

39.59
4662

ПРОВЕРЬНО

К. Діолковскій.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ
УПРАВЛЯЕМОГО АЭРОСТАТА.

(Новыя формулы сопротивленія воздуха и движенія аэростата).

Отдельный оттиск изъ журнала: Вѣстникъ Опытной Физики и Элементарной
Математики .

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
Библиотека
Военно-Инженерной Академии
Р.К.У.А.
Инвентарь № 13441

ОДЕССА.

„Центральная типо-литографія“, ул. Авшинникова пер. и Почтовой ул., д. № 39.

1898

ЛИСТОК СРОКА ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

Колич. пред. выдач _____

Воскр. типог. Т. 200000 З. 1194—65
Д

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Б-ЦИ-СА

кр

39.59
Ц. 662

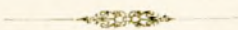
К. Діолковскій.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

УПРАВЛЯЕМАГО АЭРОСТАТА.

(Новыя формулы сопротивленія воздуха и движенія аэростата).



Отдѣльный оттискъ изъ журнала: «Вѣстникъ Опытной Физики и Элементарной Математики».

~~Фундаментальныя
Библиотека
Военно-Инженерной Академіи
Р. К. К. А.
Инвентарь № 1544~~

1937 г.

РЯЗАНСКАЯ
ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. А. М. Горького



ОДЕССА.

„Центральная типо-литографія“, уг. Авчишикова пер. и Почтовой ул., д. № 39.
1898.

85, 4

Самостоятельное горизонтальное движение управляемого аэростата.

(Новыя формулы сопротивленія воздуха и движенія аэростата).

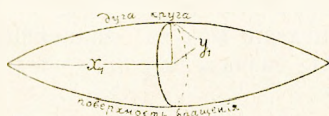
Исслѣдованіе К. Циолковскаго.

I.

1. Въ первомъ выпускѣ своего *аэростата*^{*)} я пренебрегалъ треніемъ воздуха или предполагалъ его *относительно* равнымъ тренію въ водѣ. Опыты мои („железный управляемый аэростатъ на 200 человѣкъ“) опровергли это предположеніе: треніемъ воздуха пренебрегать ни въ какомъ случаѣ нельзя, тѣмъ болѣе, что оно оказалось, относительно, раза въ 4 больше, чѣмъ въ водѣ.

На основаніи полученныхъ мною эмпирическимъ путемъ формулъ сопротивленія я вывелъ очень интересныя законы, относящіеся къ движенію аэростата; но прежде чѣмъ приступить къ ихъ изложенію, постараюсь какъ можно рельефнѣе изобразить читателю основныя формулы сопротивленія воздуха, чтобы онъ могъ судить о степени ихъ вѣроятности помимо опытовъ, кратко описанныхъ мною въ „железномъ управляемомъ аэростатѣ“ и въ концѣ этого труда.

А на сколько вѣрны эти формулы, настолько-же будутъ вѣрны и истекающія изъ нихъ интересныя слѣдствія въ примѣненіи къ воздухоплаванію.



Фиг. 1.

2. Предполагаю, что поверхность аэростата образована вращеніемъ дуги окружности.

Если длина аэростата *больше чѣмъ въ 3 раза* превышаетъ его высоту, то получимъ слѣдующую формулу сопротивленія воздуха:

$$3\dots F = \frac{k \cdot s \cdot d}{2g} v^2 \left\{ 0,8 \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 + \frac{8}{3} \frac{1}{58} \left(\frac{x_1}{y_1} \right) \cdot \frac{1}{v} \right\}$$

*) „Аэростатъ металлическій управляемый“. К. Циолковскій 1892 и 93. Трудъ этотъ переведенъ на французскій, нѣмецкій и англійскій языки.

Здѣсь s есть площадь наибольшаго поперечнаго сѣченія аэростата ($\pi \cdot y_1^2$), d —плотность воздуха, g —ускореніе земной тяжести, v —скорость поступательнаго движенія аэростата, k есть поправочный коэффициентъ; онъ показываетъ, во сколько разъ дѣйствительное сопротивленіе воздуха, при нормальномъ движеніи плоскости, болѣе теоретическаго:

$$\left(\frac{s \cdot d}{2g} \cdot v^2 \right).$$

По Ланглю, Шюберу, Морену и Ренару k приблизительно равно 1,4; по Кальете и Колардо: $k = 1,16$ *). Хотя послѣдній коэффициентъ заслуживаетъ болѣе вниманія, потому что полученъ при опытахъ прямолинейнаго движенія пластинки, однако мы примемъ болѣе большой коэффициентъ (1,4).

5. Двучленъ въ скобкахъ формулы 3 показываетъ, во сколько разъ сопротивленіе аэростата меньше или больше **) сопротивленія площади его средняго поперечнаго сѣченія (s).

6. Другая формула сопротивленія аэростата, применимая для всякихъ продолговатостей (все-таки *больше 1*), даже для шара, вотъ:

$$7. \quad F = \frac{k \cdot s \cdot d}{2g} v^2 \left\{ 0,9 \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 - 0,51, \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^3 + \frac{0,046}{v} \left(\frac{x_1}{y_1} \right) \right\}$$

(v должно быть выражено въ метрахъ).

Но такъ какъ продолговатость

$$\left(\frac{x_1}{y_1} \right)$$

нашего аэростата во всякомъ случаѣ больше 3, то мы и предпочитаемъ разобрать и взять въ основаніе нашихъ вычисленій болѣе простую формулу (3).

8. Представимъ ее въ такомъ видѣ:

$$9. \quad F = \frac{0,8 \cdot k \cdot d}{2g} \cdot S \cdot \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 V^2 + \frac{k \cdot d}{2g} \cdot \frac{1}{58} \cdot \left(\frac{8}{3} S \cdot \frac{x_1}{y_1} \right) \cdot V$$

Первый членъ выражаетъ тутъ сопротивленіе воздуха, зависящее отъ инерціи, второй—отъ тренія. Разберемъ сначала первый членъ,

*) Давленіе на плоскость, по опытамъ Лангеля, Шюбера, Морена и Ренара, при давленіи 753 м.м. (1 килогр. на 1 кв. сант.) и при темпер. въ 10° Ц., приблизительно равно: 0,085. $S \cdot V^2$ килограмм. (V и S въ метрахъ). Раздѣливъ это опытное давленіе на теоретическое, при той же температурѣ и давленіи, получимъ коэффициентъ 1,4. По Кальете и Колардо опытное давленіе выражается 0,071. $S \cdot V^2$. Отсюда $K = 1,16$. Данныя эти заимствуемъ изъ книжки г. Поморцева „Аэростаты“. 1895 г. С.-Петербургъ.

**) При малой скорости аэростата и при его большой продолговатости, сопротивленіе воздуха можетъ быть даже больше сопротивленія площади его поперечнаго сѣченія.

пренебрегая вторымъ, т. е. сопротивленіемъ отъ тренія. Мы видимъ, что сопротивленіе отъ инерціи пропорціонально площади (S) поперечнаго сѣченія аэростата и квадрату скорости его поступательнаго движенія. Противъ вѣрности этихъ законовъ едва-ли будутъ дѣлать возраженія. Обратимъ вниманіе на 3-й законъ:

10. Сопротивленіе отъ инерціи обратно пропорціонально квадрату продолговатости аэростата.

$$\left(\frac{x_1}{y_1}\right)^2$$

Мы докажемъ самыми элементарными разсужденіями, что это иначе и быть не можетъ. Въ самомъ дѣлѣ, рѣшимъ вопросъ, — какъ измѣнится сопротивленіе отъ инерціи, если, напр., продолговатость или острота аэростата увеличится въ 10 разъ. Подвигаясь впередъ, аэростатъ расталкиваетъ въ стороны воздухъ спереди и увлекаетъ его за собою сзади. Очевидно, скорость этого расталкиванія и увеличенія, въ данномъ случаѣ, уменьшилось въ 10 разъ, слѣдовательно, сопротивленіе *уменьшилось* по известнымъ законамъ, *въ 100 разъ*. Но за то объемъ или масса воздуха, которую расталкиваетъ аэростатъ увеличилась пропорціонально его поверхности, т. е. тоже въ 10 разъ. Стало быть, отъ этой причины, сопротивленіе *увеличилось въ 10 разъ*. Но хотя давленіе воздуха, отъ увеличенія поверхности аэростата, и увеличилось въ 10 разъ, однако направленіе этого давленія стало перпендикулярнѣе къ продольной оси аэростата, чѣмъ прежде; разложивъ это давленіе на два: одно — параллельное оси, другое — нормальное къ ней, найдемъ, что давленіе вдоль оси, по направленію движенія, (которое мы и можемъ только принимать въ расчетъ) *уменьшилось въ 10 разъ*. Такимъ образомъ, давленіе измѣнилось отъ трехъ причинъ и въ общемъ измѣнилось въ 100 разъ $\left(\frac{100 \cdot 10}{10} = 100\right)$, что и требовалось доказать.

