

Морисъ Кантелу.

ЭТЮДЪ ПО АВІАЦІИ

ТЕОРІЯ АППАРАТОВЪ МЕХАНИЧЕСКАГО ПОЛЕТА.

Переводъ съ фрац. Ник. Волпянскаго.

Подъ редакціей Воен. Инженера Полковника

В. Ф. НАЙДЕНОВА.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Книгоиздательство „ЛОГОСЪ“.

1910.

Если предположить, что при помощи какой нибудь системы лопатокъ или поворачивающихся плоскостей, мы достигли того, что поддерживающая поверхность во время своего подъема имѣетъ меньшую площадь, чѣмъ во время своего опусканія, то для того, чтобы аппаратъ находился въ равновѣсїи или, лучше сказать, оставался на той же высотѣ, реакція, испытываемая опускающейся поверхностью должна быть достаточна, чтобы уничтожить отрицательное усиліе, которое производитъ поднимающаяся поверхность.

Разность между сопротивленіемъ опускающейся поверхности и сопротивленіемъ поверхности поднимающейся должна уравновѣсить вѣсъ аппарата.

Въ высказанныхъ выше соображеніяхъ мы не касались работы силы тяжести.

Числовой примѣръ. Представимъ себѣ аппаратъ, снабженный двумя крыльями, которыя поочереди опускаются и поднимаются. Пусть поддерживающая поверхность и вѣсъ нашего аппарата соотвѣтственно равны поддерживающей поверхности и вѣсу идеальнаго ортоптера, разсмотрѣннаго нами въ предыдущемъ числовомъ примѣрѣ.

Будемъ считать, что при опусканіи крыла его площадь равна S , а скорость V , тогда по формулѣ (4) будемъ имѣть:

$$R = 0,2 SV^2.$$

При подъемѣ же крыла положимъ, что его площадь уменьшилась и стала равна $\frac{1}{4}S$, а скорость осталась та же, тогда по той же формулѣ для отрицательнаго усилія будемъ имѣть слѣдующую величину:

$$R' = 0,2 \frac{S}{4} V^2,$$

полезное же усиліе выразится разностью R и R' :

$$P = R - R' = 0,15 SV^2$$

откуда—

$$V = \sqrt{\frac{P}{0,15S}}.$$

Для $P = 500$ клгр. и $S = 50$ кв. м.

$$V = \sqrt{\frac{500}{0,15 \times 50}} = 8,20 \text{ м. въ сек.},$$

а необходимая работа будетъ равна:

$$T = 500 \times 8,2 = 4100 \text{ килограммо-метровъ},$$

что составляетъ 55 лошадиныхъ силъ.

Замѣчанія объ ортоптерахъ. Вполнѣ понятно, что въ системѣ ортоптера превращеніе непрерывнаго круговаго движенія двигателя въ переменное колебательное движеніе крыльевъ влечетъ за собою значительную потерю работы, вслѣдствіе тренія частей механизма; кромѣ того, въ тѣхъ точкахъ, въ которыхъ происходитъ измѣненіе направленія движенія, приходится преодолевать силу инерціи крыльевъ и, наконецъ, въ началѣ и въ концѣ своего пути крыло находится въ наклонномъ положеніи и въ это время вертикальная составляющая сопротивленія имѣетъ меньшую величину, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда плоскость горизонтальна, вслѣдствіе всего этого для того, чтобы получить заданное среднее сопротивленіе, скорость крыльевъ должна быть еще увеличена.

Всѣ эти причины влекутъ за собою увеличеніе мощности двигателя, а вмѣстѣ съ тѣмъ и общаго вѣса аппарата, что, конечно, еще больше затрудняетъ удовлетворительное рѣшеніе задачи поддерживанія.

Слѣдуетъ также замѣтить, что число ударовъ крыльевъ въ секунду должно быть возможно велико для того, чтобы промежутокъ времени, необходимый для поднятія крыла былъ очень короткимъ и отрицательная работа, производимая силою тяжести аппарата, была по возможности мала.

Существуютъ наблюденія, которыя указываютъ, что полетъ птицы, ударяющей крыльями сравнительно медленно, какъ на примѣръ вороны, происходитъ, вслѣдствіе вліянія силы тяжести, въ вертикальной плоскости по волнистой траекторіи.

Выше мы разсмотрѣли два чисто теоретическихъ случая ортоптера, при чемъ мы имѣли въ виду только равно-

вѣсіе аппарата. Очевидно, что для того, чтобы аппаратъ поднимался, надо затрачивать еще нѣкоторое количество работы, которое должно быть прибавлено къ количеству работы необходимому для поддерживанія аппарата въ равновѣсіи. Тоже слѣдуетъ сказать и относительно поступательнаго движенія.

Сила вѣтра также вліяетъ на увеличеніе количества необходимой работы.

Наблюденія надъ полетомъ птицъ показываютъ, что послѣдній не основанъ на принципѣ ортоптера: такъ, на примѣръ, птица сарычъ имѣетъ поверхность распростертыхъ крыльевъ равную 0,20 кв. м., разстояніе r — отъ центра давленія до оси вращенія — равно 0,20 м., амплитуда взмаха крыла 120° въ 0,2 сек.

Пользуясь формулой (4), по этимъ даннымъ для величины сопротивленія получимъ:

$$R = 0,175 \text{ клгр.},$$

что составляетъ только 0,1 вѣса птицы.

Птица-аэропланъ. И такъ, принципъ ортоптера не приложимъ къ полету птицъ, тѣмъ не менѣе птицы летаютъ и это доказываетъ, что ихъ полетъ основанъ на другомъ принципѣ. Это приводитъ насъ къ тому, что мы должны разсматривать птицу, какъ аэропланъ, т. е. другими словами, допустить, что поддерживающая поверхность для полученія болѣе выгоднаго значенія вертикальной составляющей сопротивленія воздуха должна быть наклонна къ направленію движенія.

Передняя часть крыльевъ птицы служитъ поддерживающей поверхностью, задняя же часть своими гибкими концами играетъ роль движителя.

Дѣйствительно, часто можно наблюдать, какъ птицы, пользуясь приобрѣтенной живой силой или силою тяжести, скользятъ по воздуху горизонтально или опускаясь, не махая крыльями.

Птицѣ приходится, для своего поддерживанія использовать сопротивленіе воздуха движенію ея крыльевъ. Въ дѣйствительности птица пользуется ими, какъ мы предположили это для системы ортоптера, т. е. такимъ образомъ, что сопротивленіе получается гораздо большее при опу-

сканіи крыльевъ, чѣмъ при ихъ обратномъ движеніи; этотъ результатъ достигается благодаря гибкости крыла.

Кромѣ того слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что птицы никогда не поднимаются вертикально и что онѣ пріобрѣтаютъ первоначальную скорость при помощи разбѣга или прыжка. Стрижь, напримѣръ, имѣетъ очень слабыя ноги, вслѣдствіе чего онъ не можетъ бѣгать, и для того, чтобы получить первоначальную скорость, вынужденъ бросаться съ обрыва или со стѣны, а подняться съ земли не можетъ.

Нѣкоторыя небольшія птицы могутъ держаться въ воздухѣ, не подвигаясь впередъ; кто не видалъ воробья или даже голубя, поддерживающихся въ воздухѣ частыми ударами крыльевъ? Въ эти минуты птицы производятъ работу ортоптера и легко видѣть, что это для нихъ крайне утомительно. Это приводитъ къ заключенію, что коэффициентъ полезнаго дѣйствія ортоптера гораздо ниже, чѣмъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія аэроплана.

Чѣмъ больше птица, тѣмъ меньше уголъ ея взлета и наиболѣе крупныя представители пернатыхъ могутъ подниматься подъ угломъ не превосходящемъ 45° .

Благодаря этому орла можно держать плѣнникомъ на открытомъ дворѣ, обнесенномъ изгородью, при условіи, чтобы высота ея была не меньше разстоянія между ея стѣнами. Тѣмъ же обстоятельствомъ пользуются въ Южной Америкѣ во время охоты на кондора.

Задача авіаціи. Изъ всего выше сказаннаго мы не дѣлаемъ вывода, что нельзя будетъ никогда построить механическаго ортоптера, который бы могъ поднимать одного или нѣсколькихъ человѣкъ, однако основываясь на наблюденіяхъ надъ полетомъ птицъ, мы утверждаемъ, что при системѣ ортоптера отношеніе работы къ поддерживаемому грузу будетъ всегда очень велико, что повлечетъ за собою необходимость пользоваться сильными двигателями чрезмѣрной легкости.

Такимъ образомъ, ортоптеры далеки отъ рѣшенія задачи авіаціи, которая заключается въ томъ, чтобы поднимать и перемѣщать заданный вѣсъ съ возможно меньшей затратой работы.

ГЛАВА III.

Аэропланы безъ двигателя.

I. Воздушный змѣй.

Нѣкоторые опыты. Изобрѣтеніе воздушнаго змѣя, справедливо называемаго первымъ аэропланомъ, приписываютъ Архитасу Тарентскому, жившему за 400 лѣтъ до Р. X.

Воздушный змѣй—знакома всѣмъ игрушка, доставлявшая въ дѣтствѣ намъ много радостей, была хорошо извѣстна въ теченіе многихъ вѣковъ китайцамъ, японцамъ и малайцамъ; но эта дѣтская игрушка въ концѣ концовъ нашла полезное примѣненіе: въ 1752 г. Франклинъ и Рома при помощи воздушнаго змѣя доказали тождественность атмосфернаго электричества съ получаемымъ отъ элементовъ и электрическихъ машинъ; тѣ же опыты показали, что между любой точкой атмосферы и землей существуетъ разность потенциаловъ, зависящая отъ высоты точки.

Можетъ быть, когда нибудь наступитъ время, когда будетъ использовано это паденіе потенциала, подобно тому, какъ въ настоящее время пользуются паденіемъ воды.

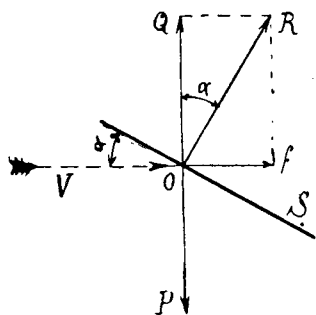
Въ 1894 г. капитанъ Баденъ-Поуэлъ въ Англіи поднялся на высоту 80 м. при помощи нѣсколькихъ соединенныхъ между собою змѣевъ.

Въ тоже время Харгравъ въ Австраліи изобрѣлъ хорошо извѣстный въ настоящее время коробчатый змѣй и соединивъ 4 такихъ змѣя, поднялся на нихъ.

Въ 1900 г. Рочъ на обсерваторіи въ Блю-Гиллѣ заставилъ подняться систему изъ 6 змѣевъ на высоту 4600 м., при чемъ длина нити, или лучше сказать, стальной проволоки, достигала 7000 м.

Мы уже далеки теперь отъ той скромной игрушки, которую пускаетъ съ разбѣга мальчикъ, и въ этомъ случаѣ теорія много способствовала достигнутому успѣху.

Сопротивленіе воздуха наклонной плоскости. Если мы представимъ себѣ, что на плоскость S (черт. 3) дѣйствуетъ воздушный потокъ, при чемъ плоскость S наклонена къ направлению воздушнаго потока подъ угломъ α , то очевидно, что эта плоскость не будетъ испытывать давленія воздуха, равнаго давленію R на такую же плоскость расположенную перпендикулярно къ направлению воздушнаго потока, такъ какъ движущійся воздухъ направится вдоль наклона и будетъ стремиться обогнуть встречаемое препятствіе. Не трудно замѣтить, что давленіе, при неизмѣняемости всѣхъ другихъ условий, должно мѣняться въ зависимости отъ угла наклоненія α .



Чер. 3.

Однако, измѣненіе величины R не будетъ строго пропорціонально измѣненію угла наклоненія и въ данномъ случаѣ формулы, предлагаемыя различными изслѣдователями, далеко не согласуются между собою.

Для того, чтобы для случая наклоннаго положенія плоскости примѣнить формулу (1):

$$R = KSV^2,$$

необходимо умножить правую часть ея на нѣкоторую величину, мѣняющуюся въ зависимости отъ измѣненія угла α , и при томъ такую, при которой бы $R = 0$ для $\alpha = 0$ и $R = KSV^2$ для $\alpha = 90^\circ$.

Въ самомъ дѣлѣ, если $\alpha = 0$, то плоскость, которую мы считаемъ безконечно тонкой, не будетъ испытывать никакого давленія воздуха, а при $\alpha = 90^\circ$, мы возвращаемся къ случаю плоскости перпендикулярной къ направлению движенія. Такимъ образомъ, искомый множитель долженъ равняться нулю при $\alpha = 0$ и единицѣ при $\alpha = 90^\circ$.

Синусъ угла наклоненія представляетъ переменную величину, удовлетворяющую этимъ условіямъ.

