. Передача (трансмиссия) неизбежна.

Доменные печи и другие подобные сооружения требуют большого количества воздуха и наши приборы тут могут иметь применение.

При меньшей скорости вращения (чем предельная) они, конечно, будут давать и меньше воздуха, но максимального давления не получится.

Последнее зависит от предельной скорости потока и числа винтов.

102. Сжатие (Z) определяется составленными ранее таблицами. Но мы еще тут приведем одну (умеренного содержания).

Воспользуемся форм. 91—92 для постоянной температуры, для утилизации В 50% с лопатками разного наклона. Для первой лопатки положим $\tan \alpha = 1$ (угол 45°). Для дальнейших он уменьшается пропорционально уплотнению (Z) газа. Положим еще: $С_{кв} = 300$; $С_{кп_1} = 150$; $D_1 = 10,3$; $С_{кр_1} = 150$; $2U_3 = 20$; $П_{л_1} = 0,0013$; $T_1 : T = 1$. Найдем:

$$аб = 0,142 \text{ и } L_{10}(Z) = L_{10}(e) \cdot аб \cdot \left(\frac{X}{X_B} \right) =$$

$$= 0,0617 \cdot (X : X_B). \text{ Таблица будет:}$$

$X : X_B =$	1	3	5	7	10	15	20	25
$Z =$	1,15	1,53	2,03	2,70	4,14	8,42	17,1	31,8
$X : X_B =$	30	35	40	45	50	55	60	65
$Z =$	71,0	144	294	597	1220	2470	5040	10250

Для домн, наприм., довольно 3—5 винтов. При 50 винтах уплотнение воздуха (при подчинении закону Мариотта) превышает плотность воды почти в 2 раза.

Для ожижения воздуха и других газов потребные уплотнения, при обыкновенной температуре, невелики.

103. Наибольшее применение имеют эти таблицы и формулы для стратоплана. На высоте, где воздух, напр., в 32 раза реже, надо 25 винтов, чтобы получить воздух обыкновенной плотности. Количество его, потребное для 10000 м. сил, будет 7,5 куб. м. в сек. Но разреженного воздуха потребуется уже 240 куб. м. Для этого нужна труба (табл. 101) с поперечным диаметром более чем в 1,6 м. Впрочем, для движущегося стратоплана, как увидим, это дело обстоит иначе.

104. Длина сжимателя пропорц. числу винтов и их диаметру. Можно положить, что ширина лопасти, вместе с перегородкой, препятствующей вращению, не более длины лопасти, равной 0,25 диаметра. Так что (Н) винтов займет длину, равную $0,25 \cdot Д \cdot Н$.

Напр., для 10 винтов и поперечного диаметра винта в 1 м., на перекрестке найдем длину сжимателя в 2,5 м. Для 50 винтов и 2 м. поперечника найдем длину цилиндра сжимателя в 25 м.

105. Можно перегородки сделать много шире, но и тогда для длины (Дл) сжимателя получим не более: $Дл = 0,5 \cdot Д \cdot Н$.

О Т К Л И К И.

Москва, 23 февраля 931 г. Рабочий.-Студ. М. Г.

... Читая одну из ваших книг мне представилось недалеким и возможным завоевание человеком вселенной...

... Когда представляешь себе, ... что земля не носится одинокая во вселенной, а протянула руку, — нашла братьев. то... .. сердце бьется сильнее и грудь дышет глубже.

У меня возникло сейчас желание увидеть вас — гения творческой мысли, первого капитана межпланетного корабля.

Много читаю... .. Довольно хорошо знаком с трудами Оберта, Годдарта, Вальера и др., но больше всего зачитываюсь вашими книгами...

Февраль 931 г. (Студ.).

Я... .. энтузиаст дирижаблестроения, недавно вернувшись с практики из Ленинграда и по совету проф. Н. А. Рынина обращаюсь к вам с большой просьбой — выслать мне ваши печатные работы по авиации и особенно по воздухоплаванию. Этой областью я особенно интересуюсь и намерен посвятить ей всю жизнь. С Николаем Алексеевичем я много беседовал о возможностях цельнометаллического дирижаблестроения и о работах в этой области...