Весьма сложныя теоретическія изысканія даютъ тотъ-же выводъ для *удлиненныхъ* аэростатовъ.

11. Обратимся теперь ко второму члену формулы 9, зависящему отъ тренія воздуха.

Мы видимъ, что сопротивленіе отъ тренія пропорціонально поверхности

$$\left(\frac{8}{3} S \cdot \frac{x_1}{y_1} = \frac{8}{3} \cdot \pi y_1^2 \frac{x_1}{y_1} = \frac{8}{3} \pi \cdot x_1 y_1^*\right)$$

аэростата, что кажется довольно очевидно, и пропорціонально *первой* степени скорости (v) его поступательнаго движенія. Этотъ выводъ согласуется съ выводомъ Гагена. (Mechanics of the Earth's Atmosphere by Cleveland Abbé). Кромѣ того онъ и теоретически достаточно ясенъ.

*) „Аэростатъ“. К. Циолковскій. (Формула 63).

Въ самомъ дѣлѣ, треніе состоитъ въ томъ, что быстро движущіяся*) невидимыя частицы воздуха, ударяясь о поверхность аэростата, увлекаются имъ въ видѣ слоя воздуха, облекающаго аэростатъ, какъ перчаткой. Чѣмъ быстрѣе движется аэростатъ, тѣмъ, конечно, меньшее время соприкасается его поверхность съ окружающими ее неподвижными слоями воздуха (тѣмъ тоньше перчатка). Если бы толщина ея или увлекаемаго слоя воздуха была постоянна, то сила тренія была бы, разумѣется, пропорціональна квадрату скорости движенія аэростата**); но такъ какъ *перчатка* утоньшается пропорціонально скорости, то величина тренія въ общемъ будетъ только пропорціональна первой

степени скорости ***) $\left(\frac{V^2}{V} = V \right)$

12. Число $\left(\frac{1}{58} \right)$ во второмъ членѣ формулы 9-ой выражаетъ, во

сколько разъ величина тренія какой нибудь поверхности болѣе сопротивленія той же поверхности отъ инерціи, при нормальномъ движеніи ея въ воздухѣ съ тою же скоростью.

Этотъ коэффициентъ тренія, какъ и уже говорилъ, раза въ 4 больше, чѣмъ въ водѣ.

15. Множитель

$$\left\{ 0,8 \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 + \frac{0,046}{v} \cdot \frac{x_1}{y_1} \right\}$$

формулы третьей показываетъ отношеніе сопротивленія аэростата въ сопротивленію плоскости его средняго поперечнаго сѣченія. Это число мы будемъ называть коэффициентомъ сопротивленія аэростата. Положимъ:

$$16. \quad 0,8 \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 + \frac{0,046}{v} \cdot \frac{x_1}{y_1} = K_i \left(\frac{y_1}{x_1} \right)^2 + \frac{K_f x_1}{v y_1},$$

т. е. множитель, зависящій отъ инерціи (0,8), мы обозначили черезъ (K_i), а множитель (0,046), зависящій отъ тренія, черезъ (K_f).

17. Изъ формулы 16 видимъ, что коэффициентъ сопротивленія аэростата, при постоянной продолговатости $\left(\frac{x_1}{y_1} \right)$, уменьшается съ увеличеніемъ скорости (v) поступательнаго движенія; замѣтимъ, что такой

*) По кинетической теоріи газовъ.

***) Потому что его секундная работа была бы пропорціональна этому.

***) При большихъ скоростяхъ или при малыхъ поверхностяхъ могутъ быть отклоненія отъ этого закона.

же законъ существуетъ и относительно тѣлъ, движущихся въ водѣ.

18. При очень большой скорости (v), треніемъ можно пренебрегать и въ такомъ случаѣ коэффициентъ сопротивленія будетъ обратно

пропорціоналенъ квадрату продолговатости $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$ аэростата. Тогда гра-

дное вліяніе на величину сопротивленія воздуха оказываетъ плавная форма аэростата. Я отнюдь не считаю принятую мною грубую форму (2) аэростата формой наименьшаго сопротивленія. Даже эллипсоидъ

вращенія, при одной продолговатости $\left(\frac{x_1}{y_1} = 2\right)$ и при скорости (v) въ

1 метръ, даётъ сопротивленіе на $\frac{1}{2}$ меньшее (мои опыты). Но я не думаю, что пока можно иначе, чѣмъ путемъ опыта, рѣшить задачу о формѣ наименьшаго сопротивленія.

19. Также мало имѣетъ вліяніе треніе на сопротивленіе воздуха,

если тѣло не продолговато, т. е. если отношеніе $\frac{x_1}{y_1}$ немного болѣе

единицы—и то, впрочемъ, будетъ справедливо при скоростяхъ *болѣе одного метра*. При малой продолговатости слѣдуетъ обращаться къ уравненію (7).

20. Изъ формулы 16 также видно, что при небольшихъ скоро-

стяхъ или при значительной продолговатости $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$ можно, наоборотъ,

пренебрегать сопротивленіемъ отъ инерціи; тогда коэффициентъ сопротивленія будетъ обратно пропорціоналенъ скорости (v) аэростата и прямо

пропорціоналенъ его удлиненію $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$. Въ такомъ случаѣ форма аэро-

стата уже имѣетъ весьма малое вліяніе на сопротивленіе воздуха.

21. Всѣ эти законы довольно сходятся съ законами движенія тѣлъ въ жидкой средѣ.

Какую же продолговатость мы должны придавать аэростату, чтобы коэффициентъ сопротивленія былъ наименьшій? По формулѣ 16, если аэростатъ сдѣлать очень продолговатымъ, то сопротивленіе отъ инерціи страшно уменьшится, но за то сопротивленіе отъ тренія весьма значительно увеличится. Наоборотъ, если взять короткій аэростатъ, то треніе будетъ мало, но за то сопротивленіе отъ инерціи велико; очевидно, тутъ можно отыскать минимумъ сопротивленія.

22. Обозначивъ въ формулѣ 16 $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$ черезъ x , получимъ:

$$k_i x^2 + \frac{k_f}{v} \cdot x.$$

Взявъ производную*) отъ этой функции и приравнявъ ее нулю, найдемъ:

$$23 \dots \frac{-2k_i}{x^3} + \frac{k_f}{v} = 0.$$

Отсюда:

$$x^3 = \frac{2k_i}{k_f} V,$$

или

$$24 \dots \left(\frac{x_1}{y_1}\right)^3 = \frac{2k_i}{k_f} \cdot V.$$

Значить

$$25 \dots \frac{x_1}{y_1} = \sqrt[3]{\frac{2k_i}{k_f} \cdot V} \quad \text{и} \quad 26 \dots V = \frac{k_f}{2k_i} \cdot \left(\frac{x_1}{y_1}\right)^3$$

Изъ послѣднихъ формулъ видимъ, что наиболѣе выгодная продолговатость пропорціональна кубическому корню изъ скорости (v) аэростата и наиболѣе выгодная скорость пропорціональна кубу продолговатости аэростата. Зная k_i и k_f изъ № 16, можемъ вычислить невыгоднѣйшую продолговатость для каждой скорости.