Опыты, однако, показываютъ, что законъ измѣненія сопротивленія воздуха наклонной плоскости значительно сложнее закона простого синуса и полк. III. Ренаромъ была предложена слѣдующая формула:

$$R = KSV^2 (2 \sin \alpha - \sin^3 \alpha) (5)$$

Недостатки этой формулы заключаются въ томъ, что для небольшихъ угловъ она даетъ результаты нѣсколько меньшіе, чѣмъ получающіеся изъ опытовъ, а кромѣ того выраженіе, находящееся въ скобкахъ достигаетъ maximum'a, превосходящаго единицу между 0° и 90° , что совершенно недопустимо для тонкой пластики.

Въ томъ случаѣ, когда нормальное сопротивленіе R извѣстно, оно можетъ быть разложено на двѣ силы—на вертикальную силу Q , направленную снизу вверхъ и на горизонтальную силу f , направленіе которой совпадаетъ съ направлениемъ воздушнаго потока.

Всѣ силы приложены въ одной точкѣ.

Въ силу этого разложенія мы будемъ имѣть:

$$Q = R \cos \alpha$$

$$f = R \sin \alpha = Q \operatorname{tg} \alpha$$

Для того, чтобы существовало равновѣсіе, необходимо, чтобы сила Q уравновѣсила вѣсъ разсматриваемой плоскости P , а кромѣ того въ точкѣ O должна быть приложена сила равная, но противоположная по направленію силѣ f , препятствующая перемѣщенію плоскости въ направленіи горизонтальномъ, или:

$$P = R \cos \alpha$$

$$f = P \operatorname{tg} \alpha.$$

Уголъ α называется угломъ наклоненія плоскости или угломъ атаки.

Взамѣнъ формулы (5) можетъ быть составлена таблица, дающая соотвѣтствующіе множители для выраженія KSV^2 въ зависимости отъ угла наклоненія α для полученія величинъ R , Q и f .

Пользуясь хотя и несовершенной формулой полковника Ренара и составленной по ней таблицей, мы будемъ тѣмъ не менѣе имѣть для наклонной плоскости результаты достаточно близкіе къ дѣйствительности.

ТАБЛИЦА I.

Зависимость составляющихъ силы сопротивленія воздуха отъ угла наклоненія плоскости.

Уголъ на- клоненія α	Sin α	Коэффициентъ выраженія KSV^2			$\frac{c}{b}$ или tg α
		(a) для R	(b) для Q	(c) для f	
30°	0,052	0,145	0,145	0,00725	0,052
30 30'	0,061	0,173	0,1725	0,0104	0,061
40°	0,070	0,200	0,199	0,014	0,070
40 30'	0,078	0,226	0,225	0,017	0,079
50°	0,087	0,253	0,252	0,022	0,087
60°	0,105	0,280	0,278	0,029	0,105
70°	0,122	0,310	0,308	0,038	0,123
80°	0,139	0,335	0,332	0,046	0,141
90°	0,156	0,354	0,350	0,055	0,158
100°	0,174	0,387	0,382	0,067	0,176
120°	0,208	0,450	0,440	0,093	0,213
150°	0,259	0,490	0,473	0,127	0,268
200°	0,342	0,567	0,532	0,194	0,364
250°	0,423	0,667	0,604	0,282	0,466
300°	0,500	0,750	0,650	0,375	0,577
370°	0,602	0,840	0,670	0,505	0,754
400°	0,643	0,873	0,668	0,562	0,839
450°	0,707	0,914	0,645	0,645	1,000
500°	0,766	0,946	0,608	0,725	1,192
600°	0,866	0,983	0,491	0,850	1,732
700°	0,940	0,996	0,340	0,935	2,747
800°	0,985	0,999	0,174	0,985	5,671
900°	1,000	1,000	0,000	1,000	∞

Пользуясь таблицей I, будемъ имѣть слѣдующія выраженія:

$$R = KSV^2 \times a$$

$$Q = KSV^2 \times b$$

$$f = KSV^2 \times c = Q \times \frac{c}{b}.$$

Величина Q имѣетъ максимумъ при углѣ наклоненія около 37°.

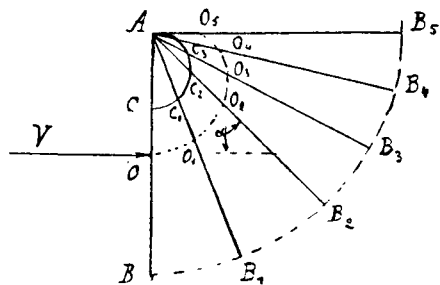
Положеніе центра давленія. Точка приложенія силы сопротивленія воздуха R и ея составляющихъ называется центромъ давленія.

Мы уже говорили, что въ томъ случаѣ, когда пластинка перемѣщается по прямой и перпендикулярна къ направленію движенія, центръ давленія находится въ геометрическомъ центрѣ фигуры, кромѣ того мы знаемъ, что при вращательномъ движеніи пластинки вокругъ одной изъ ея сторонъ, центръ давленія находится отъ оси на разстояніи равномъ $r \frac{l}{1,25}$, гдѣ l , длина пластинки, измѣряемая въ направленіи радіуса.

Для наклонной плоскости, перемѣщающейся по прямой линіи, положеніе центра давленія, которое мы будемъ обозначать буквою O , измѣняется, какъ это замѣтилъ Аванцини, съ измѣненіемъ угла наклоненія α .

Жёссель, опредѣляя законъ измѣненія положенія центра давленія, даетъ графическое рѣшеніе этого вопроса, изображенное на чертежѣ 4-мъ.

Пусть линія AB есть проекція плоскости нормальной къ направленію воздушнаго потока V . Центръ давленія въ этомъ случаѣ будетъ находиться въ точкѣ O , при чемъ $AO = OB$. Затѣмъ будемъ вращать плоскость AB такимъ образомъ, чтобы она послѣдовательно занимала положенія AB_1, AB_2, AB_3, \dots . Отложимъ отъ точки A разстояніе $AC = 0,3 AB$ и на этомъ отрѣзкѣ, какъ на діаметръ построимъ полуокружность, которая встрѣтитъ линіи AB_1, AB_2, AB_3, \dots въ точкахъ C_1, C_2, C_3, \dots . Отъ этихъ точекъ C_1, C_2, C_3, \dots отложимъ разстоянія $C_1O_1 = C_2O_2 = C_3O_3, \dots = 0,2 AB$. Точки O, O_1, O_2, \dots дадутъ искомое положеніе центра давленія.



Чер. 4.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ положеніе центра давленія въ зависимости отъ угла наклоненія плоскости AB .

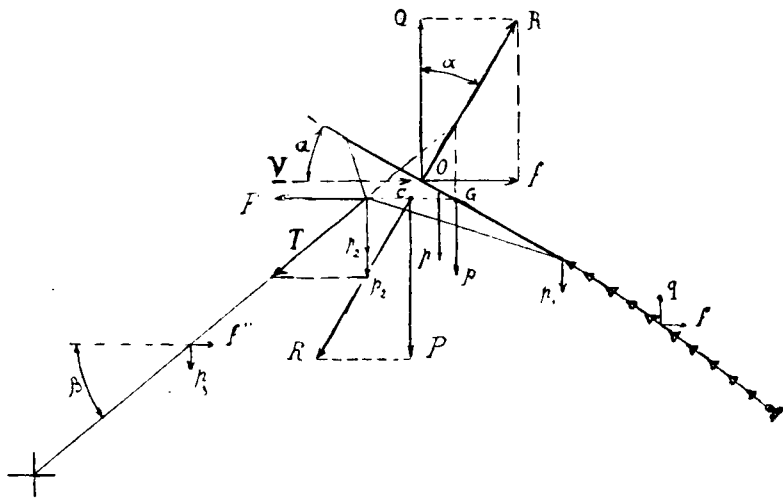
Легко видѣть, что его разстояніе отъ передняго края пластинки, проектирующагося въ точку А, измѣняется отъ $0,5 AB$ до $0,2 AB$, при измѣненіи угла наклоненія плоскости отъ 90° до величины безконечно малой.

Геометрическое мѣсто точекъ $O, O_1, O_2...$ есть кривая, называемаяся улиткой Паскаля.

Аналитически разстояніе отъ центра давленія до передняго ребра плоскости или, какъ его иногда называютъ, до *ребра атаки* можно выразить слѣдующей формулой:

$$AO_2 = AB (0,2 + 0,3 \sin \alpha).$$

Статическое равновѣсіе простаго воздушнаго змѣя. Въ воздушномъ змѣѣ (черт. 5) вертикальная составляющая Q уравниваетъ вѣсъ змѣя и нити, а сила f , стремящаяся перемѣстить аппаратъ въ горизонтальномъ направленіи, уничтожается натяженіемъ нити.



Черт. 5.

Разсматривая чертежъ 5-й, мы видимъ, что змѣй находится подъ дѣйствіемъ нѣсколькихъ силъ, при чемъ для его равновѣсія необходимо, чтобы всѣ онѣ въ результатѣ давали двѣ равныя и противоположно направленныя равнодѣйствующія R и R' .

Различныя силы, дѣйствующія на змѣй, суть слѣдующія:
 Q — вертикальная составляющая давленія воздуха на поверхность змѣя.

q — вертикальная составляющая давленія воздуха на хвостъ.

p — вѣсъ змѣя

p_1 — вѣсъ хвоста.

p_2 — вѣсъ нити

p_3 — вертикальная составляющая силы вѣтра, дѣйствующей на нить.

f — горизонтальная составляющая давленія воздуха на поверхность змѣя.

f' — горизонтальная составляющая давленія воздуха на хвостъ.

f'' — горизонтальная составляющая силы вѣтра, дѣйствующей на нить.

Силы p_3 и f'' можно опредѣлить по углу β , образуемому нитью съ горизонталью, принимая для расчета поверхность нити равной 0,57 площади сѣченія, проходящаго черезъ ея ось.

Уравненія равновѣсія будутъ слѣдующія:

$$Q + q = p + p_1 + p_2 + p_3$$

$$F = f + f' + f''$$

Натяженіе нити выразится:

$$T = \sqrt{F^2 + (p_2 + p_3)^2}$$

Точка O есть центръ давленія плоскости змѣя, равнодѣйствующая же силы тяжести приложена въ точкѣ, которая для того, чтобы змѣй былъ устойчивъ, должна находиться на направленіи силы R ниже точки O . Для этой цѣли именно и служитъ хвостъ, при чемъ, если соотвѣтствующее положеніе точки C относительно точки O будетъ достигнуто какимъ-либо инымъ путемъ, то хвоста можетъ и не быть.

Если подъемная сила $Q + q$ превосходитъ вѣсъ змѣя, то нить приметъ положеніе болѣе близкое къ вертикали и будетъ испытывать большее натяженіе, чѣмъ и уравнивается излишняя подъемная сила.

Чѣмъ больше подъемная сила, тѣмъ направленіе нити ближе къ вертикали, но, однако, оно никогда не можетъ совпасть съ направлениемъ R безъ того, чтобы не было нарушено равновѣсіе.

Когда всѣ силы находятся въ равновѣсіи, нить въ точкѣ своего закрѣпленія касательна къ горизонтали.

Вѣсъ пеньковой нити приблизительно равенъ:

$$p_2 = 0,008 d^2 l,$$

а натяженіе, которое она можетъ вынести:

$$T = 0,8 d^2,$$

гдѣ d — діаметръ нити въ миллиметрахъ, l длина нити въ метрахъ, а силы p_2 и T выражены въ килограммахъ.

Статическое равновѣсіе коробчатого змѣя. Коробчатый змѣй не имѣетъ хвоста, но условія равновѣсія остаются тѣ же.

Такъ какъ мы имѣемъ (черт. 6) двѣ параллельныя плоскости, испытывающія давленіе воздуха, и предполагаемъ эти плоскости равными между собою, то центръ давленія O будетъ находиться на оси симметріи, точно также, какъ и центръ тяжести G .

Согласно прежнимъ обозначеніямъ $p'_2 = p_2 + p_3$ *).

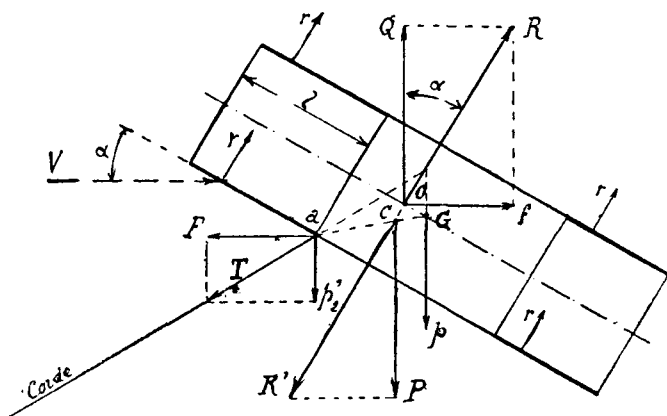
C — точка приложенія равнодѣйствующей силъ p и p'_2 должна находиться на пересѣченіи линіи aG , соединяющей точку прикрѣпленія нити a къ змѣю съ центромъ тяжести G , съ направлениемъ R и кромѣ того должна всегда находиться ниже точки O .

Уголъ наклоненія нити зависитъ отъ отношенія $\frac{p}{p'_2}$; при одной и той же величинѣ R , при одномъ и томъ же наклоненіи змѣя и при томъ же положеніи центра тяжести измѣненіе положенія точки прикрѣпленія нити a должно повлечь за собою измѣненіе отношенія $\frac{p}{p'_2}$, т. е. вѣса змѣя къ вѣсу нити (принимая во вниманіе и дѣйствіе на нее вѣтра); то же самое должно произойти, если будетъ измѣнено положеніе

*) См. черт. 5-й.