Нью-Йорк Д. Д. Б. (Художник и писатель).
10 февраля 1931 г.

... Вчера послали Вам вырезки из «Русского Голоса». Я перепечатал из советских газет одну из бесед с вами, которые я сам с удовольствием читал, мысленно переселяясь в ваш домик на окраине Калуги, где кипит в течение уже стольких лет плодотворная и напряженная работа русского творческого гения. Беседу я перепечатал, считая ее полезной и интересной и для наших по-советски настроенных рабочих русско-американских масс. Рад вашим творческим достижениям, слежу неизменно по Советским газетам за вашей работой.

22 марта 1931 г. Ю. В. Г.

Вчера возвратился после почти двухмесячного отсутствия из экспедиции на камчатских ездовых собаках домой и нашел среди многих писем самую дорогую, самые приятные — две Ваши открытки. Вы не можете себе представить как я обрадовался. Перечитывал несколько раз. Уверен, что не заслужил столь лестных от Вас отзывов, ибо все, что мною сделано все же слишком мало по сравнению с тем, что Вами сделано для нас. Я и впредь постараюсь рассказать людям о Ваших открытиях, ибо верю в них как в то, что после каждой ночи наступает день. Посылаю Вам журнал «Природа и люди». Через несколько дней вышлю и «Вокруг света», где помещен мой очерк о Вас. Затем дам рассказ о Вас в журнал «Ленин-

град» и окончательно примусь за отделку пьесы, которая, надеюсь, пойдет премьерой в Ленинграде при Вашем непосредственном присутствии на этом спектакле. Тогда я сам приеду за Вами; но это-го еще раз коснусь позже. Думаю быть у Вас еще до появления в свет моей пьесы и услышать Ваше личное, мне дорогое мнение. Берегите свое здоровье, дорогой К. Э. Пишите мне, если Вас что-нибудь толкает, стращает, если что-нибудь Вам необходимо и все, что будет в моих силах, я с радостью сделаю. Я же сам несколько подорвал свое здоровье и, проехав удачно на собаках (впервые в мире по длине) 2300 к/м. от Свердловска до Москвы, — возвратился с катаром толких кишек и вынужден несколько дней лежать в кровати. Искренний привет прошу передать Вашей супруге и не отказать в сообщении ее имени и отчества, что надо мне для одного из очередных очерков о Вас. Желаю Вам всего доброго, а главное сил и здоровья.

19 марта 31 г. Л. К. Д.

... Еще раз благодарю Вас за литературу... Ваши идеи в «Животном космосе» прекрасны...

23 марта 31 г. А В. С.

При Новгородском Дорожно-Строительном Техникуме образовался кружок Межпланетных сообщений. Входящая в кружок молодежь горит желанием ознакомиться с Вашими книгами. Хочется также иметь Ваш портрет, хотя бы самых скром-

ных размеров. Будем бесконечно признательны за посылку Ваших научных трудов.

Преподаватель физики и механики.

10 марта 31 г. П.

Вчера получил Ваши 2 книги: «Нирвана» «Монизм вселенной». Очень благодарен.

Не хотелось много писать, чтоб Вас не затруднить, но не могу удержаться, чтоб не поделиться великой радостью: к нам в школьную библиотеку, пришли книги, и в числе их Ваша книга в переводе на украинский язык (перевод и предисловие Перельмана) «На місяці».

Какая прекрасная книга! Читается легко, увлекательна, сколько научных вещей...

8 февраля 31 г. Я. К.

...Все ваши книги, начиная с первой до последней, влияли в меня что-то новое, бодрящее.

До чтения ваших книг, я жизнью был недоволен, огорчен, мне казалось, что я на свете лишний, всем мешающий. Совсем другое после чтения ваших книг. После каждой книги во мне появлялась новая сила, новая надежда... .. Монизм меня даже развеселил и заставил относиться к происходящему со вниманием, с интересом, на что я прежде смотрел хмуро...

1931 г. 3 апреля (Выдержки из письма 18-летнего критика).