Зная же продолговатость $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$ и скорость, по формулѣ 16, можемъ вычислить и соотвѣтствующій коэффициентъ сопротивленія.

27. Формулу 16 въ этомъ случаѣ можно упростить.

Дѣйствительно, въ ней отношеніе 2-го члена къ 1-му равно:

$$28 \dots \left| \frac{k_f}{v} \cdot \frac{x_1}{y_1} \right| : \left| k_i \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2 \right| = \frac{k_f}{k_i} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{x_1}{y_1}\right)^3$$

Исключая тутъ v посредствомъ (26), найдемъ:

$$29 \dots \frac{k_f}{k_i} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{x_1}{y_1}\right)^3 = 2,$$

т. е. что, при наименьшемъ (общемъ) коэф. сопротивленія, (частное) сопротивленіе отъ тренія равно вдвое больше (частнаго) сопротивленія отъ инерціи.

30. Зная это, формулу 16 можемъ написать такъ:

$$k_i \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2 + \frac{k_f}{v} \cdot \frac{x_1}{y_1} = k_i \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2 + 2k_i \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2 = 3k_i \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2$$

31. Слѣдовательно, при самой выгодной продолговатости или скорости, коэффициентъ сопротивленія обратно пропорціоналенъ квадрату этой продолговатости.

*) Ту-же задачу читатель можетъ рѣшить и вполне элементарнымъ путемъ.

На основаніи формулъ 25 и 30 составимъ слѣдующую таблицу:

V метры въ 1 сек.	V килом. въ 1 часъ	x_1 y_1	Коефф.ц. сопроти.
1	3,6	3,27	1:4,45
2	7,2	4,12	1:7,07
3	10,8	4,72	1:9,28
4	14,4	5,19	1:11,22
5	18,0	5,59	1:13,02
6	21,6	5,94	1:14,70
7	25,2	6,26	1:16,28
8	28,8	6,54	1:17,93
9	32,4	6,80	1:19,27
10	36,0	7,05	1:20,71
12	43,2	7,49	1:23,38
15	54	8,07	1:27,13
20	72	8,88	1:32,85
25	90	9,56	1:38,08
30	108	10,16	1:43,00
40	144	11,18	1:52,08
50	180	12,06	1:60,60
60	216	12,80	1:68,27

Напримѣръ, если мы хотимъ, чтобы нашъ аэростатъ двигался со скоростью 15 метровъ въ 1 секунду, или 54 километра въ часъ, то невыгоднѣйшая продолговатость должна быть близка къ 8 (отношеніе длины къ среднему поперечнику); причемъ острота аэростата уменьшить сопротивленіе воздуха сравнительно съ сопротивленіемъ площади поперечнаго сѣченія въ 27 разъ (столбецъ 4-й).

22. Изъ таблицы (31) мы видимъ, что при малой скорости движенія аэростата продолговатость его не должна быть велика; увеличеніе же его остроты не уменьшаетъ сопротивленія воздуха. Напр., при скорости въ одинъ метръ, сопротивленіе, по таблицѣ, уменьшается въ 4,45 раза. Если же сдѣлать аэростатъ болѣе продолговатымъ или менѣе, то сопротивленіе, въ обоихъ случаяхъ, еще увеличится*).

33. Числа 4-го столбца, наприм. 27 или 4,45, мы будемъ называть утилизаціею формы аэростата. Выводъ параграфа 32 примѣняется также и

къ движенію продолговатыхъ тѣлъ въ водѣ. Однако, въ общемъ, сопротивленіе въ водѣ раза въ 2 менѣе, чѣмъ въ воздухѣ, благодаря въ 4 раза меньшему коеффиценту тренія.

34. Мы сейчасъ это выяснимъ, замѣтивъ только, что сопротивленія, пропорціональныя плотности жидкости, мы будемъ считать равными, хотя абсолютно они совсѣмъ не равны. Такъ если бы треніе плоскости въ водѣ оказалось, при одинаковыхъ условіяхъ, въ 770 разъ больше, чѣмъ въ воздухѣ, то мы назвали бы оба сопротивленія одинаковыми. Но если бы треніе въ воздухѣ оказалось только въ 154 раза меньше, чѣмъ въ водѣ, то мы назвали бы его (въ воздухѣ) въ 5 разъ большимъ. Итакъ, положимъ, что аэростатъ, согласно таблицѣ 31, имѣетъ *наивыгоднѣйшую* продолговатость. Давленіе на аэростатъ, какъ и на корабль, какъ мы говорили, слагается изъ двухъ сопротивленій: отъ инерціи и тренія. Означивъ величину перваго черезъ единицу, найдемъ величину втораго равной 2 (29 уравн.); полное сопротивленіе выразится $1+2=3$.

У корабля, при тѣхъ же условіяхъ, сопротивленіе отъ инерціи

*) Мною производились *сравнительные* опыты, подтвердившіе эти выводы.

будетъ приблизительно то-же*), но сопротивленіе отъ тренія будетъ въ 4 раза меньше, такимъ образомъ полное сопротивленіе для корабля выразится $1 + \frac{2}{4} = 1\frac{1}{2}$.

35. Сравнимъ это сопротивленіе съ сопротивленіемъ аэростата, видимъ, что послѣднее, при невыгоднѣйшей продолговатости, въ 2 раза больше**).

36. Давленіе на плоскость (см. 4) выражается формулой:

$$\frac{k \cdot s \cdot d}{2g} V^2.$$

Тутъ $k = 1,4$ (не болѣе); $g = 9,8$ м., s , положимъ, равно 1 кв. метру; d , при 10°Ц и при давленіи 1 килограмма на 1 кв. сант. (новая атмосфера, или 735,5 м.м. давленія), равно около 0,0012. На основаніи этого, давленіе на 1 кв. метръ выразится въ тоннахъ:

37. $0,000086 \cdot r^2$ тоннъ = $0,086 \cdot r^2$ к.-гр. = $86 \cdot r^2$ граммъ.

38. Для разныхъ скоростей таблицы (31) вычислимъ слѣдующее давленіе въ килограммахъ:

$V = 1, \quad 2, \quad 3, \quad 4, \quad 5, \quad 6, \quad 7,$
Давл. = 0,086; 0,344; 0,774; 1,376; 2,150; 3,096; 4,214

$V = 8, \quad 9, \quad 10, \quad 12, \quad 15, \quad 20, \quad 30,$
Давл. = 5,504; 6,966; 8,600; 12,384; 19,350; 34,4; 77,4

$V = 40, \quad 50, \quad 60$ метровъ въ 1 сек.
Давл. = 137,6; 215,0; 309,6 килогр. на 1 кв. м.

39. Раздѣливъ эти числа на утилизацію формы (табл. 31), получимъ давленіе въ килограммахъ на продолговатая формы (2), съ оперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. метръ; именно:

$V = 1, \quad 2, \quad 3, \quad 4, \quad 5, \quad 6,$
Давл. = 0,019; 0,049; 0,083; 0,123; 0,165; 0,212

$V = 7, \quad 8, \quad 9, \quad 10, \quad 12, \quad 15,$
Давл. = 0,259; 0,307; 0,351; 0,415; 0,530; 0,713

$V = 20, \quad 30, \quad 40, \quad 50, \quad 60$ м
Давл. = 1,05; 1,80; 2,64; 3,55; 4,54 килогр.

*) Хотя и должна, теоретически, получиться разница, потому что корабль плаваетъ на поверхности, а аэростатъ внутри жидкости, кромѣ того воздухъ легче сжимается, а вода свободно можетъ подниматься и отступать отъ плавающего тѣла, однако, такъ какъ всѣ эти явленія, при обыкновенныхъ условіяхъ, мало замѣтны, то опыты не даютъ большой разницы въ коэффициентахъ для воды и воздуха.

**) Выводъ, справедливый только для малыхъ продолговатостей и скоростей. Въ противномъ случаѣ, сопротивленія въ воздухѣ и водѣ нѣсколько сравниваются, потому что, съ увеличеніемъ скорости и продолговатости, абсолютная величина тренія въ водѣ возрастаетъ быстрее, чѣмъ въ воздухѣ.