центра тяжести, при чемъ всѣ остальные условія останутся безъ измѣненія. Слѣдуетъ замѣтить, что центръ тяжести всегда долженъ находиться позади точки O .

Въ томъ случаѣ, если точка прикрѣпленія нити будетъ находиться на продолженіи линіи R , для равновѣсія необходимо, чтобы на той же линіи лежалъ и центръ тяжести.



Чер. 6.

Чѣмъ больше будетъ удалена точка a отъ G , тѣмъ больше будетъ отношеніе $\frac{p}{p_2}$ и тѣмъ меньше будетъ уголъ, образуемый нитью съ горизонталью, что равносильно тому, что при той же длинѣ нити высота подъема змѣя будетъ меньше.

Вертикальныя плоскости змѣя служатъ исключительно для того, чтобы сообщить ему поперечную устойчивость и способность автоматически, подобно флюгеру, ориентироваться по отношенію къ вѣтру, а также, чтобы, благодаря сопротивленію воздуху этихъ вертикальныхъ плоскостей, по возможности уменьшить боковыя перемѣщенія змѣя.

Для полученія наилучшихъ результатовъ ширина плоскостей должна быть по крайней мѣрѣ въ три раза больше ихъ длины.

Числовой примѣръ. Мы уже говорили выше, что нѣкоторые изъ изслѣдователей поднимались при помощи воздушныхъ змѣевъ.

На основаніи предыдущихъ формулъ, мы можемъ сдѣлать слѣдующій подсчетъ.

Воздушный змѣй, поверхность котораго равна 55 кв. м. и который находится подъ дѣйствіемъ вѣтра, дующаго со скоростью въ 8 м. въ сек., при углѣ наклоненія въ 25° , будетъ имѣть подъемную силу приблизительно въ 212 клгр., что позволитъ поднять одного человѣка:

Вѣсъ одного человѣка	75 клгр.
„ гондолы и оснастки	15 „
„ 300 м. веревки $d = 12$ мм.	35 „
Снижающее дѣйствіе силы вѣтра на веревку	12 „
Вѣсъ змѣя	65 „
	<hr/>
	202 клгр.
Излишекъ подъемной силы	20 „
	<hr/>
	212 клгр.

При длинѣ веревки въ 300 м. можно достигъ высоты приблизительно въ 100 м.

Примѣненіе воздушнаго змѣя. Съ точки зрѣнія поднятія человѣка, воздушный змѣй можетъ представлять извѣстный интересъ только для изслѣдователя; такъ какъ, во первыхъ, змѣй можетъ подняться только въ тѣмъ случаѣ, если скорость вѣтра достаточно велика, затѣмъ на немъ нельзя совершать свободныхъ полетовъ, а кромѣ того, такъ какъ вѣтеръ въ очень рѣдкихъ случаяхъ остается постояннымъ по силѣ и направленію, то поднявшійся на змѣѣ подверженъ цѣлому ряду вертикальныхъ колебаній и вращеній, которыя очень неприятны тѣмъ, что затрудняютъ производить возможные наблюденія.

При помощи воздушныхъ змѣевъ могутъ быть получены полезныя свѣдѣнія относительно качества употребляемыхъ поверхностей, но самое важное примѣненіе воздушныхъ змѣевъ состоитъ въ поднятіи на большую высоту самопишущихъ метеорологическихъ приборовъ, при помощи которыхъ могутъ быть произведены крайне интересныя и цѣнныя наблюденія высшихъ слоевъ атмосферы.

Воздушные змѣи представляютъ, сравнительно съ шарами-зондами, то преимущество, что они могутъ быть подтянуты къ землѣ во всякое время, наблюденія получены тотчасъ же, и кромѣ того они требуютъ гораздо меньшихъ затратъ.

Для поднятія самопишущихъ аппаратовъ пользуются нѣсколькими змѣями, прикрѣпленными къ одной проволоки одинъ за другимъ, на извѣстномъ разстояніи другъ отъ друга. Каждый змѣй уравниваетъ ту часть проволоки, которая находится ниже его, полезный же грузъ несетъ самый верхній.

II. Управляемые парашюты.

Замѣчанія. Мы скажемъ только нѣсколько словъ объ этихъ аппаратахъ, возможность практическаго примѣненія которыхъ довольно сомнительна, такъ какъ съ одной стороны аэростатика достигла въ настоящее время значительныхъ успѣховъ, а съ другой, матеріалы, которыми приходится пользоваться въ воздухоплаваніи, способны выдерживать только небольшую нагрузку, такъ что обремененіе воздухоплателя лишнимъ грузомъ является совершенно нежелательнымъ.

Задача управляемаго парашюта—преобразовать вертикальное паденіе въ скольженіе по болѣе или менѣе наклонной линіи, что достигается соотвѣтствующимъ наклоненіемъ поддерживающей поверхности парашюта.

Измѣняя уголъ наклоненія этой поверхности въ тотъ моментъ, когда аппаратъ пріобрѣлъ уже достаточную скорость, можно заставить его нѣкоторое время скользить по поднимающейся траекторіи. Такимъ путемъ въ результатѣ можно получить волнистую траекторію.

Къ управляемымъ парашютамъ можетъ быть отнесенъ и аппаратъ Лиліенталя, но, какъ мы видѣли, знаменитый инженеръ преслѣдовалъ совершенно другую цѣль.

Сюда также относится аппаратъ англичанина Кокена.

Какъ мы уже говорили, управляемый парашютъ не имѣетъ никакого практическаго значенія и не отвѣчаетъ никакимъ надобностямъ. Кромѣ того, слѣдуетъ замѣтить, что и при помощи обыкновеннаго парашюта можно на-

столько измѣнять траекторію полета, что, въ случаѣ необходимости, можно избѣжать встрѣтившееся препятствіе.

Подобные опыты производила смѣлая воздухоплавательница Пуатвэнъ.

Въ 1856 г. во время одного изъ своихъ полетовъ, она, прежде чѣмъ достигнуть земли, три раза перелетѣла черезъ Темзу. Она направляла аппаратъ то къ тому, то къ другому берегу, натягивая веревки подвѣски то съ одной, то съ другой стороны, чѣмъ измѣняла наклоненіе поддерживающей поверхности.

ГЛАВА IV.

Аэропланы съ двигателемъ.

I. Равновѣсіе и работа.

Нѣкоторые опыты. Опыты съ аппаратами, снабженными двигателями были временами очень интересны и, начиная съ 1840 г., они стали довольно многочисленны. Наиболѣе интересные изъ нихъ произвели: Генсонъ, дю-Тампль, Спрингфелоу, Пено, Татэнъ, Харгравъ, Пишокуръ, Максимъ, Ланглей, Татэнъ и Рише, Адеръ и др.

Многіе изъ этихъ аппаратовъ приводились въ движеніе помощью пара и нѣкоторые изобрѣтатели, какъ, напримѣръ, Адеръ, достигли чудесъ въ области техники, чтобы придать двигателю наивозможно большую легкость.

Нѣкоторые аппараты имѣли чудовищные размѣры. Такъ, напримѣръ, аппаратъ Максима имѣлъ площадь поддерживающей поверхности равную 522 кв. м., а общій вѣсъ аппарата равнялся 2612 клгр. Сила двигателя была 100 индикаторныхъ силъ *). При первомъ же опытѣ онъ потерпѣлъ аварію.

До послѣдняго времени въ распоряженіи авіаторовъ были, сравнительно, только тяжелые двигатели, но развитіе автомобильнаго дѣла дало возможность имѣть двигатели соответствующаго размѣра и вѣса.

Всѣмъ извѣстны опыты послѣднихъ лѣтъ, произведенные бр. Райтъ, Ферберомъ, Сантосъ-Дюмономъ, Пишофомъ,

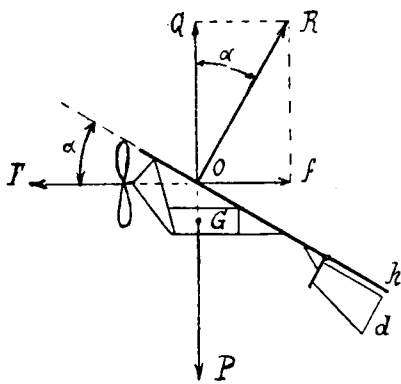
*) Вѣсъ аппарата Максима былъ около 4000 клгр. и вѣсъ двигателя около 300 клгр.

Сё, Блеріо, Эсно-Пельтри, Делагранжемъ, Фарманомъ и др., изъ которыхъ всѣмъ, или почти всѣмъ, удалось подняться, и съ каждымъ днемъ ихъ успѣхи становятся все болѣе и болѣе замѣчательными.

Какъ примѣръ, можно привести двигатель Эсно-Пельтри въ 35 индикаторныхъ силъ, который во время движенія вѣситъ только 52 клгр., а вмѣстѣ съ винтомъ и рабочимъ валомъ 60 клгр., что составляетъ 1,720 клгр. на индикаторную силу. Надо полагать, что это самый легкій изъ существующихъ двигателей.

Другіе авіаторы употребляютъ обыкновенно двигатели, общій вѣсъ которыхъ вмѣстѣ съ винтомъ составляетъ около 3 клгр. на индикаторную силу.

Теоретическій аэропланъ. Вмѣсто того, чтобы наклонную плоскость подвергнуть дѣйствію воздушнаго потока, какъ мы это предполагали выше, мы можемъ сообщить ей нѣкоторое горизонтальное перемѣщеніе при помощи какого ни-



Чер. 7.

будь двигателя, винта, на примѣръ, при чемъ скорость ея мы можемъ разсматривать, какъ скорость воздушнаго потока; въ этомъ случаѣ относительное движеніе воздуха и аппарата будетъ совершенно такое же, и мы получимъ тотъ же результатъ, какъ и въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ, когда плоскость была неподвижна, а перемѣщался окружающій ее воздухъ—под-

держивающей силой будетъ вертикальная составляющая сопротивленія воздуха R , которую мы обозначали черезъ Q .

Поэтому нами могутъ быть приложены выведенныя выше формулы.

Прибавивъ къ наклонной плоскости, кромѣ двигателя, руль высоты h и руль направленія d , мы получимъ схему аэроплана съ двигателемъ (черт. 7).

Динамическое продольное равновѣсіе аэроплана. Въ аэропланѣ, какъ и въ воздушномъ змѣѣ, вѣсъ аппарата долженъ быть уравновѣшенъ вертикальной составляющей Q , но въ данномъ случаѣ аппаратъ не испытываетъ напряженія нити, которое-бы уравновѣсило горизонтальную составляющую f , совпадающую съ направлениемъ движенія и направленную въ противоположную сторону,—эта сила должна быть уничтожена усиліемъ движителя. Такимъ образомъ, мы должны будемъ имѣть четыре силы: Q , P , f и F , которыя попарно взаимно уничтожаются.

Вся система будетъ находится въ динамическомъ равновѣсіи, откуда ясно, что равновѣсіе не можетъ имѣть мѣста, если аппаратъ не будетъ имѣть поступательнаго движенія со скоростью, достаточной для появленія необходимой силы Q .

Однако, слѣдуетъ замѣтить, что для того, чтобы уничтожились силы Q , P , f и F , недостаточно, чтобы онѣ были попарно равны и направлены въ противоположныя стороны, должно быть еще соблюдено условіе, чтобы ихъ направленія совпадали. Центръ давленія O , въ которомъ, какъ мы знаемъ, приложены силы Q и f , долженъ въ тоже время служить и точкою пересѣченія силъ P и F .

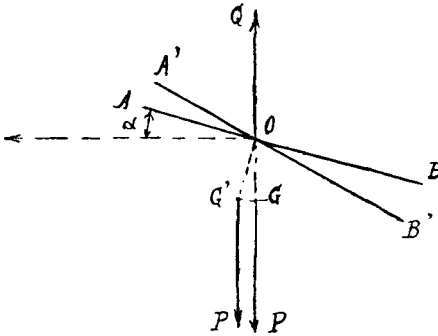
Если бы эти двѣ послѣднія силы P и F , будучи соответственно равны Q и f , были приложены въ центръ давленія, аппаратъ находился бы въ безразличномъ равновѣсіи, т. е. онъ не сопротивлялся бы какимъ бы то ни было вращеніямъ около центра давленія; чтобы придать аппарату устойчивое равновѣсіе достаточно, чтобы точка приложенія общаго вѣса аппарата, т. е. другими словами, центръ тяжести всей системы G находился на продолженіи линіи Q , ниже точки O .

Разстояніе OG обезпечиваетъ устойчивость аппарата, однако, оно должно быть не велико, чтобы по возможности избѣжать появленія, вслѣдствіе неравномѣрности работы движителя или вслѣдствіе порывовъ вѣтра, значительныхъ колебаній, на подобіе маятника, амплитуда которыхъ будетъ зависеть отъ величины разстоянія OG .