... В минуту отдыха вам может быть будет интересно почитать эти строки, навеянные вашими

глубокими идеями в «Научной Этике». Идеи эти прекрасны и увлекательны... Далее автор письма сомневается в существовании бесконечности и говорит:... Построения ваши на таком фундаменте (бесконечности) почти все вполне стройны и логичны...

...Я ничего не мог возразить против высшего существа бесконечного разума, ибо это лишней раз подтверждает тесную связь бесконечности с понятием о высших существах, основанным с этой точки зрения вполне «материалистически». Я только восхитился красотой вашей мысли и великолепной логикой, позволившей вам добиться этого в высшей степени трудного отождествления. Действительно бесконечность позволяет нам доказывать метафизические теории по той простой причине, что сама она метафизична в корне...

Далее автор думает, что только в конечном космосе можно прийти к выводу о субъективно непрерывной высшей и сознательной жизни каждого атома. Допуская же бесконечность вселенной, мы пригуждены признать часть материи вечно мертвой, т. е. никогда не входящей в состав сознательного существа.

...Цель моя, продолжает автор, и цель всего человечества, по моему—это стремление узнать все, поработить природу разумом. Добиться бессмертия собственной рукой. Вырвать истину из черного мрака неизвестности...

(Совершенно верно, но это само собой. К. Ц.).

... Вы сделали громадный шаг к этой цели, обосновав возможность межпланетных сообщений.

Вы—могучий маяк, освещающий новый путь прогресса. Вы выдвинулись к цели широким размахом, вы выполнили свой долг разумного человека так, как редко его кто-либо выполняет. И вы действительно можете умереть спокойно—сознательно. Вы дали конкретное. Но с вами, как с абстрактным мыслителем, я не могу согласиться, да и многие не согласятся. Я чувствую к вам такую благодарность и такое уважение, какого я еще ни к кому не испытывал, но все-таки мне приходится сознаться, что ваша философия не является беспристрастно-логичным построением...

Тут автор письма приводит сообщение своей знакомой о посмертном явлении ее брата. Мы оба я и автор принимаем это за галлюцинацию. Мои теории, несмотря на их широту, не имеют ничего общего со спиритуализмом. Человек оставляет после своей смерти то же, что и все другие животные—атомы и больше ничего. Образы же наших родных, видимые после их смерти, есть явления, происходящие в нашем мозгу. (Дальнейший мой ответ на стр. 32).

19 апреля 31 г. А. И. Е. (после прочтения моего „Монизма“).

... Читая полученные от вас книги, я чувствую, что вы человек будущих веков... Все новое принимается недоверчиво, а ваш ум углубился на несколько десятилетий и даже столетий вперед. Много еще из ваших книг мой мозг воспринять не может, но это пока...

Март 31 г. 3. X.

Очень много и часто думаю я о высоком и светлом учении в «Монизме вселенной». В ваших маленьких книжках я ищу успокоения в тяжелые минуты, ко о, ых еще слишком много в жизни каждого человека. Сознание огромной ценности ваших философских работ, дает мне решимость обратиться к вам с этим письмом.

Все ваши изданные работы являют собою лишь остов стройного и красивого здания, вся полнота форм, которого, еще скрыта от наших глаз. Больше чем когда бы то ни было чувствуется в настоящий момент потребность в работах, подобных вашим. Мы живем в великое время рождения новой культуры. Заслоняя все другое, стала перед нами грандиозная задача — создание нового человека... Лишь идеи, подобные вашим, могут создать человека—творца.

Вот почему, мне кажется, что сейчас необходимо распространять ваши работы...

Ответ Циолковского А. И. Е.

1931 г. 10 апреля.

Вы отрицаете бесконечность, а на этом основании отрицаете и выводы «Н. Этики». Отвечу так:

Чем дальше назад, в глубины времени, тем более люди ограничивали пространство, время и др. величины. Предполагали начало вселенной и конец

ее. Также постепенно расширялось и понятие о пространстве. Эйнштейн ограничивает его. Не есть ли это проявление «боязни пространства» — природной болезни человечества.

Но отчего же люди, признавая безначальность и бесконечность времени, не признают того же и относительно пространства! Если мы признаем хоть одну величину (время) беспредельной, то не будет ничего удивительного в признании того же свойства за всеми величинами.