40. Отсюда видно, какъ ничтожны давленія, которыя приходится опредѣлять при опытахъ съ малыми моделями; такъ, по этой таблицѣ, давленіе на мою бумажную модель*) въ 30 сант. длины и 10 высоты, при секундной скорости въ 1 метръ, равнялось 0,152 грамма, т. е. около $\frac{1}{30}$ золотника.

41. Теперь можемъ перейти къ опредѣленію скорости движенія нашего воздушнаго корабля (форма 2) и выводу разныхъ касающихся его движенія теоремъ.

Давленіе на аэростатъ, при движеніи его со скоростью v , при длинѣ его въ $2x_1$ и при высотѣ въ $2y_1$, выражается формулою 3, т. е. равняется давленію на площадь (s) поперечнаго сѣченія, умноженному на коэффициентъ сопротивленія (или дѣленному на утилизацію формы), (3, 16 и 30). Итакъ:

$$42 \dots F = \frac{k \cdot (\pi \cdot y_1^2) \cdot d}{2g} \cdot V^2 \cdot 3k_i \cdot \left(\frac{y_1}{x_1}\right)^2 = \frac{3\pi \cdot y_1^4}{2g \cdot x_1^2} \cdot k \cdot k_i \cdot d \cdot V^2;$$

потому что $42_1 \dots s = \pi \cdot y_1^2$ и потому что мы принимаемъ наивыгодвѣйшій коэффициентъ сопротивленія (30).

Но при наименьшемъ сопротивленіи, продолговатость $\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$ аэростата обусловлена формулою 25.

Слѣдовательно:

$$43 \dots F = \frac{k \cdot (\pi \cdot y_1^2) d}{2g} \sqrt{\frac{27}{4} k_f^2 \cdot k_i} \cdot V^{4/3}$$

Значитъ давленіе на аэростатъ, при однихъ размѣрахъ (y_1) въ высоту, пропорціонально *не квадрату* скорости поступательнаго движенія, а только пропорціонально

$$V^{4/3} = \sqrt[3]{V^4} = V \cdot \sqrt[3]{V}.$$

Напр., если скорость аэростата увеличится въ 8 разъ, то давленіе на него увеличится не въ 64 раза, а только въ 16 разъ.

44. Работа тяги воздушнаго корабля, въ 1 секунду, выразится произведеніемъ $F \cdot V$, или произведеніемъ силы двигателей (P)**) аэростата на полезную работу гребного винта (k_n); этотъ коэффициентъ показываетъ, какую часть полной силы двигателей составляетъ полезная работа винта (т. е. работа тяги). На основаніи сказаннаго имѣемъ:

$$45 \dots F \cdot v = P \cdot k_n.$$

Силу двигателей въ свою очередь можно выразить произведеніемъ ихъ энергіи (E) на вѣсъ (p) ихъ. Энергія двигателей означаетъ секундную ихъ работу, дѣленную на полный ихъ вѣсъ со всѣми принадлежностями

*) См. вторую главу.

**) Работа на *оаму* двигателя.

(напр., генераторомъ силы), или среднюю секундную работу единицы ихъ массы.

Значитъ 46... $P = E \cdot p$. Такъ, если машина вѣсомъ (p) въ 100 килогр. даетъ секундную работу (P) въ 1000 килограммо-дециметровъ, то энергія ея будетъ равна $\frac{1000}{100} = 10$ килограммо-дециметровъ.

47. Мы, положимъ, что вѣсъ (p) двигателей составляетъ опредѣленную часть (k_m) подъемной силы аэростата; (k_v) будемъ называть коэффициентомъ двигателей.

Подъемная сила аэростата, конечно, выражается произведеніемъ его объема

$$\left(\frac{16}{15} \pi \cdot y_1^2 \cdot x_1 \right)^*$$

плотности воздуха

$$\left(d = d_1 \cdot \frac{h}{760} \cdot \frac{273}{(273 + t)} \right)$$

и коэффициента объема (k_v), который показываетъ, какая часть полного объема аэростата наполняется газомъ. Итакъ, подъемная сила

$$= \frac{16}{15} \pi \cdot y_1^2 x_1 \cdot d \cdot k_v.$$

48. По опредѣленію:

$$k_m = p : \left(\frac{16}{15} \pi \cdot y_1^2 x_1 \cdot d \cdot k_v \right)$$

откуда

$$49 \dots p = \frac{16}{15} \cdot \pi \cdot y_1^2 \cdot x_1 \cdot d \cdot k_v \cdot k_m.$$

Выключая G и P посредствомъ уравненій 43 и 46 изъ уравненій 45, выключая затѣмъ изъ полученнаго уравненія (p) посредствомъ ур. 49, получимъ :

$$50 \dots V^{1/2} = \frac{32g \cdot \sqrt{4 \cdot K_v \cdot K_h}}{45 \cdot k \cdot \sqrt{k f^2 \cdot k_i}} \cdot K_m \cdot E \cdot X_1$$

Такъ какъ

$$x_1 = \frac{x_1}{y_1} \cdot y_1,$$

выключая отсюда продолговатость

$$\left(\frac{x_1}{y_1} \right)$$

*) „Аэростатъ“. К. Ціолковскій.

посредствомъ уравн. 25 и затѣмъ выключая съ помощію полученнаго уравненія (x_1) изъ уравненія 50, получимъ, по сокращеніи :

$$51 \dots V = \sqrt{\frac{64g \cdot K_v \cdot K_h}{45 \cdot K \cdot K_f} \cdot E \cdot K_m \cdot Y_1}.$$

Не надо забывать смыслъ этой простой формулы: аэростатъ измѣняетъ свой объемъ (y_1) и скорость, но такъ, *чтобы продолговатость*

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$$

была наиболѣе выгодна. Изъ формулы мы видимъ:

52. Скорость пропорціональна квадратному корню ($\sqrt{y_1}$) изъ размѣровъ аэростата въ высоту (y_1).

53. Она также пропорціональна квадратному корню изъ энергіи (E) моторовъ, и изъ коэфф. двигателей (K_m).

54. Она не зависитъ отъ плотности (d) жидкости, въ которой совершаетъ свои рейсы корабль, если только коэффиц. тренія (K_f) остается неизмѣннымъ.

55. Изъ уравненія видна важная роль коэффиціента (K_v), которой зависитъ отъ формы гребного винта и величины его поверхности.

56. Положимъ въ формулѣ 51 (основная единица — дециметр): $g = 98$ дец.; $K_h = \frac{2}{3}$; $K_f = 0,46$; $K_v = 0,9$; $E = 10$ (100 килограммовъ двигатели дадутъ 1 метрич. лошадь, или 1000 кил.—децим. въ 1 сек.) $K_m = \frac{1}{18}$; $Y_1 = 150$ дец. ($2y_1 = 30$ метр.), $K = 1,4$ (по Ланглею и другимъ); тогда вычислимъ $V = 104$ дец.; или 10,4 метра въ 1 секунду, т. е. 37,44 километра въ часъ.

57. Соответствующую наиболѣе выгодную продолговатость можемъ опредѣлить по уравн. 25. Вставляя въ него числа, получимъ:

$$\frac{x_1}{y_1} = \sqrt[3]{3,5 \cdot V}.$$

Но такъ какъ $V = 104$ дец., то

$$\frac{x_1}{y_1} = 7,14.$$

То-же можно видѣть и изъ таблицы 31.

58. Если поинтересуемся законами продолговатости, то можемъ изъ формулы 25 исключить V съ помощію уравненія 51; получимъ:

$$59 \dots \frac{x_1}{y_1} = \frac{2}{\sqrt{K_f}} \sqrt[6]{\frac{g \cdot K_v \cdot K_h \cdot K_i^2 \cdot E \cdot K_m \cdot Y_1}{45 \cdot K}}.$$

Отсюда видно, что продолговатость аэростата возрастаетъ чрезвычайно медленно съ увеличеніемъ количествъ: E, K_m и Y_1 .

60. Продольное давленіе (F) на аэростатъ встрѣчнаго воздушнаго потока узнаемъ по формулѣ 42 или 43.