Автоматическое возстановленіе величины угла наклоненія. При положеніи центра тяжести G ниже центра давленія, уголъ наклоненія поддерживающей плоскости не можетъ

измѣнится, если къ аппарату не будетъ приложена какая-нибудь новая сила, кромѣ тѣхъ, которыя нами рассмотрѣны.

Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что плоскость АВ (черт. 8), первоначально имѣвшая уголъ наклоненія α , затѣмъ была



Черт. 8.

повернута около точки О, (при чемъ уголъ поворота настолько малъ, что мы можемъ допустить, что центръ давленія остался въ той же точкѣ), центръ тяжести перемѣстится при этомъ въ точку G' . Двѣ равныя и параллельныя силы Q и P направлены въ противоположныя стороны и образуютъ пару, которая

будетъ стремиться возвратитъ плоскость изъ положенія $A'B'$ въ первоначальное положеніе АВ. При увеличеніи угла α центръ давленія отступаетъ отъ передняго ребра поддерживающей поверхности, что еще болѣе усиливаетъ дѣйствіе пары.

Какъ мы увидимъ ниже, для уничтоженія дѣйствія подобной пары служить руль высоты, что даетъ возможность измѣнять уголъ наклоненія поддерживающей плоскости.

Равновѣсіе во время подъема. Пусть центръ тяжести перемѣщенъ нами не впередъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ, а назадъ, это вызоветъ появленіе пары, стремящейся повернуть аппаратъ въ противоположную сторону, сравнительно съ предыдущимъ случаемъ, что поведетъ къ увеличенію угла наклоненія.

Ось двигателя, которая неизмѣнно связана съ аппаратомъ, будетъ образовать съ горизонталью нѣкоторый уголъ β (черт. 9).

Направленіе реакціи воздуха, нормальной къ поддерживающей плоскости, также измѣнится на уголъ β и величина ея будетъ равна R' . Проектируя послѣднюю силу на вертикальное направленіе и на новое направленіе движенія, мы должны имѣть, какъ всегда:

$$Q = P,$$

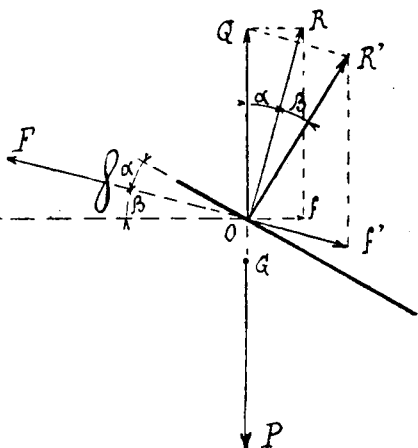
составляющая же f' , препятствующая поступательному движению, будетъ больше f . Ея новая величина будетъ *):

$$f' = Q \frac{\cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta}{\cos \alpha} = Q (\sin \beta + \operatorname{tg} \alpha \cos \beta) = F. \quad (1)$$

При той же величинѣ силы Q , сила сопротивленія, нормальная къ поверхности, уменьшится и будетъ равна:

$$R' = Q \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} = R \cos \beta$$

Если усилие двигателя F будетъ равно f' , то установится равновѣсіе и аппаратъ долженъ будетъ перемѣщаться по направленію дѣйствія двигателя OF .



Чер. 9.

Нормальная составляющая сопротивленія R' меньше R — нормальной составляющей сопротивленія соответствующей тому случаю, когда аппаратъ перемѣщается горизонтально; уголъ наклоненія по отношенію къ направленію движенія остается тотъ же самый, вслѣдствіе чего, для того чтобы получить ту же величину поддерживанія, скорость аппарата должна быть меньше. Называя скорость, соответствующую направленію OF черезъ V' , будемъ имѣть **):

$$V' = V \sqrt{\cos \beta}$$

Въ равенствѣ (1) положимъ $\alpha = 0$ и $\beta = 90^\circ$; въ этомъ

*) Изъ треугольника ORf' имѣемъ:

$$\frac{f'}{R'} = \frac{f}{Q} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(90 - \alpha)} = \frac{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta}{\cos \alpha}, \quad \text{откуда}$$

$$f' = Q (\sin \beta + \operatorname{tg} \alpha \cos \beta).$$

Прим. ред.

***) Изъ равенства $R' = R \cos \beta$ имѣемъ:

$$KSV'^2 \varphi(\alpha) = KSV^2 \varphi(\alpha) \cos \beta, \quad \text{откуда } V' = V \sqrt{\cos \beta}$$

Прим. ред.

случаѣ ось движителя вертикальна и лежитъ въ поддерживающей плоскости, тогда будемъ имѣть:

$$F = Q = P.$$

Послѣднее выраженіе показываетъ, что сила тяги движителя, направленная снизу вверхъ, уравниваетъ вѣсъ аппарата, а V , въ этомъ случаѣ, равно нулю.

Если мы положимъ, что $\beta = 0$, а уголъ наклоненія сохраняетъ свою величину α , то мы возвратимся къ случаю горизонтальнаго движенія аэроплана и выраженіе (1) дастъ:

$$F = Q \operatorname{tg} \alpha,$$

т. е. величину, которая уже была нами найдена раньше.

Наконецъ, полагая $\beta = 0$ и $\alpha = 90^\circ$, будемъ имѣть:

$$F = Q \times \infty \quad \text{и} \quad Q = \frac{F}{\infty} = 0$$

Въ самомъ дѣлѣ, въ данномъ случаѣ поддерживающая плоскость вертикальна, а ось движителя горизонтальна, вслѣдствіе чего, вполне понятно, что вертикальной составляющей силы образоваться не можетъ.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что формула (1) справедлива для всѣхъ возможныхъ случаевъ.

Въ томъ случаѣ, если сила F , дѣйствующая по направленію of , будетъ больше f' , движеніе получитъ нѣкоторое ускореніе, но нормальная составляющая сопротивленія R' , увеличивающаяся съ увеличеніемъ скорости, дастъ вертикальную составляющую Q большую, чѣмъ P . Траекторіей аппарата, въ данномъ случаѣ, будетъ линія, образующая съ горизонтальною уголъ $\gamma > \beta$, который, однако, остается меньше $\alpha + \beta$; другими словами, при одной и той же силѣ поддерживанія, уголъ наклоненія уменьшается съ увеличеніемъ скорости.

При установившимся равновѣсіи между силою тяги движителя F и новой величиной силы сопротивленія поступательному движенію f' , траекторіей аппарата будетъ прямая линія.

Если, наоборотъ, сила тяги движителя меньше, чѣмъ f' , скорость аппарата уменьшится, а вмѣстѣ съ нею уменьшится и вертикальная составляющая Q , вѣсъ аппарата P

будетъ превышать силу Q и вслѣдствіе этого аэропланъ будетъ двигаться по траекторіи, наклоненной къ горизон-тали подъ угломъ $\delta > \beta$.

При углѣ $\delta = 0$, траекторія аппарата совпадаетъ съ горизонтальною и условіе равновѣсія будетъ такое же, какъ при углѣ наклоенія поддерживающей поверхности равномъ $\alpha + \beta$; сила сопротивленія поступательному движенію въ данномъ случаѣ равна:

$$f' = Q \operatorname{tg} (\alpha + \beta)$$

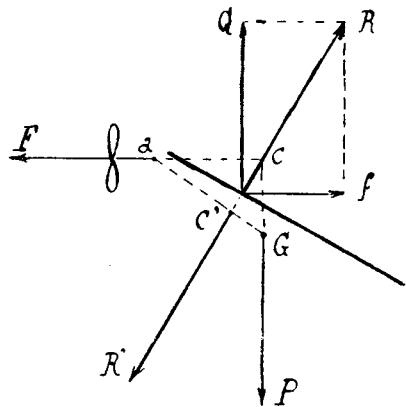
и сила тяги двигателя:

$$F = Q \frac{\operatorname{tg} (\alpha + \beta)}{\cos \beta},$$

F очевидно больше f' и при томъ безъ какой бы то ни было выгоды для конечнаго результата.

Взаимное расположеніе центра тяжести, центра давленія и точки приложенія силы тяги двигателя. Несмотря на положеніе центра тяжести, можно заставить аппаратъ перемѣщаться горизонтально при заданномъ углѣ наклоенія.

Если центръ тяжести G находится позади центра давленія O (черт. 10), то, чтобы аппаратъ перемѣщался горизонтально при углѣ наклоенія равномъ α , необходимо, чтобы горизонтальное направленіе силы тяги двигателя встрѣчало направленіе сопротивленія R въ той же точкѣ C , черезъ которую проходитъ вертикаль центра тяжести; другими словами, ось двигателя должна находиться выше центра давленія.



Чер. 10.

Наоборотъ, если центръ тяжести находится впереди центра давленія, необходимо, чтобы ось двигателя проходила ниже точки O .

Однако, для равновѣсія аппарата, какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ, этого еще не достаточно и кромѣ того требуется, чтобы прямая aG , соединяющая точку приложенія силы движителя съ центромъ тяжести, встрѣчала продолженіе линіи R въ точкѣ C' лежащей ниже точки O .

Измѣняя отдѣльно такъ или иначе положеніе центра тяжести и движителя или и того, и другого вмѣстѣ, всегда можно достигъ того, что поддерживающая плоскость аэроплана будетъ имѣть заданный уголъ наклоненія.

Итакъ, мы видимъ, что необходимо съ особой заботливостью стремиться къ точному размѣщенію всѣхъ частей аппарата и что постройка устойчиваго аэроплана должна быть основана на строгомъ изученіи законовъ равновѣсія.

Вредное (лобовое) сопротивленіе аппарата. Во всѣхъ предыдущихъ разсужденіяхъ сопротивленіемъ поступательному движенію мы считали только горизонтальную составляющую силы R ; легко замѣтить, что это сопротивленіе увеличивается, благодаря сопротивленію перемѣщенію свойственному всякой поверхности, находящейся въ движеніи, а также благодаря тренію воздуха.

Птица обладаетъ такой формой тѣла, которая оказываетъ очень малое сопротивленіе движенію, однако, было бы весьма не цѣлесообразно придавать подобную форму аэропланамъ ради уменьшенія ихъ сопротивленія поступательному движенію.

Тѣмъ не менѣе крайне желательно уменьшить по возможности лобовое сопротивленіе поддерживающей поверхности, стоекъ и т. п.

Поверхность круговаго цилиндра испытываетъ только 0,57 той величины сопротивленія, которую имѣетъ его осевое сѣченіе, т. е., другими словами, площадь равная произведенію его діаметра на высоту; сопротивленіе всякой поверхности всега считаютъ относительно площади сѣченія нормальнаго къ направленію движенія.

Растяжки, стойки и другія части аппарата дѣлаются въ существующихъ аппаратахъ цилиндрической формы и испытываютъ одинаковое сопротивленіе по всѣмъ направленіямъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что равнодѣйствующая вредныхъ сопротивленій имѣетъ точку приложенія несовпадающую съ центромъ давленія и въ зависимости отъ своей величины, въ большей или меньшей степени, вліяетъ на условія равновѣсія, однако, если она не чрезчуръ велика, это вліяніе ея можетъ быть легко устранено небольшимъ перемѣщеніемъ оси движителя, величина котораго можетъ быть найдена во время предварительныхъ опытовъ.

Мы возвратимся еще къ вопросу о вредныхъ сопротивленіяхъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ будемъ разсматривать величину необходимой, полезной работы движителя.

Разстояніе между поддерживающими поверхностями биплана.

Бипланъ характеризуется существованіемъ двухъ поддерживающихъ поверхностей, расположенныхъ одна надъ другою и находящихся на извѣстномъ разстояніи другъ отъ друга, теоретическій же аэропланъ, который мы до сихъ поръ разсматривали соотвѣтствуетъ моноплану.

Мы видѣли, что для того, чтобы избѣжать качаній аппарата на подобіе маятника, центръ тяжести долженъ лежать очень близко къ центру давленія. Съ этой точки зрѣнія бипланъ представляетъ преимущества по сравненію съ монопланомъ, такъ какъ, измѣняя соотвѣтственнымъ образомъ относительныя положенія верхней и нижней поверхности, всегда возможно въ результатѣ получить положеніе центра давленія на желательномъ разстояніи отъ центра тяжести.

(У птицъ, которыя представляютъ собою монопланы, во время движенія центръ тяжести совпадаетъ съ центромъ давленія, что позволяетъ имъ легко маневрировать).

Тѣмъ не менѣе, слѣдуетъ замѣтить, что вертикальное разстояніе между поверхностями биплана должно быть настолько велико, чтобы струя воздуха, дѣйствующая на верхнюю поверхность имѣла достаточную толщину и не оказывала бы вліянія на нижнюю поверхность, другими словами, необходимо, чтобы существовало нѣкоторое опредѣленное вертикальное разстояніе между переднимъ ребромъ нижней поверхности и заднимъ ребромъ верхней.