В сущности это то же, что арифметическая теорема о неограниченности чисел.

Если мы должны верить в бесконечную малость, то как же не верить и в бесконечно большое. Ведь всякую величину можно удвоить. Как же ограничить хотя какую-либо из них!

Одно из двух: или величины ограничены или нет. Так как ограниченность не может быть принята, то остается только одно: приходится принять и неограниченность. Среднего мнения быть не может...

Ограниченность и бесконечность не равноценны, как не равноценны теоремы об ограничении чисел (ее доказать нельзя) и безграничности их, что ясно...

Чем ниже существо в животной лестнице, тем понятие его о пространстве и величинах слабее. То же относится и к людям разной степени культуры или знания. Древний астроном обещал измерить расстояние до неба и предполагал его очень небольшим...

Бесконечности, конечно, изучать нельзя. Но под этим словом подразумевается, что кроме земли есть еще планеты, кроме Солнца—другие солнца, кроме нашего Млечного Пути—иные млечные пути, кроме Эфири. Острова—другие эфирные острова и т. д. Эта идея руководила высшею философией и всегда была плодотворной, потому что подтверждалась фактами. Напротив, обратное — опровергалось. Итак, философия бесконечности ведет к открытиям, к расширению знаний, а обратная — к обскурантизму. Первая плодотворна и прогрессивна, вторая—нет. Первая вероятней, чем вторая и с фактической стороны...

Вы говорите, что учение о бесконечности распространено. Напротив — Эйнштейновская теория как раз теперь в моде...

Усложнение материи зависит от времени. Чем больше времени, тем более сложная и тесная группа притягивающихся атомов может образоваться. Так что усложнение—неизбежный продукт времени. Долгое время думали, на основании фактического материала, что плотность веществ не может превышать 20—30. Но ведь нашли солнца, где плотность тел во множество раз больше 20...

Вы думаете, что если космос беспределен, то возможна будет и вечно мертвая материя. Это ошибка.

Разделите мысленно бесконечную вселенную на части вроде млечных путей или эфирных островов. Очевидно,—что относится к одному эф. острову, то относится и ко всем, а значит и ко всей бесконечной вселенной. Если нет ни одного ато-

ми в афирном острове, не участвующего бесчисленное множество раз в высшей жизни, то значит то же относится и к любому атому вселенной. Следовательно, вечно мертвой материи быть не может...

Некоторые говорят, что материя не бесконечна, ибо тогда бы все небо представилось одним блестящим как солнце полем. Также, от сильного притяжения, все сплюснлось бы в одну массу. Опровергнем, кстати, и это.

Первое неверно, потому, что свет солнца поглощается междוזвездной средой. Потом, распределение материи может быть таково, что получится как раз то, что мы видим (даже без поглощения света средою). Последнее яснее математикам. Я только тут приведу примеры. Напр., бесконечная пластинка бесконечной массы даст определенное и очень малое притяжение. Пустая сфера бесконечной массы не оказывает никакого притяжения на помещенные в ней тела...

Протяженность она несомненна, но ведь это не обморок, тем более—не смерть...

Я думаю, что людям всего дороже истина, а не прекрасное заблуждение. Заблуждение не имеет цены. Я не знал ранее идеи М о н и з м а и Н а у ч н. Э т и к и. Только 60 лет непрерывной работы и размышления привели меня к этим «иллюзиям». Можно позабавиться ими, но удел их—гибель: отрицание и забвение, даже негодование на себя или людей, создающих иллюзии. Кто же хочет иллюзий, тот может погрузиться в готовые догматы религий.

Основа их (наиболее влиятельных)—первобытная наука, т. е. познание вселенной. Но так как это

познание было очень малым, то понятны и заблуждения вер. Они еще искажались и их последователями—до неузнаваемости, до нечеловечности. Но основатели влиятельных религий были гениальны и не очень далеки от истины. Они не виноваты, что их последователи сделали из них безобразия, ужасы и глупость...

Изречение: я ничего не знаю, темно и имает смысл относительный...

Ваше понятие о цели жизни совершенно правильно и согласно с моим, но оно не исключает и того, что я утверждаю в своих трудах.