Разсматривая формулу 43, не забывайте что, съ увеличеніемъ скорости, продолговатость увеличивается и коэфф. сопротивленія уменьшается (21 и 30).

61. Силу двигателей воздушнаго корабля можемъ узпать изъ уравненій 46 и 49; именно получимъ:

$$62... P = \frac{16}{15} \cdot \pi \cdot y_1^2 x_1 d \cdot K_v \cdot K_m \cdot E.$$

Отсюда вычислимъ ее въ 50 метрическихъ силъ, или въ 67 обыкновенныхъ. Но можно еще отыскать зависимость между силою двигателей и скоростью аэростата; для этого изъ уравн. 45 выведемъ:

$$63... P = \frac{F}{K_h} \cdot V.$$

Исключивъ отсюда F съ помощію формулы 43, получимъ:

$$64... P = \frac{K \cdot (\pi \cdot y_1^2) \cdot d}{2g \cdot K_h} \sqrt[3]{\frac{27}{4} \cdot K_f^2 \cdot K_i \cdot V^{7/3}}.$$

Значить сила (P) двигателей должна возрастать не пропорціонально кубу скорости, а только пропорціонально

$$V^{7/3} = V^2 \sqrt[3]{V}.$$

Напр., если скорость (V) аэростата увеличится въ 2 раза, то сила машинъ увеличится не въ 8 разъ, а только въ 5 разъ ($4 \cdot \sqrt[3]{2} = 5,04$).

65. Если интересуемся узнать число пассажировъ воздушнаго корабля, то надо подъемную силу (47) аэростата умножить на коэфф. пассажировъ (K_p) и раздѣлить на вѣсъ 1 пассажира (p_1); получимъ:

$$66... \frac{16}{15} \cdot \pi \cdot y_1^2 x_1 \cdot d \cdot K_v \cdot \frac{K_p}{p_1}.$$

Такъ для случая 56—57, т. е. когда аэростатъ имѣетъ въ высоту 30 метровъ, а въ длину 210, положивъ $K_p = \frac{1}{6,6}$ *) и $p_1 = 70$ килограммовъ, найдемъ, что число пассажировъ составляетъ около 200 человекъ.

67. Формулу (47) подъемной силы можно написать такъ:

$$\frac{16}{15} \cdot \pi \cdot y_1 \cdot \left(\frac{x_1}{y_1}\right) K_v;$$

исключивъ теперь отсюда

$$\left(\frac{x_1}{y_1}\right)$$

*) „Желѣзный управляемый аэростатъ на 200 человекъ“ К. Циолковскій. 1896 г.

посредством (25), и затѣмъ изъ полученнаго уравненія—(V) посредствомъ 51, получимъ новую формулу подъемной силы:

$$68 \dots \frac{16}{15} \pi \cdot K_v \sqrt[3]{\frac{2k_i}{K_f}} \sqrt[6]{\frac{64 \cdot g \cdot K_v \cdot K_h}{45 \cdot K \cdot K_f}} \cdot E \cdot K_m \cdot Y_1^3 \cdot \sqrt[6]{Y_1} = \\ = \frac{32}{15} \pi \cdot \sqrt[6]{\frac{4g \cdot K_v^7 K_h}{45 \cdot K \cdot K_f^3}} \cdot E \cdot K_m \cdot Y_1^{19/6}$$

Значить подъемная сила аэростата, а также двигателей, пассажировъ и т. д., полагая коэффициенты ихъ постоянными, возрастаетъ пропорціо-нально размѣрамъ въ степени $3^{1/6}$, то есть пропорц.

$$Y_1^{19/6} = Y_1^3 \cdot \sqrt[6]{Y_1}$$

69. Обратимъ вниманіе на формулу 51. Мы видимъ, что есть 3 главныхъ способа увеличить поступательную скорость аэростата. Это—увеличить энергію его двигателей (E), ихъ относительный вѣсъ (K_m) и размѣры аэростата (Y_1). Отыщемъ предѣлы всѣхъ этихъ увеличеній.

70. Энергія паровыхъ двигателей Гирама Максима, которыми онъ старался придать движеніе своему аэроплану, была въ 20—50 разъ болѣе, чѣмъ я принялъ въ случаѣ (56). Энергія двигателей Ланглея, также паровыхъ и также предназначенныхъ для модели аэроплана, была въ 15 разъ болѣе, чѣмъ энергія двигателей, принятыхъ мною. Нефтяной двигатель Пеннингтона былъ во столько же разъ сильнѣе (въ 14 разъ). Г. Поморцевъ въ своемъ трудѣ „Аэростаты“ принимаетъ въ 4 раза большую энергію, чѣмъ я въ примѣрѣ (56). Всѣхъ механизмовъ на пароходѣ „Турбинія“ (изъ „Журнала Новѣйшихъ Откр. и Изобр.“; 1897 г., № 38) составлялъ 22 тонны. Сила двигательныхъ механизмовъ (котель системы экспрессъ; двигатель турбинной системы Парсона) равнялась 2100 лошадин. силъ. Такъ что на 1 килограммъ приходилась сила въ 7,2 киллограмметра. Слѣдовательно энергія этого двигателя была въ 7 разъ болѣе принятой нами (56).

71. Въ этомъ примѣрѣ мы положили $K_m = \frac{1}{18}$. Но можно на моторы отдѣлить часть въ 4 разъ большую, какъ это видно изъ моего проекта („железный управляемый аэростатъ на 200 чел.“).

72. Если дѣлать аэростаты изъ стали, то, какъ показываетъ теорія, можно *увеличить* размѣры аэростата *въ высоту* (Y_1) *въ 5 разъ* (сравнительно съ принятыми нами въ прим. 56).

73. Итакъ, произведеніе ($E \cdot K_m \cdot Y_1$), въ уравненіи 51, можетъ быть увеличено въ $50 \times 4 \times 5 = 1000$ разъ (на основаніи 70, 71 и 72 параграфа).

Я не думаю, чтобы этого достигли на практикѣ; я не думаю даже, чтобы была надобность этого достигать, — я только хотѣлъ указать теоретическіе предѣлы скорости воздушнаго корабля.

74. Изъ формулы 51 мы видимъ, что когда произведеніе ($E \cdot K_m \cdot Y_1$) увеличивается въ 1000 разъ, то (V), или самостоятельная скорость аэростата въ неподвижномъ воздухѣ увеличивается въ 31,6 раза. Стало

быть, на основании примѣра 56, она будетъ составлять около 328 метровъ въ 1 секунду, или 1180 килом. въ 1 часъ. Продолговатость аэростата, по формулѣ 25, будетъ около 22,4. Высота его составитъ 150 метровъ, т. е. $\frac{1}{2}$ высоты башни Эйфеля; длина будетъ 3360 метровъ или около 3 версты. Подниметь онъ, при коэффициентѣ пассажировъ въ $\frac{1}{666}$, 75.000 человекъ. Изъ Англии въ Соед. Штаты онъ прибудетъ черезъ 6 часовъ. Таковы предѣлы!...

75. Не увеличивая нисколько размѣровъ аэростата, а увеличивая только энергію (E) двигателей и вѣсъ ихъ (K_m) въ 4 раза, что вполне возможно, увидимъ, что произведеніе (E . K_m . Y_1) увеличится въ 16 разъ, а скорость—въ 4 раза, такъ что она будетъ равна 150 километрамъ въ 1 часъ. Соответствующая продолговатость будетъ еще не очень велика для *металлическаго* аэростата; именно: 11,26.

76. Предлагаю тутъ таблицу, первый столбецъ которой показываетъ увеличеніе произведенія (E . K_m . Y_1), второй—секундную скорость аэростата въ метрахъ, третій—часовую скорость въ километрахъ, четвертый—соответствующую продолговатость.

$$\left(\frac{Y_1}{y_1} \right)$$

аэростата. Нѣтъ надобности увеличивать каждый изъ членовъ произведенія: можно, напр., размѣръ (Y_1) аэростата уменьшить въ 2 раза, а энергію (E) увеличить во столько же разъ; тогда произведеніе останется то же и скорость этого маленькаго аэростата будетъ 37,44 километра въ часъ.