Если мы назовемъ черезъ l длину поддерживающей поверхности (въ направленіи движенія), которую предполагаемъ одинаковой, какъ для верхней, такъ и для нижней

поверхности, при чемъ эти поверхности расположены одна надъ другой такимъ образомъ, что ихъ горизонтальныя проекціи совпадаютъ, если мы назовемъ черезъ α уголъ наклоненія, который также одинаковъ, какъ для той, такъ и для другой поверхности, а черезъ e вертикальное разстояніе между двумя соответственными ребрами, то для послѣдней величины мы можемъ принять слѣдующую приближительную формулу:

$$e = l (0,5 + \sin \alpha).$$

Разстояніе e можетъ мѣняться въ зависимости отъ вида поверхностей и наименьшее разстояніе, на которомъ могутъ находиться поддерживающія поверхности, расположенныя одна надъ другой, имѣя такую же величину общаго сопротивленія, какъ будто бы онѣ дѣйствовали каждая порознь, можетъ быть опредѣлено только опытнымъ путемъ.

Поперечное равновѣсіе. До сихъ поръ мы рассматривали только равновѣсіе аппарата въ плоскости движенія, но не менѣе важно и его поперечное равновѣсіе.

Чтобы такое существовало, прежде всего необходимо, чтобы аппаратъ имѣлъ продольную вертикальную плоскость симметріи.

Наиболѣе простой способъ сообщить аппарату поперечную устойчивость—это придать частямъ поддерживающихъ поверхностей, лежащихъ по обѣ стороны плоскости симметріи, нѣкоторый наклонъ, такимъ образомъ, чтобы внѣшній боковой край поддерживающей поверхности лежалъ выше оси аппарата.

При боковомъ наклоненіи аппарата, горизонтальныя проекціи поддерживающихъ поверхностей будутъ не равны между собою, что ведетъ къ возстановленію нарушеннаго равновѣсія.

Наклонъ достаточно дѣлать равнымъ $\frac{1}{8}$.

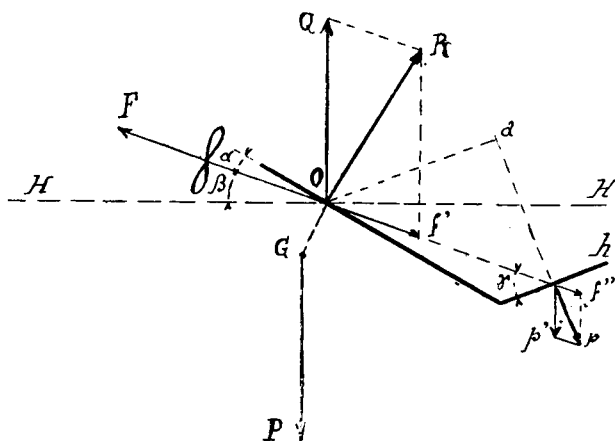
Однако, такая конструкція аппарата представляетъ серьезное неудобство въ смыслѣ увеличенія бокового сопротивленія аппарата, который дѣлается легко опрокидываемымъ подъ дѣйствіемъ бокового вѣтра.

Недостатки этой системы, какъ мы увидимъ въ послѣдствіи, еще болѣе чувствительны при поворотахъ аппарата.

Ниже мы рассмотримъ, каково должно быть расположеніе точекъ приложенія силъ, дѣйствующихъ на аэропланъ, чтобы избѣжать его опрокидыванія во время поворотовъ, при чемъ то же расположеніе должно существовать и въ цѣляхъ поперечной устойчивости.

Руль высоты. Когда мы рассматривали подъемъ аэроплана, мы считали, что перемѣщается назадъ его центръ тяжести. Совершенно такимъ же образомъ мы могли бы прийти къ опусканію аппарата, перемѣщая центръ его тяжести впередъ.

Однако, на практикѣ перемѣщеніе центра тяжести относительно центра давленія, является, если и не невозможнымъ,



Чер. 11.

то во всякомъ случаѣ весьма затруднительнымъ, такъ какъ въѣсъ, располагать который мы можемъ по своему желанію, очень не великъ, сравнительно съ общимъ вѣсомъ аппарата—онъ главнымъ образомъ состоитъ изъ вѣса авіатора; вслѣдствіе этого, чтобы получить достаточное перемѣщеніе центра тяжести, перемѣщеніе этой свободной части общаго груза должно быть очень значительно.

Тѣмъ болѣе для этой цѣли не можетъ быть примѣненъ какой нибудь противовѣсъ, такъ какъ онъ перегрузилъ бы аппаратъ.

Въ виду вышеизложеннаго, для измѣненія направленія движенія аппарата въ вертикальной плоскости употребляютъ руль высоты h (черт. 7), который представляетъ собою плоскость, вращающуюся около горизонтальной поперечной оси. Плоскость руля можетъ быть по отношенію къ главной поддерживающей поверхности отклонена вверхъ или внизъ, въ зависимости отъ того желательна-ли, чтобы аппаратъ поднимался или опускался.

Нѣкоторые конструкторы помѣщаютъ руль высоты впереди аппарата, но намъ кажется, что помѣщеніе его сзади имѣетъ за собою важныя преимущества. Въ самомъ дѣлѣ, при положеніи руля высоты впереди аппарата, его поворотъ и вращеніе поддерживающей поверхности направлены въ одну и ту же сторону и потому отклоненіе, которое ему придано, увеличивается вмѣстѣ съ измѣненіемъ угла наклона къ горизонту поддерживающей поверхности, вслѣдствіе чего, дѣйствіе руля высоты постепенно усиливается, что затрудняетъ правильное управленіе имъ.

При помѣщеніи руля высоты сзади аппарата получается явленіе обратное,—отклоненіе руля уменьшается по мѣрѣ того, какъ аппаратъ измѣняетъ свое направленіе, чѣмъ достигается болѣе совершенное управленіе рулемъ высоты.

Разсмотримъ то, что происходитъ при подъемѣ аппарата (черт. 11).

Руль высоты h долженъ быть отклоненъ вверхъ на нѣкоторый уголъ относительно горизонта, при чемъ величина этого угла исключительно зависитъ отъ скорости аппарата и отъ площади руля. Плоскость руля, будучи отклонена отъ направленія своего движенія, будетъ испытывать нѣкоторое нормальное давленіе r , которое стремится ее опустить, благодаря чему увеличивается уголъ наклона главной поддерживающей поверхности. Равновѣсіе наступитъ тогда, когда центръ давленія отодвинется назадъ, а центръ тяжести перемѣстится впередъ, вслѣдствіе чего силы Q и P образуютъ пару, дѣйствіе которой уничтожитъ дѣйствіе силы r , имѣющей плечо Oa . Плоскость руля будетъ имѣть угломъ наклона уголъ γ , образуемый плоскостью съ осью движителя, которую въ данномъ случаѣ надо разсматривать, какъ направленіе движенія.

Выражая силу f' , какъ и раньше мы это дѣлали, черезъ Q , будемъ имѣть:

$$f' = Q (\sin \beta + \operatorname{tg} \alpha \cos \beta) (2)$$

Сопротивленіе r въ свою очередь можетъ быть разложено на двѣ силы—на вертикальную p' и на f'' , направленную по оси движителя въ сторону противоположную направлению движенія. Сила p' уравниваетъ пару, образуемую силами P и Q , а сила f'' должна быть уравновѣшена добавочнымъ усиленіемъ движителя, вслѣдствіе чего сила тяги движителя F должна быть равна $f' + f''$.

Значеніе величины f'' будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше разстояніе отъ руля до центра давленія поддерживающей поверхности, но, однако, гдѣ бы ни находился руль, если аппаратъ измѣняетъ свое направленіе въ вертикальной плоскости подѣ дѣйствіемъ руля высоты, сила тяги движителя должна быть непремѣнно больше, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы это измѣненіе направленія регулировалось только перемѣщеніемъ центра тяжести.

Равнымъ образомъ площадь руля выгодно имѣть большихъ размѣровъ, такъ какъ при этомъ, для полученія того же усилія, рулю надо будетъ придать меньшее наклоненіе, что также уменьшаетъ значеніе величины f'' .

Количество работы, затрачиваемое при движеніи аэроплана. Вслѣдствіе того, что сопротивленіе воздуха совершенно одинаково, какъ въ томъ случаѣ, когда потокъ воздуха дѣйствуетъ на неподвижную пластинку, такъ и въ томъ, когда сама пластинка перемѣщается въ неподвижномъ воздухѣ, мы можемъ для опредѣленія величинъ различныхъ силъ пользоваться коэффициентами, данными въ таблицѣ I; вслѣдствіе этого мы будемъ имѣть:

$$R = KSV^2 \times a (1)$$

$$Q = P = KSV^2 \times b (2)$$

$$F = f = KSV^2 \times c = Q \times \frac{c}{b} (3)$$

Пользуясь выраженіемъ (2), мы можемъ опредѣлить величину скорости

$$V = \sqrt{\frac{P}{KSb}} \dots \dots \dots (4)$$

Теоретическая же величина полезной работы, затрачиваемой двигателемъ, равна:

$$T = FV = P \frac{c}{b} \sqrt{\frac{P}{KSb}} = \frac{c}{b} \sqrt{\frac{P^3}{KSb}}$$

Изъ уравненія (4) мы видимъ, что, такъ какъ K есть величина постоянная, а b зависитъ только отъ угла наклоненія, то скорость аппарата при одномъ и томъ же углу наклоненія зависитъ отъ отношенія $\frac{P}{S}$, т. е. отъ нагрузки на квадратный метръ поддерживающей поверхности.

Вслѣдствіе этого мы можемъ составить таблицу II, дающую скорости аппарата, въ зависимости отъ угла наклоненія плоской поддерживающей поверхности и величины нагрузки на квадратный метръ.

ТАБЛИЦА II.

Скорость, при которой аппаратъ находится въ равновѣсїи, въ зависимости отъ нагрузки на квадратный метръ и угла наклоненія поддерживающихъ плоскостей.

P S	Уголъ наклоненія α									
	3°	3°30'	4°	4°30'	5°	6°	7°	8°	9°	10°
5	18,55	17,00	15,85	14,90	14,00	13,40	12,75	12,30	11,95	11,45
6	20,35	18,65	17,40	16,30	15,45	14,70	13,95	13,45	13,00	12,50
7	21,90	20,00	18,75	17,65	16,65	15,90	15,00	14,50	14,15	13,50
8	23,50	21,55	20,00	18,85	17,80	16,95	16,10	15,50	15,10	14,45
9	24,90	22,85	21,25	20,00	18,90	18,00	17,10	16,45	16,00	15,35
10	26,20	24,00	22,40	21,00	19,80	18,95	18,00	17,40	16,90	16,20
11	27,55	25,25	23,50	22,10	20,90	19,85	18,90	18,20	17,70	16,95
12	28,75	26,40	24,60	23,00	21,80	20,80	19,70	19,00	18,40	17,65
13	29,95	27,45	25,55	24,00	22,70	21,60	20,55	19,80	19,30	18,45
14	31,00	28,30	26,50	24,90	23,50	22,40	21,20	20,50	20,00	19,10
15	32,10	29,50	27,50	25,80	24,20	23,20	22,10	21,30	20,70	19,80
16	33,20	30,20	28,30	26,60	25,20	24,00	22,80	21,90	21,40	20,40
17	34,25	31,40	29,25	27,50	25,95	24,75	23,50	22,65	22,00	21,10
18	35,20	32,30	30,10	28,20	26,80	25,40	24,20	23,20	22,60	21,65
19	36,20	33,10	30,90	29,00	27,45	26,15	24,85	23,90	23,30	22,30
20	37,10	34,00	31,70	29,80	28,00	26,80	25,50	24,60	23,90	22,90
22	38,90	35,70	33,20	31,20	29,50	28,10	26,70	25,70	25,00	24,00
25	41,50	38,00	35,50	33,40	31,40	30,60	28,60	27,60	26,80	25,70

При составленіи этой таблицы величина K принята равной 0,1, а значенія величины b взяты изъ таблицы I въ зависимости отъ угла наклоненія α .

Полное сопротивление аппарата движению въ горизонтальной плоскости. Составляющая f , опредѣленная нами выше, не есть единственная сила, представляющая сопротивление поступательному движению аппарата,—величина полного сопротивления движению складается изъ трехъ частей:

f —горизонтальная составляющая нормального сопротивления R .

f_1 —сопротивленіе движению поддерживающей поверхности, различныхъ частей аппарата, стоекъ, растяжекъ и т. п. (лобовое сопротивление аппарата).

f_2 —сопротивленіе, являющееся вслѣдствіе тренія воздуха. Величина f нами уже опредѣлена.

Чтобы опредѣлить величину f_1 , будемъ считать, что лобовое сопротивление всѣхъ частей аппарата будетъ равно сопротивленію цилиндра, осевое сѣченіе котораго равно двумъ квадр. метрамъ, (эта величина отвѣчаетъ практикѣ обыкновенныхъ существующихъ аэроплановъ), обозначая площадь этого осевого сѣченія цилиндра черезъ s , будемъ имѣть:

$$f_1 = K \times 0,57s V^2 = \frac{P}{b} \times \frac{0,57s}{S}$$

или принимая величину s , въ силу вышесказаннаго, равной 2 кв. м., получимъ:

$$f_1 = \frac{P}{b} \times \frac{1,14}{S}$$

Треніе воздуха для поддерживающихъ поверхностей, обтянутыхъ прорезиненною бумажной матеріей, приблизительно равно:

$$f_2 = 0,0001 SV^2 = 0,001 \frac{P}{b}$$

Сила тяги винта должна уравнивать величину полного сопротивления, т. е. сумму $f + f_1 + f_2$, слѣдовательно:

$$F = \frac{P}{b} \left(c + \frac{1,14}{S} + 0,001 \right)$$

Откуда, полезная работа необходимая для движениа аппарата будетъ равна слѣдующей величинѣ:

$$T = FV = \frac{P}{b} \left(c + \frac{1,14}{S} + 0,001 \right) V$$

или:

$$T = \left(\frac{c}{b} + \frac{1,14}{Sb} + \frac{0,001}{b} \right) \sqrt{\frac{P^3}{KSb}},$$

которая отличается отъ величины теоретической работы указанной выше.

Второй членъ выраженія, заключеннаго въ скобки, зависитъ отъ величины s , которая въ свою очередь зависитъ отъ конструкціи аппарата.

Числовой примѣръ. Возьмемъ опять поддерживающую поверхность въ 50 кв. метр., поднимающую грузъ въ 500 клгр., и пусть уголъ наклоненія ея будетъ равенъ 6° .

Нагрузка на квадратный метръ въ данномъ случаѣ будетъ равна 10 клгр., и по таблицѣ II мы найдемъ соотвѣтствующую скорость аппарата $V = 18,95$ м. или въ круглыхъ цифрахъ $= 19$ м. въ сек.

Взявъ соотвѣтствующія значенія величинъ b и c изъ таблицы I и предполагая $s = 2$, для выраженія полезной работы движителя будемъ имѣть:

$$F = \frac{500}{0,278} (0,029 + 0,0228 + 0,001) \times 19 = 1800 \text{ клгр. метр.,}$$

что соотвѣтствуетъ 24 лошадинымъ силамъ, вмѣсто 55, которыя, какъ мы нашли раньше, надо было имѣть при системѣ ортоптера для той же площади поддерживающей поверхности и при томъ же поднимаемомъ грузѣ.

Полагая, что общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія движителя и передачи равенъ 60% , что возможно получить въ практикѣ, мощность, которой долженъ обладать двигатель, будетъ:

$$T_m = \frac{24}{0,6} = 40 \text{ индикаторныхъ силъ.}$$

Однако, найденная нами величина мощности двигателя, достаточна только для горизонтальнаго перемѣщенія аппа-

рата, а для того чтобы аппаратъ могъ отдѣлиться отъ земли и чтобы во время движенія могъ дѣлать подъемы, она должна быть больше.

Пусть, наприимѣръ, β есть заданный уголъ подъема. Пренебрегая сопротивленіемъ руля, мы найдемъ коэффициентъ при Q въ формулѣ (2) (см. ст. 43), умножая c на $\left(\frac{\sin \beta}{\operatorname{tg} \alpha} + \cos \beta\right)$.

Но такъ какъ $\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{b}$, то для плоской поддерживающей поверхности, мы найдемъ слѣдующее выраженіе необходимой работы при подъемѣ:

$$T_1 = \frac{P}{b} (b \operatorname{sn} \beta + c \cos \beta + \frac{1,14}{S} + 0,001) \times V.$$

Полагая, что аппаратъ поднимается подъ угломъ въ 4° , что соотвѣтствуетъ подъему 7 : 100, для величины работы будемъ имѣть:

$$T_1 = \frac{500}{0,278} (0,278 \times 0,07 + 0,029 \times 0,998 + 0,0228 + 0,001) \times 19 = \\ = 2470 \text{ клгр. метр.}$$

Мощность же двигателя должна быть:

$$T_m = \frac{2470}{0,6} = 4120 \text{ клгр. метр.,}$$

что составляетъ 55 индикаторныхъ силъ.

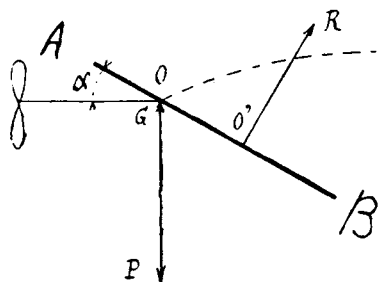
Мы пренебрегли здѣсь уменьшеніемъ скорости, которое происходитъ при подъемѣ, ввиду того что вслѣдствіе малости угла β , оно совершенно незначительно.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что необходимая работа увеличилась съ 1800 клгр. метр. до 2470 клгр. метр. въ сек., что составляетъ 670 клгр. метр. Эта работа расходуется на подъемъ груза въ 500 клгр. на высоту $V \operatorname{tg} \beta = 1,33$ м. въ сек., что и слѣдовало ожидать.

II. Свободное паденіе аэроплана.

Траекторія и скорость. Если въ перемѣщающемся со свойственной ему скоростью аэропланѣ сила тяги движи-

теля почему-либо прекратится, напимѣръ, вслѣдствіе остановки двигателя, то аппаратъ начнетъ двигаться по инерціи, но вслѣдствіе сопротивленія воздуха поступательному движенію, скорость его будетъ постепенно уменьшаться, а вмѣстѣ съ нею будетъ уменьшаться и поддерживающая сила Q .



Чер. 12.

Вслѣдствіе этого аппаратъ начнетъ двигаться по кривой, близкой къ параболѣ и это будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока скорость его поступательнаго движенія не станетъ равна нулю.

Съ этого момента аппаратъ будетъ находиться подъ дѣйствіемъ только одной силы тяжести, которая будетъ стремиться

заставить его падать вертикально (черт. 12). Но при паденіи по этому новому направленію заднее ребро его поддерживающей поверхности станетъ ребромъ атаки, центръ давленія перемѣстится назадъ по отношенію къ центру тяжести и будетъ находиться въ точкѣ O' , разстояніе которой отъ задняго ребра поддерживающей поверхности BO' , (примѣняемъ формулу Жесселя), будетъ равно:

$$BO' = l(0,2 + 0,3 \cos \alpha)$$

Зная, что

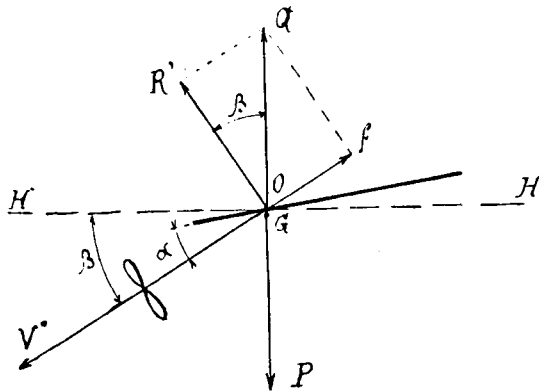
$$AO = l(0,2 + 0,3 \sin \alpha),$$

найдемъ:

$$OO' = l[0,6 - 0,3(\sin \alpha + \cos \alpha)].$$

Итакъ, образуется нѣкоторая пара, которая будетъ стремиться повернуть аппаратъ, такимъ образомъ, чтобы заднее ребро поднялось, а переднее опустилось. Это вращеніе аппарата будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока центръ давленія и центръ тяжести ни окажутся на одной вертикали (черт. 13), но такъ какъ центръ тяжести въ аппаратѣ перемѣщаться не можетъ, то долженъ перемѣститься къ переднему ребру центръ давленія. Предполагая, какъ и всегда, что центръ тяжести находится на очень близкомъ разстояніи отъ центра давленія, мы можемъ счи-

татъ, что послѣдній долженъ занять свое обычное положеніе, но для этого аппаратъ долженъ двигаться по такой траекторіи, чтобы уголъ наклоненія его поддерживающей поверхности съ новымъ направленіе движениа былъ такой же какъ и раньше. Эта траекторія будетъ прямой линіей,



Чер. 13.

наклоненной къ горизонтали подъ нѣкоторымъ угломъ β , который можно опредѣлить, приравнивая работу силы тяжести и работу сопротивленія поступательному движению аппарата.

Пусть R' есть сопротивленіе воздуха перпендикулярное къ траекторіи, отъ сложенія его съ сопротивленіемъ поступательному движению f , мы должны получить вертикальную составляющую сопротивленія $Q = P$.

Согласно съ тѣмъ, что намъ уже извѣстно, мы можемъ написать:

$$f = \frac{R'}{b} \left(c + \frac{1,14}{S} + 0,001 \right)$$

и такъ какъ $R' = Q \cos \beta = P \cos \beta$, то работа сопротивленія поступательному движению будетъ равна:

$$T_r = \frac{P \cos \beta}{b} \left(c + \frac{1,14}{S} + 1,001 \right) V',$$

гдѣ V' есть неизвѣстная намъ пока скорость по траекторіи OV' .

Съ другой стороны аппаратъ въ единицу времени будетъ опускаться на величину $V' \sin \beta$, вслѣдствіе чего работа силы тяжести будетъ:

$$T_p = PV' \sin \beta.$$

Приравнивая количества работы T_r и T_p , мы найдемъ:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{c + \frac{1,14}{S} + 0,001}{b}$$

выраженіе, которое опредѣляетъ уголъ β въ зависимости отъ угла наклоненія поддерживающей поверхности аппарата и величины его лобового сопротивленія.

Чтобы найти скорость аппарата V' , мы также должны въ выраженіи скорости V замѣнить P черезъ R' , которое равно $P \cos \beta$, вслѣдствіе чего

$$V'^2 = V^2 \cos \beta$$

и

$$V' = V \sqrt{\cos \beta}.$$

Числовой примѣръ. Опредѣлимъ свободное паденіе аэроплана, который мы разсматривали въ предыдущемъ числовомъ примѣрѣ.

Уголъ наклона траекторіи будетъ:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,029 + 0,0228 + 0,001}{0,278} = 0,190$$

откуда—

$$\beta = 10^\circ 45'.$$

Скорость по траекторіи OV' будетъ:

$$V' = 19 \sqrt{\cos \beta} = 18,85 \text{ м. въ сек.}$$

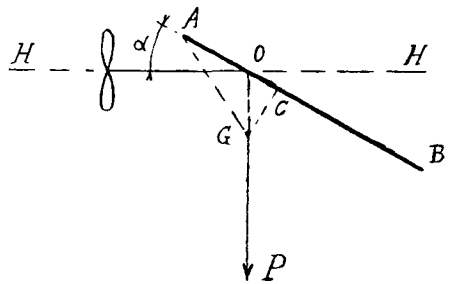
Скорость V' по наклонной траекторіи OV' можетъ быть разложена на скорость по вертикальному и горизонтальному направленіямъ.

Вертикальная скорость $V_v = V' \sin \beta$, а горизонтальная $V_h = V' \cos \beta$.

Въ разсматриваемомъ нами случаѣ будемъ имѣть;

$$V_v = 3,90 \text{ м. въ сек. и } V_h = 18,50 \text{ м. въ сек.}$$

Вліяніе удаленія центра тяжести отъ центра давленія. Въ томъ случаѣ, если разстояніе между центромъ тяжести и центромъ давленія велико, уголъ наклоненія поддерживающей поверхности во время свободнаго паденія будетъ больше, а въ зависимости отъ этого будетъ больше и уголъ наклона траекторіи, чѣмъ въ только что разсмотрѣнномъ нами случаѣ, когда мы этимъ разстояніемъ пренебрегали, какъ это легко видѣть изъ чер-
тежей 14-го и 15-го.



Чер. 14.

На чертежѣ 14-омъ представленъ аэропланъ перемѣщающійся по горизонтальному направленію. Центръ тяжести аппарата находится въ точкѣ G.

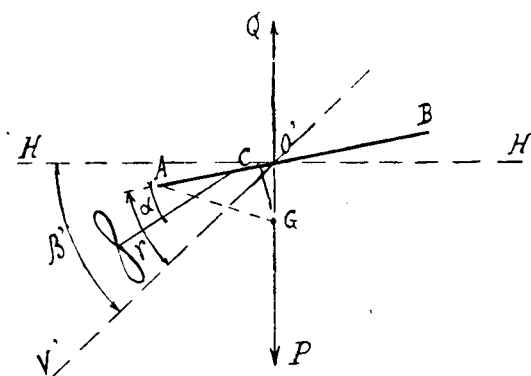
Опустивъ перпендикуляръ изъ точки G на поддерживающую поверхность AB и соединивъ точку G съ точкою A, мы получимъ треугольникъ AGC, который сохраняется при всѣхъ положеніяхъ аппарата.

На чертежѣ 15-омъ аэропланъ представленъ во время своего свободнаго паденія и мы видимъ, что центръ давленія перемѣстился въ точку O', разстояніе которой отъ передняго ребра AO' больше, чѣмъ AC и тѣмъ болѣе больше AO, что влечетъ за собою увеличеніе угла наклоненія поддерживающей поверхности, который становится равнымъ γ .

Съ увеличеніемъ угла наклоненія поддерживающей поверхности увеличивается и сопротивленіе поступательному движенію, при этомъ работа силы тяжести, чтобы быть равной работѣ этого сопротивленія, должна быть больше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ, но такъ какъ въсь аппарата есть величина постоянная, то, слѣдовательно, аппаратъ по вертикальному направленію долженъ проходить болѣе путь

въ единицу времени, т. е., другими словами, долженъ быть больше уголъ наклона траекторіи, который будетъ $\beta' > \beta$.