Такова же будетъ скорость, если размѣры (y_1) уменьшить въ 3 раза, а энергію (E) двигателей увеличить во столько же разъ. Такой аэростатъ имѣетъ высоту въ 10 метровъ, т. е. размѣры его значительно меньше размѣровъ управляемаго аэростата Дююи-де-Лома и только немного болѣе размѣровъ управляемыхъ аэростатовъ Тиссандье и Кребса съ Ренаромъ. Подобный аэростатъ можно построить изъ алюминія. Такъ какъ есть полная возможность энергію двигателей увеличить въ 7 разъ („Турбинныя“), то и размѣры можно уменьшить во столько же разъ, не измѣняя скорости (37 кил.) его самостоятельнаго движенія. Такой аэростатъ имѣетъ въ высоту $4\frac{2}{7}$ метра (около 2 саж.) и можетъ быть сдѣланъ только изъ органическихъ материаловъ. Повѣрно, что онъ не имѣетъ никакого практическаго значенія и едва ли можетъ быть устроенъ потому, между прочимъ, что маленькіе двигатели значительной энергіи едва ли могутъ быть выполнены.

77. Изъ таблицы видимъ, что при увеличеніи, напр., энергии (E) двигателей въ 2 раза, получается уже вполне достаточная

E . K_m . Y_1	V метръ, сек.	V кило- метръ, часъ	про- долг. Y_1
1	10,4	37,4	7,14
2	14,7	52,9	8,01
3	18,0	64,8	8,57
4	20,8	74,9	8,99
5	23,3	83,8	9,34
6	25,5	91,8	9,63
7	27,5	99,0	9,87
8	29,4	105,8	10,10
9	31,2	112,3	10,30
10	32,9	118,4	10,48
16	41,6	149,8	11,26
1000	328,0	1180,0	22,40

скорость. То-же будетъ и при увеличеніи вѣса моторовъ (K_m) вдвое. Если сдѣлать то и другое, то произведеніе увеличится въ 4 раза, а скорость въ 2 раза. Она будетъ составлять около 75 килом. въ часъ.

78. Хотя продолговатость, указанная въ предыдущей таблицѣ, наимыгоднѣйшая, однако сопротивленіе мало увеличится, если мы ее нѣсколько измѣнимъ, напр., уменьшимъ. Дѣйствительно, возьмемъ изъ таблицы 4-ую горизонтальную строку съ продолговатостью, близкой къ девяти и скоростью, близкой къ 75 килом. въ часъ, или 20,8 метра въ 1 секунду; по уравненію 30 вычислимъ соответствующій коэффициентъ сопротивленія въ 0,0296 или утилизацію формы въ 33,75.

Теперь, по формулѣ 16, вычислимъ коэффициенты сопротивленія, полагая скорость аэростата неизмѣнной (20,8 м. въ 1 секунду), а продолговатость послѣдовательно равной:

$$9, 8, 7, 6;$$

тогда получимъ слѣдующія коэф. сопротивленія и утилизацію формы:

$$\text{Коэф.} = 0,0296; 0,0302; 0,0318; 0,0355$$

$$\text{Утил.} = 33,75; 33,11; 31,45; 28,17.$$

79. Отсюда мы видимъ, что сопротивленіе аэростата, при той же скорости, чрезвычайно мало увеличивается, когда мы даже довольно значительно уклоняемся отъ наимыгоднѣйшей продолговатости.

Практическій результатъ этого очевиденъ: именно, мы можемъ дѣлать аэростаты менѣе продолговатые, чѣмъ того требуетъ таблица 31, или уравненія 25 и 30. Только не надо при этомъ забывать, что отъ уменьшенія продолговатости уменьшается подъемная сила аэростата, а вмѣстѣ съ тѣмъ и вѣсъ двигателей (K_m), что служитъ еще причиною уменьшенія скорости (формула 51).

80. Поступательное движеніе аэростата получаетъ, какъ и морской пароходъ, при посредствѣ гребного винта. Чтобы значительная доля работы моторовъ утилизировалась аэростатомъ, надо, чтобы винтъ имѣлъ достаточную поверхность; если этого нѣтъ, то работа моторовъ пропадаетъ напрасно. Положивъ утилизацію силы двигателей винтомъ постоянной (или K_h постояннымъ), по вычисленіи, найдемъ, что поверхность винтовыхъ лопастей должна увеличиваться съ уменьшеніемъ скорости (v) поступательнаго движенія аэростата. Объяснимся.

81. Вращеніе лопастей можно приравнять нормальному движенію ихъ со скоростью V_h по направленію, обратному движенію аэростата. Такъ какъ давленіе на эти лопасти встрѣчнаго воздушнаго потока должно быть равно давленію на аэростатъ, то имѣемъ:

82. $S \cdot K \cdot V^2 = S_h \cdot V_h^2$, гдѣ S —площадь поперечнаго сѣченія аэростата, а S_h —поверхность, близкая къ поверхности лопастей винта*); (K) есть коэффициентъ сопротивленія аэростата (16 и 30). Въ теченіе

*) Только приблизительно ее (S_h) можно считать постоянной; поэтому и конечный выводъ нашъ о винтѣ только приблизительно вѣренъ.

секунды воображаемая поверхность (S_h) винта подвинулась на (V_h), а аэростат подвинулся на (V). Всего пройдено въ секунду ($V_h + V$).

Слѣдовательно отношеніе $\frac{V}{V + V_h}$ выражаетъ полезную работу моторовъ, т. е. коэф. винта (K_h). Значить :

$$83 \dots \frac{V}{V + V_h} = K_h = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_h}{V}\right)}.$$

Отсюда получимъ :

$$84 \dots \frac{V}{V_h} = \frac{K_h}{1 - K_h}, \text{ а изъ } 82 : \frac{S_h}{S} = K \cdot \left(\frac{V}{V_h}\right)^2.$$

Выключая отсюда

$$\left(\frac{V}{V_h}\right),$$

посредствомъ уравн. 83, найдемъ :

$$85 \dots \frac{S_h}{S} = K \cdot \left(\frac{K_h}{1 - K_h}\right)^2.$$

Но наименьшій коэф. сопротивленія (K) въ зависимости отъ скорости аэростата мы можемъ узнать изъ уравненій 30 и 25; получимъ :

$$86 \dots K = \sqrt[3]{\frac{27}{4} \cdot K_f^2 \cdot K_t} \cdot V^{-2/3}.$$

Теперь, выключая изъ 85 уравн. (K) съ помощью этой формулы, найдемъ :

$$87 \dots \frac{S_h}{S} = \sqrt[3]{\frac{27}{4} \cdot K_f^2 \cdot K_t} \cdot \left(\frac{K_h}{1 - K_h}\right)^2 \cdot V^{-2/3},$$

т. е. относительная поверхность

$$\left(\frac{S_h}{S}\right)$$

гребного винта обратно пропорціональна $V^{2/3}$.

88. Такъ какъ коэф. тренія (K_f) у воды меньше, чѣмъ у воздуха, то у кораблей относительная поверхность гребного винта меньше.

Положивъ $K_h = \frac{2}{3}$, по формулѣ 86 вычислимъ :

$$89 \dots \frac{S_h}{S} = \frac{1,044}{V^{2/3}} \cdot \left(\frac{K_h}{1 - K_h}\right)^2 = \frac{4,176}{V^{2/3}}.$$

Впрочемъ изъ формулы 85 и таблицы 31 легче получить примѣрные относительныя площади винта. Такъ составимъ таблицу:

90.