Слѣдуетъ отмѣтить, что при своемъ движеніи плоскость АВ наклоняется то въ одну, то въ другую сторону относительно горизонтали, что происходитъ вслѣдствіе вращенія около центра давленія, который перемѣщается то



Чер. 15.

впередъ, то назадъ; въ результатъ, подъ влияніемъ силы инерціи, центръ тяжести G стремится продолжать движеніе, которое онъ имѣетъ въ каждый данный моментъ, благодаря чему онъ будетъ имѣть колебанія, амплитуда которыхъ находится въ прямой зависимости отъ величины разстоянія OG. Подъ влияніемъ этихъ колебаній аппаратъ можетъ и опрокинуться.

Вліяніе другихъ факторовъ. Мы видѣли, что уголъ наклона траекторіи свободно падающаго аппарата зависитъ отъ величины его лобового сопротивленія: чѣмъ больше лобовое сопротивленіе—тѣмъ больше и уголъ наклона.

Однако въ томъ случаѣ, когда движитель не дѣйствуетъ вслѣдствіе остановки двигателя и при томъ не можетъ имѣть обратнаго вращательнаго движенія, при опредѣленіи угла наклона траекторіи нельзя пренебречь лобовымъ сопротивленіемъ самаго движителя, вслѣдствіе чего уголъ наклона траекторіи въ этомъ случаѣ будетъ больше.

Въ виду того, что лобовое сопротивленіе движителя измѣняется въ широкихъ предѣлахъ, его величину нельзя

предсказать заранѣе и она должна быть выведена на основаніи элементовъ движителя.

Если прекращеніе дѣйствія силы -двигателя произошло не вслѣдствіе остановки двигателя, а вслѣдствіе паденія винта или движителя, то въ этомъ случаѣ: если движитель находился впереди аппарата, центръ тяжести перемѣстится назадъ и опять поддерживающая поверхность аппарата будетъ имѣть при свободномъ паденіи большій уголъ наклона, если же движитель былъ расположенъ позади аппарата, то произойдетъ обратное.

Наконецъ, на наклонъ траекторіи имѣетъ вліяніе вѣтеръ и при томъ тѣмъ большее, чѣмъ больше его скорость. Если направленіе вѣтра обратное направленію движенія аппарата, траекторія будетъ болѣе крутая, если, наоборотъ, вѣтеръ дуетъ сзади, траекторія будетъ болѣе пологая, что явствуетъ изъ того, что составляющая скорость V_h — есть скорость относительная.

Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ вѣтеръ будетъ стремиться опрокинуть аппаратъ.

Спускъ аппарата на землю. При спускѣ аппарата на землю вертикальная скорость его V_v уничтожится вслѣдствіе реакціи земли, горизонтальная же скорость V_h заставитъ аппаратъ пройти по поверхности земли нѣкоторое разстояніе, большее или меньшее въ зависимости отъ величины сопротивленія поверхности почвы каченію или скольженію аппарата.

Вслѣдствіе существованія вертикальной скорости аппаратъ при спускѣ получитъ толчекъ. Для полной безопасности вертикальная скорость не должна превосходить трехъ метровъ въ сек., что соотвѣтствуетъ вертикальному паденію съ высоты равной приблизительно 0,45 м.

Увеличивая передъ тѣмъ, какъ коснуться земли, уголъ наклона поддерживающей поверхности, перемѣщеніемъ ли центра тяжести или при помощи руля высоты, можно сдѣлать траекторію настолько пологой, что удастся совершенно избѣжать толчка. Кромѣ того съ увеличеніемъ угла наклона увеличивается и сопротивленіе горизонтальному перемѣщенію, что въ значительной степени уменьшитъ горизонтальную скорость, а вмѣстѣ съ

тѣмъ и продолжительность каченія или скольженія аппарата по землѣ.

При спускѣ, очевидно, представляетъ преимущества скольженіе аппарата, но за то при взлетѣ оно является невозможнымъ вслѣдствіе необходимости затраты громаднаго усилія.

Наиболѣе рациональное устройство будетъ такое, при которомъ аппаратъ будетъ способенъ при взлетѣ катиться по землѣ, а при спускѣ скользить.

Примѣромъ такого устройства является шасси состоящее изъ полозьевъ и колесъ, при чемъ оси послѣднихъ притянуты къ полозьямъ резиновыми тяжами, что даетъ возможность полозьямъ при спускѣ аппаратъ а, соприкаться съ землею, при взлетѣ же аппаратъ катится на колесахъ *).

III. Движеніе аэроплана по кривой.

Руль направленія. Для измѣненія направленія аппарата въ горизонтальной плоскости служитъ руль направленія d (черт. 16), который представляетъ собою плоскость могущую вращаться около вертикальной оси и отклоняющуюся вправо или влево относительно продольной оси аппарата въ зависимости отъ того, въ какую сторону надо его повернуть.

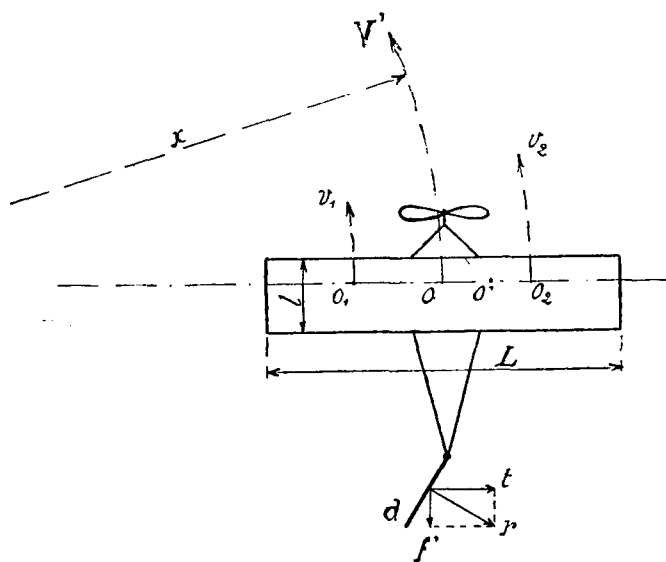
Разсмотримъ, что происходитъ съ аппаратомъ во время движенія по кривой.

Чертежъ 16-й представляетъ горизонтальную, а чертежъ 16-й bis вертикальную проекцію (видъ сзади) аэроплана во время поворота.

Руль направленія d , будучи отклоненъ, напримѣръ, влево, какъ это изображено на чертежѣ 16-мъ, испытываетъ нѣкоторое нормальное давленіе r , величина котораго зависитъ отъ скорости аппарата, отъ величины поверхности и угла отклоненія руля. Нормальную силу r можно разложить на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна f' будетъ совпадать съ линіей движенія, но будетъ направлена въ противоположную сторону, вслѣдствіе чего будетъ увеличивать со-

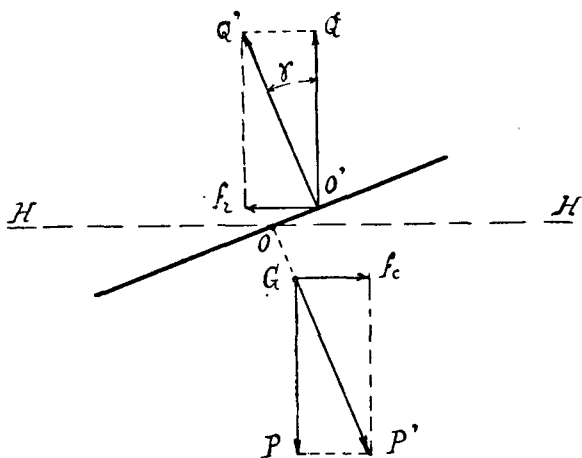
*) Какъ въ настоящее время это дѣлается въ аэропланахъ Фармана, Соммера и бр. Райтъ.

противленіе поступательному движенію аппарата, другая же сила t , перпендикулярная къ первой, стремится перемѣстить заднюю часть аппарата вправо.



Чер. 16.

Подъ вліяніемъ этой послѣдней силы аппаратъ начнетъ перемѣщаться по дугѣ кривой.



Чер. 16 bis.

Наклоненіе аппарата. При движеніи аэроплана по дугѣ кривой, обѣ половины его будутъ имѣть различныя скорости. Правая сторона аппарата будетъ имѣть скорость V_2 большую, чѣмъ скорость лѣвой половины V_1 ; вслѣдствіе чего и вертикальная составляющая, соотвѣтствующая правой половинѣ поддерживающей поверхности, приложенная въ точкѣ O_2 , будетъ больше вертикальной составляющей, соотвѣтствующей лѣвой половинѣ поддерживающей поверхности, приложенной въ точкѣ O_1 . Благодаря неравенству этихъ силъ аэропланъ наклонится по направленію къ центру траекторіи на уголъ γ .

Въ то же время центръ давленія всей поддерживающей поверхности перемѣстится по направленію къ O_2 и займетъ положеніе O' , правѣ O , при чемъ разстояніе между двумя послѣдними точками зависитъ отъ радіуса поворота и отъ ширины аппарата.

Пусть V' есть скорость аппарата во время поворота, а x — радіусъ поворота.

Для того, чтобы аппаратъ находился въ равновѣсїи, горизонтальная составляющая f_r нормального сопротивленія Q' должна быть уравновѣшена центробѣжной силой f_c , которая равна:

$$f_c = \frac{PV'^2}{g x}$$

Между тѣмъ, сила f_r , въ силу того, что $Q = P$, равна:

$$f_r = P \operatorname{tg} \gamma$$

Приравнивая два послѣднія выраженія между собой, можемъ опредѣлить уголъ наклоненія аппарата γ , если извѣстенъ радіусъ поворота x или, наоборотъ,—радіусъ поворота по углу наклоненія:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{V'^2}{g \cdot x}$$

$$x = \frac{V'^2}{g \cdot \operatorname{tg} \gamma}$$

Такимъ образомъ, мы видимъ, что нельзя сдѣлать поворота безъ наклоненія аппарата и при томъ уголъ на-

клоненія аппарата долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ меньше радиусъ поворота.

Если бы аэропланъ во время поворота оказался бы въ горизонтальномъ положеніи, то центробѣжная сила стремилась бы вытолкнуть его изъ описываемаго имъ круга, чему противостоятъ аэропланъ не могъ бы, такъ какъ его боковое сопротивленіе воздуху должно быть очень невелико, во избѣжаніе дѣйствія бокового вѣтра.

Сила тяги движителя при поворотахъ. Слѣдуетъ замѣтить, что сила $Q' > Q$, что показываетъ, что скорость аэроплана на поворотѣ должна быть больше, чѣмъ при движеніи по прямой линіи, а вслѣдствіе этого больше и сопротивленіе поступательному движенію, что въ свою очередь требуетъ увеличенія силы тяги движителя, сравнительно съ ея величиною при движеніи по прямой, независимо отъ того, что она увеличивается еще на величину f' , появляющуюся вслѣдствіе дѣйствія руля'направленія.

Чтобы уменьшить по возможности эту послѣднюю силу f' , руль направленія, такъ какъ и руль высоты, выгодно помѣщать на возможно большемъ разстояніи отъ поддерживающей поверхности.

Пусть на поворотѣ аппаратъ имѣетъ скорость V' , сила же тяги движителя равна нѣкоторой величинѣ F' , большей F , которая бы была достаточна при движеніи аппарата по прямой со скоростью V ; въ силу того, что сопротивленіе воздуха пропорціонально квадрату скорости будемъ имѣть:

$$\frac{F'}{F} = \frac{V'^2}{V^2} = \frac{Q'}{Q} = \frac{1}{\cos \gamma}$$

откуда —

$$\cos \gamma = \frac{F}{F'}$$

и

$$V'^2 = V^2 \frac{F'}{F}$$

Зная $\cos \gamma$, мы можемъ опредѣлить $\text{tg } \gamma$:

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \left(\frac{F}{F'}\right)^2} = \frac{\sqrt{F'^2 - F^2}}{F'}$$

и

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sqrt{F'^2 - F^2}}{F'} \cdot \frac{F}{F'} = \frac{\sqrt{F'^2 - F^2}}{F}$$

Вводя послѣднюю величину въ найденное выше выраженіе, опредѣляющее x , получимъ:

$$x = \frac{V^2}{g} \times \frac{F'}{\sqrt{F'^2 - F^2}}$$

Найденное нами уравненіе опредѣляетъ радіусъ поворота въ зависимости отъ скорости аппарата на прямой и отъ силы тяги F и F' , которую можетъ развивать двигатель.

Равнымъ образомъ мы можемъ опредѣлить силу тяги двигателя во время поворота въ зависимости отъ V , F и x

$$F' = \frac{g x F}{\sqrt{g^2 x^2 - V^4}} = \frac{F}{\sqrt{1 - \left(\frac{V^2}{g x}\right)^2}}$$

Въ сущности величина радіуса поворота не имѣетъ серьезнаго значенія, такъ какъ на извѣстной высотѣ радіусъ поворота можетъ быть взятъ какой угодно длины.