V метры, секунды	V взломъ, часы	$K_h = \frac{2}{3}$	$K_h = \frac{1}{2}$	$K_h = \frac{1}{3}$
		Sh : S		
1	3,6	0,90	1:4,45	1:2,0
2	7,2	0,57	1:7,07	1:3,1
3	10,8	0,43	1:9,28	1:4,1
4	14,4	0,36	1:11,22	1:5,0
5	18,0	0,31	1:13,02	1:5,8
6	21,6	0,27	1:14,70	1:6,5
10	36,0	1:5,2	1:20,71	1:9,2
15	54,0	1:6,8	1:27,13	1:12,1
20	72,0	1:8,2	1:32,85	1:14,6
30	108,0	1:10,8	1:43,00	1:19,1
60	216,0	1:17,1	1:68,27	1:30,3

Изъ таблицы этой видно, что у первыхъ управляемыхъ аэростатовъ, съ малой скоростью движенія, относительная поверхность гребныхъ винтовъ должна бы быть громадной (чуть не равняться площади поперечнаго сѣченія). А такъ какъ она на практикѣ была незначительна, то громадная доля работы двигателей должна у нихъ была пропадать даромъ (буквально—*тратиться на ветер*).

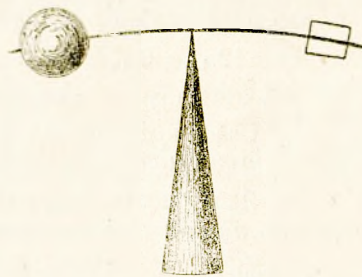
II.

Краткое описаніе опытовъ сопротивленія воздуха.

1. (Фиг. 2) покажетъ намъ приборъ, при помощи котораго я опредѣлялъ сопротивленіе воздуха продолговатымъ тѣламъ (въ родѣ нашего аэростата) при движеніи ихъ со скоростью одного метра.

2. Испытываемыя тѣла ограничивались поверхностями вращенія, полученными отъ движенія дуги окружности вокругъ ея хорды. Диаметръ средняго поперечнаго сѣченія всѣхъ тѣлъ имѣлъ около 10 сант., а площадь поперечн. сѣч. отъ 80 до 82 кв. сантиметровъ.

3. На одинъ конецъ стального стержня (фиг. 2) надѣвалась испытываемая форма (я дѣлалъ ихъ изъ бумаги), а на другой — небольшая пластинка. Направленіе движенія прибора совпадало съ направлениемъ испытываемой продолговатой формы и было нормально къ направлеию



Фиг. 2.

горизонтальнаго стержня и отвѣсной пластинки. Передъ началомъ поступательнаго движенія старались стержень удержать отъ малѣйшаго вращенія на остріѣ. При многократныхъ опытахъ пластинка урѣзывалась или перемѣнялась до тѣхъ поръ, пока давленіе на нее встрѣчнаго воздушнаго потока не равнялось продольному давленію на форму. Это было тогда, когда поступательное движеніе не заставляло вращаться стержень (центры давленій были на равномъ разстояніи отъ острія). Въ такомъ случаѣ, отношеніе площади пластинки къ площади наибольшаго поперечнаго сѣченія формы и называю коэффициентомъ сопротивленія испытываемой формы.

Вотъ еще данныя объ этихъ формахъ (2) и результаты опытовъ съ ними

4. Длина формы.	21,	32,	42,	52,	62 сант.
5. Поверхность ея.	440,	670,	880,	1080,	1300 кв. сант.
6. Площадь пластинки	20,	18,	19,	21,	24 кв. сант.
7. Коэфф. сопротивл.	0,250;	0,222;	0,235;	0,259;	0,296.

Послѣдняя строка получена отъ дѣленія площадей равнаго сопротивленія (6) на площадь наибольшаго поперечнаго сѣченія, т. е. на 80 или на 82 (2).

8. Разсматривая коэффициенты сопротивленія, видимъ, что *наименьшее* сопротивленіе оказывается у формы, длина которой почти *въ три раза* больше высоты. Итакъ, съ увеличеніемъ продолговатости, или остроты тѣла, его сопротивленіе сначала уменьшается, а затѣмъ возрастаетъ. Это будетъ понятно, если мы допустимъ существованіе тренія воздуха о тѣло.

9. Тотъ же приборъ не только доказалъ существованіе тренія, но и далъ возможность опредѣлить его коэффициентъ. Для этого продолговатая форма снималась, а на мѣсто ея укрѣплялось подобіе флага или флюгера, расположеннаго всегда по направлевію движенія.

10. При движеніи со скоростью *одного метра*, отношеніе площади пластинки равнаго сопротивленія къ двойной площади большей трущейся плоскости (принимались въ расчетъ обѣ ея стороны) равнялось $\frac{1}{58}$.

11. Умножая поверхность (5) каждаго испытываемаго тѣла на полученный коэффициентъ тренія ($\frac{1}{58}$) и вычитая эту величину тренія изъ площадей равнаго сопротивленія (6), найдемъ слѣдующія числа:

12. 12,41, 6,45, 3,83, 2,21, 1,59 кв. сант.

Изъ этой строки выводимъ *приблизительно* вѣрный законъ:

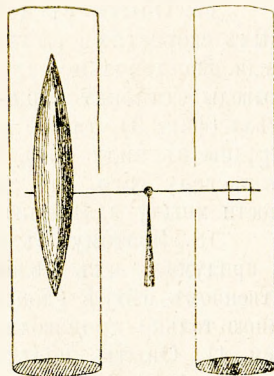
13. *Сила, необходимая для раздвиганія воздуха (не считая тренія), обратно пропорціональна квадрату продолговатости тѣла.*

14. Дальнѣйшіе опыты (9) съ аппаратомъ убѣдили меня, что *коэффициентъ тренія обратно пропорціоналенъ скорости движенія трущейся поверхности*, т. е. выражается формулой $\frac{1}{58 \cdot V}$, гдѣ (V) есть *скорость поверхности въ метрахъ.*

15. Зная законъ (13), опредѣляющій силу раздвиганія воздуха, или сопротивленіе отъ инерціи, и законъ тренія (14), не трудно уже,

чисто эмпирически, составить и формулу общаго сопротивленія воздуха тѣламъ принятой нами простѣйшей формы (2). Такимъ образомъ получимъ формулу третью, первой главы.

16. Для непосредственнаго опредѣленія коэффициентовъ сопротивленія продолговатыхъ тѣлъ (2), при большихъ скоростяхъ движенія, я устроилъ приборъ (фиг. 3), состоящій изъ двухъ горизонтальныхъ трубъ, укрѣпленныхъ на треножникѣ; онѣ имѣли въ длину около 75 сантим. и въ отверстіи около 25 сантим. Въ одной изъ нихъ помѣщалась на стержнѣ (фиг. 2 и 3) испытываемая форма, а въ другой пластинка; стержень, конечно, проходилъ въ трубы черезъ особія отверстія и средняя часть его, какъ всегда, вращалась свободно на остриѣ*). Трубы выносились на крышу и ставились по направленію вѣтра. Я становился сбоку и смотрѣлъ въ промежутокъ между двумя трубами на стержень, чтобы замѣтить, на какую его половину давленіе воздуха было больше, т. е. какая его половина перетягивала.



Фиг. 3.

Мною испытывалась форма въ 62 сантим. длины (4). Скорость вѣтра въ мѣстѣ наблюденія постоянно и быстро измѣнялась, переходя отъ 0 до 5 метровъ въ секунду. Я употреблялъ послѣдовательно, въ роли пластинокъ равнаго сопротивленія (6), мѣдныя монеты съ площадями въ 11,6, 8 и въ 6,2 кв. сантим. Когда скорость вѣтра мала, перетягиваетъ форма, но лишь скорость вѣтра достигаетъ 2—3 метровъ — перевѣсъ на сторонѣ пластинки (площ.=11,6; соответствующій коэффициентъ= $\frac{1}{7}$). При скорости около 4 метровъ, перетягиваетъ площадь въ 8 кв. сантим.; соответствующій коэффид.= $\frac{1}{10}$. При скорости, большей 5 метровъ, перетягиваетъ даже монета съ площадью въ 6,2 кв. сантим.; соответствующій коэффициентъ будетъ $\frac{1}{13}$.

Все эти опыты приблизительно согласуются съ нашими формулами, основанными на другихъ опытныхъ данныхъ (гл. 1, форм. 3). Коэффициенты сопротивленія продолговатыхъ тѣлъ, при малыхъ скоростяхъ движенія, поражаютъ своей значительной величиной (см. 7). Такъ для тѣла съ продолговатостью 5,2 и при секундной скорости его движенія въ 1 метръ, коэффид. сопротивленія составляетъ 0,259, или около $\frac{1}{4}$. Но то же отчасти мы замѣчаемъ и при движеніи, съ малой скоростью, продолговатыхъ тѣлъ въ водѣ. Такъ опыты съ деревяннымъ тѣломъ, принятой нами формы и съ продолговатостью 5, дали коэффициентъ около $\frac{1}{3}$; скорость движенія при этомъ опытѣ не была опредѣлена, но была менѣе $\frac{1}{2}$ метра въ 1 секунду.

Я дѣлалъ еще многіе опыты съ поверхностями другихъ формъ. Такъ для шара и цилиндра, при скорости около 1-го метра, я получилъ коэффициенты $\frac{2}{3}$ и 0,6. Для большихъ скоростей коэффид. сопротивленія шара близокъ къ 0,4.

И дѣлалъ еще многіе опыты съ поверхностями другихъ формъ. Такъ для шара и цилиндра, при скорости около 1-го метра, я получилъ коэффициенты $\frac{2}{3}$ и 0,6. Для большихъ скоростей коэффид. сопротивленія шара близокъ къ 0,4.

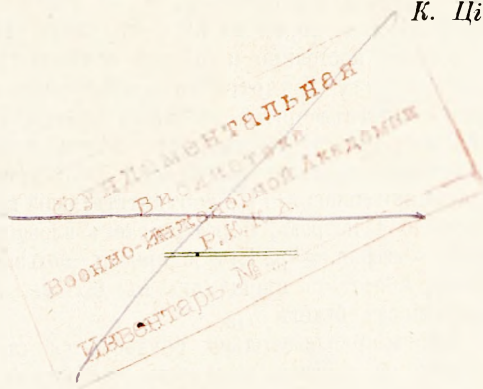
*) Внутри трубъ были натянуты проволоки, мѣшающія чрезмѣрнымъ качаніямъ и уклоненіямъ формъ.

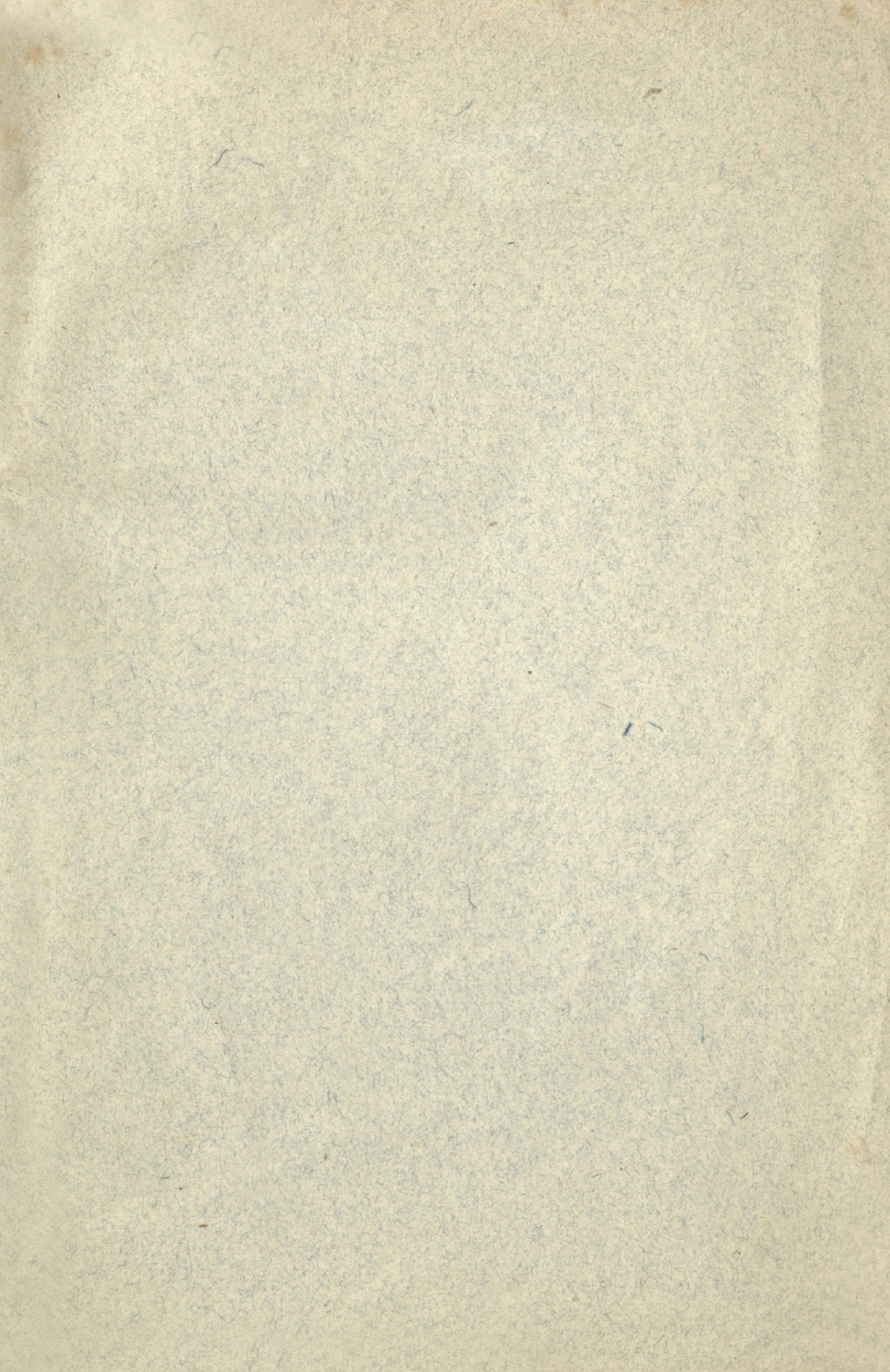
17. Опыты съ движеніемъ тѣла (фиг. 2) удобны только при малыхъ скоростяхъ движенія; при большихъ-же — испытываемая форма, если она довольно продолговата, принимаетъ наклонное положеніе и выводы становятся ошибочны. Опыты на вѣтру, при неподвижности тѣла (фиг. 3), также далеко не безукоризненны и во всякомъ случаѣ трудны въ виду того, что нѣжный аппаратъ нужно часто переносить и въ виду того, что скорость вѣтра чрезвычайно измѣнчива (въ особенности между зданіями) по направленію и величинѣ.

18. Поэтому, въ послѣднее время, производя повѣтрочные опыты, я придумалъ ихъ дѣлать по совершенно новому методу и при искусствениомъ вѣтрѣ (лопастная воздуходувка—родъ большой вѣялки). Пока мною только производился экспериментъ съ моделью въ 42 сант. длины (см. 4). Опыты подтвердили данныя вами формулы, и для взятой модели я получалъ коэффициенты сопротивленія постепенно уменьшающіеся съ увеличеніемъ быстроты искусственнаго воздушнаго потока (до $\frac{1}{14}$).

19. Новые методы позволяютъ производить изслѣдованія во всякое время и съ достаточною точностію; они также весьма удобны и для демонстрированія. Современемъ, надѣюсь, дать подробный отчетъ какъ о старыхъ своихъ опытахъ, такъ и о новыхъ.

К. Циолковскій.





1 ксер

8

Въ книжныхъ магазинахъ Москвы и Петербурга продаются слѣдующіе труды К. ЦЮЛКОВСКАГО:

1. Аэроплатъ металлическій управляемый. 2 выпуска, 200 стр.
Цѣна за оба выпуска 1 р. 25 к.

Этотъ трудъ удостоенъ перевода на языки: немецкій, французскій и англійскій.

2. Аэропланъ. или птицеподобная летательная машина. Цѣна 30 к.
3. Желѣзный управляемый аэроплатъ на 200 человекъ. Цѣна 15 к.

Последнюю брошюру можно получать отъ автора въ Калугѣ.

Адресъ: Георгіевская улица, домъ Сперанской.