Сниженіе аппарата при поворотѣ. Мы уже видѣли, что во время поворота сила тяги двигателя должна быть больше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда аппаратъ перемѣщается по прямой. Кромѣ разсмотрѣннаго выше увеличенія силы тяги, она должна быть увеличена еще на нѣкоторую величину, для того, чтобы побѣдить силу сопротивленія руля направленія, величина которой измѣняется въ зависимости отъ его расположенія.

Въ томъ случаѣ, если максимальная мощность двигателя недостаточна для того, чтобы аппаратъ могъ развить на поворотѣ необходимую скорость V' , сила Q' будетъ меньше, а вмѣстѣ съ тѣмъ и Q будетъ меньше P . Сила тяжести не будетъ уравновѣшена поддерживающей силой Q и аппаратъ начнетъ опускаться, при чемъ направленіе его движенія будетъ наклонено къ горизонтали подъ угломъ β ; величина этого угла опредѣлится тѣмъ условіемъ,

что недостающее усилие двигателя восполняется составляющей на новое направление движения неуравновѣшенной части вѣса аппарата.

Разность высотъ аппарата въ началѣ и въ концѣ поворота зависитъ одновременно и отъ всѣхъ другихъ условій равновѣсія и потому не можетъ быть опредѣлена а priori. Опредѣлимъ сначала F' черезъ соответствующую величину радиуса поворота x . Затѣмъ величину силы тяги двигателя можемъ выразить при помощи слѣдующаго уравненія:

$$F'' + p \sin \beta = P \frac{F''}{F'} \sin \beta + \frac{P}{b} \left(\frac{1,14}{S} + 0,001 \right) :$$

гдѣ p представляетъ разность $P - Q$ и равно:

$$p = \frac{P}{F'} (F' - F'')$$

а F'' — силу тяги двигателя при поворотѣ меньшую, чѣмъ F' .

Опредѣля при помощи двухъ послѣднихъ уравненій $\sin \beta$, получимъ:

$$\sin \beta = \frac{F' \left[F'' - \frac{P}{b} \left(\frac{1,14}{S} + 0,001 \right) \right]}{P (2 F'' - F')}$$

Величина угла β можетъ быть довольно велика и потому всегда надо имѣть въ виду, что аппаратъ въ концѣ поворота будетъ находиться на меньшей высотѣ, чѣмъ въ началѣ.

Опрокидывающая пара. При наклоненіи аппарата во время поворота центръ давленія не будетъ лежать въ плоскости симметріи аппарата, а перемѣстится нѣсколько вбокъ, удалившись отъ центра поворота, вслѣдствіе этого силы Q и P образуютъ пару, стремящуюся опрокинуть аппаратъ по направленію къ центру поворота. Силы P и Q намъ извѣстны, плечо же пары OO' можетъ быть опредѣлено. Пусть L есть ширина поддерживающихъ поверхностей аэроплана, а v_1 и v_2 скорости точекъ O_1 и O_2 , радиусы же поворота, соответствующіе этимъ точкамъ будутъ $x - \frac{L}{4}$ и $x + \frac{L}{4}$. Поддерживающія силы, приложенныя въ

точкахъ O_1 и O_2 пропорціональны квадратамъ соответствующихъ скоростей, скорости же пропорціональны радіусамъ поворота, вслѣдствіе чего поддерживающія силы, приложенныя въ точкахъ O_1 и O_2 соответственно пропорціональны $\left(x - \frac{L}{4}\right)^2$ и $\left(x + \frac{L}{4}\right)^2$. Точка приложенія равнодѣйствующей поддерживающей силы должна раздѣлить разстояніе между точками O_1 и O_2 обратно пропорціонально силамъ, приложеннымъ въ этихъ точкахъ *), вслѣдствіе этого разстояніе, на которое перемѣстится центръ давленія во время поворота будетъ равно:

$$OO' = 2L^2 \frac{x}{16x^2 + L^2}$$

Изъ послѣдняго выраженія мы можемъ видѣть, что въ интересахъ поперечнаго равновѣсія, во время поворота слѣдуетъ ограничивать ширину аппарата и дѣлать повороты по возможности большихъ радіусовъ.

Если желательно компенсировать смѣщеніе центра давленія относительно центра тяжести перемѣщеніемъ въ поперечномъ направленіи авіатора, то разстояніе, на которое для этой цѣли надо будетъ перемѣстить авіатора, будетъ равно:

$$d = OO' \frac{P}{p},$$

гдѣ p —вѣсъ авіатора.

$$\begin{aligned} *) \text{ т. е. } \frac{O_1 O'}{O' O_2} &= \frac{\left(x + \frac{L}{4}\right)^2}{\left(x - \frac{L}{4}\right)^2}, \text{ откуда } \frac{O_1 O' - O_1 O_2}{O_1 O' + O' O_2} = \frac{2 OO'}{O_1 O_2} = \\ &= \frac{\left(x + \frac{L}{4}\right)^2 + \left(x - \frac{L}{4}\right)^2}{\left(x + \frac{L}{4}\right)^2 + \left(x - \frac{L}{4}\right)^2} \end{aligned}$$

ИЛИ

$$OO' = \frac{O_1 O_2}{2} \cdot \frac{Lx}{2 \left(x^2 + \frac{L^2}{16}\right)} = 2L^2 \frac{x}{16x^2 + L^2} \quad \text{Прим. ред.}$$

Чтобы видѣть, какія именно величины могутъ имѣть наклоненіе аппарата, смѣщеніе центра давленія относительно центра тяжести и др., рассмотримъ числовой примѣръ.

Числовой примѣръ. Возьмемъ опять аппаратъ, который мы уже разсматривали въ предыдущихъ числовыхъ примѣрахъ и для котораго была найдена его скорость при движеніи по прямой $V = 19$ м въ сек.

Пусть ширина аппарата $L = 10$ м.

Сила тяги при движеніи по прямой будетъ:

$$F = \frac{500}{0,278} (0,029 + 0,0228 + 0,001) = 95 \text{ клгр.}$$

Сила тяги необходимая для подъема подъ угломъ въ 4° :

$$F' = \frac{500}{0,278} (0,278 \times 0,07 + 0,029 \times 0,998 + \\ + 0,0228 + 0,001) = 130 \text{ клгр.}$$

Считая, что усиліе F' есть наибольшее, которое можетъ дать движитель, мы можемъ опредѣлить наименьшую величину радіуса поворота, при условіи, что аппаратъ все время остается въ одной и той же горизонтальной плоскости:

$$x = \frac{19^2}{9,81} \times \frac{130}{\sqrt{130^2 - 95^2}} = 54 \text{ м.}$$

Остальныя интересующія насъ величины будутъ имѣть слѣдующія значенія:

Уголъ наклоненія аппарата γ :

$$\text{tg } \gamma = \frac{\sqrt{130^2 - 95^2}}{95} = 0,9341$$

откуда—

$$\gamma = 43^{\circ}$$

Скорость аппарата во время поворота, V' :

$$V' = 19 \sqrt{\frac{130}{95}} = 22 \text{ м.}$$

Смѣщеніе центра давленія относительно центра тяжести OO' :

$$OO' = 2 \times 10^2 \times \frac{54}{16 \times 54^2 + 10^2} = 0,23 \text{ м.}$$

Разстояніе d , на которое надо перемѣстить авіатора, чтобы компенсировать смѣщеніе центра давленія,—полагая вѣсъ авіатора равнымъ 75 клгр.:

$$d = 0,23 \times \frac{500}{75} = 1,54 \text{ м.}$$

Если принять во вниманіе сопротивленіе руля направленія, которое можно принять равнымъ 5 клгр, каковая величина будетъ соотвѣтствовать площади руля направленія равной 2-мъ кв. метрамъ, при углѣ отклоненія его въ 10^0 , то это сопротивленіе уменьшитъ ту силу тяги движителя, которой мы можемъ воспользоваться и вмѣсто $F' = 130$ клгр., мы будемъ имѣть: $F'' = 130 - 5 = 125$ клгр.

Уголъ β , который въ этомъ случаѣ будетъ составлять направленіе траекторіи съ горизонталью, получится:

$$\sin \beta = \frac{130 \left[125 - \frac{500}{0,278} (0,0228 + 0,001) \right]}{500 (2 \times 125 - 130)} = 0,177$$

откуда—

$$\beta = 10^0 10'$$

При поворотѣ равномъ четверти окружности измѣненіе высоты аппарата будетъ:

$$\pi \times \frac{54}{2} \times 0,177 = 15 \text{ м.}$$

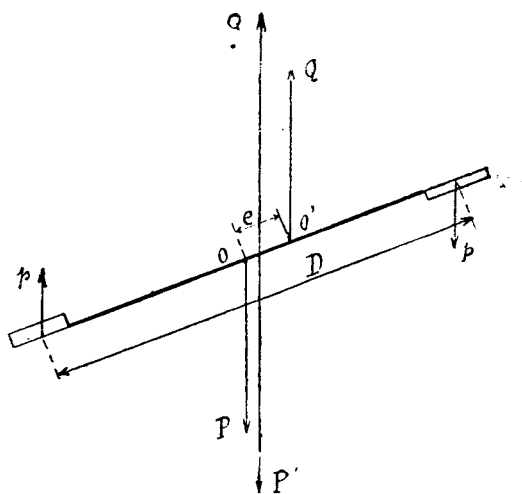
Въ томъ случаѣ, если желательно избѣжать опусканія аппарата, мы должны сдѣлать вычисленія, принимая въ расчетъ, что сила тяги движителя равна только 125 клгр., въ этомъ случаѣ мы получимъ:

$$x = 56,50 \text{ м; } \quad \text{tg } \gamma = 0,885; \quad \gamma = 40^0 30';$$

$$V' = 21,50 \text{ м.; } \quad OO' = 0,22 \text{ м.; } \quad d = 1,47 \text{ м.}$$

Отсюда можно видѣть, что сравнительно очень небольшое измѣненіе радіуса поворота въ томъ случаѣ, когда сила тяги двигателя уже равна сопротивленію поступательному движенію аппарата, можетъ вызвать во время поворота очень значительное пониженіе аппарата.

Способы противодѣйствія опрокидывающей парѣ. Изъ предыдущаго числового примѣра мы видимъ, что поперечное перемѣщеніе авіатора, въ цѣляхъ компенсаціи смѣщенія центра давленія, должно быть настолько значительно, что совершенно не примѣнимо на практикѣ. Приходится, слѣдовательно, пользоваться какими нибудь другими способами.



Чер. 17.

Прежде всего можно представить себѣ, что для этой цѣли имѣются нѣкоторыя вспомогательныя плоскости, расположенныя симметрично относительно оси аппарата, и уголъ наклоненія которыхъ можетъ быть измѣняемъ по желанію и при томъ такимъ образомъ, чтобы сопротивленіе этихъ вспомогательныхъ плоскостей препятствовало бы наклоненію аппарата. Вспомогательная плоскость, лежащая ближе къ центру поворота должна стремиться приподнять поддерживающую поверхность аппарата, другая же наоборотъ опустить (черт. 17).

Если мы предположимъ, что величины сопротивленія той и другой вспомогательной плоскости равны между собой, то, обозначая разстояніе между точками приложенія этихъ сопротивленій черезъ D , смѣщеніе центра давленія относительно центра тяжести черезъ e и вертикальную составляющую сопротивленія каждой изъ вспомогательныхъ плоскостей черезъ p , мы можемъ написать:

$$p = \frac{Pe}{D}$$

Точка приложенія равнодѣйствующей раздѣлитъ разстояніе e на части пропорціональныя $\frac{D}{2}$ и $\frac{D}{2} + e$.

Слѣдуетъ замѣтить, что для равенства сопротивленія p уголъ наклоненія вспомогательныхъ повехностей долженъ быть неодинаковъ—онъ долженъ быть больше у поверхности лежащей ближе къ центру поворота, такъ какъ она перемѣщается съ меньшей скоростью.

Возможно также примѣненіе сопротивленій p неодинаковой величины, но въ этомъ случаѣ сумма ихъ получится всегда больше, чѣмъ при условіи ихъ равенства.

Какія бы ни были, однако, примѣнены нами вспомогательныя поверхности устойчивости, онѣ всегда вызовутъ появленіе нѣкотораго добавочнаго сопротивленія поступательному движенію аппарата и увеличеніе, вслѣдствіе этого, радіуса поворота, что слѣдуетъ имѣть въ виду.

Вмѣсто того, чтобы для уничтоженія смѣщенія центра давленія прибавлять къ аппарату вспомогательныя поверхности, можно сдѣлать поддерживающую поверхность изъ двухъ отдѣльныхъ подвижныхъ частей, углы наклоненія которыхъ могли бы быть измѣняемы независимо другъ отъ друга. Уголъ наклоненія крыла поддерживающей поверхности, лежащей ближе къ центру поворота, во время поворота долженъ быть увеличенъ, а уголъ наклоненія другого крыла долженъ быть въ тоже время уменьшенъ. Въ данномъ случаѣ площади дѣйствующихъ поверхностей очень велики, а потому измѣненія угловъ наклоненія могутъ быть незначительны, сравнительно съ тѣми углами на которые должны быть наклонены вспомогательныя поверхности,

вслѣдствіе этого и величина сопротивленія поступательному движенію измѣняется мало.

Итакъ, въ цѣляхъ противодѣйствія опрокидывающей парѣ во время поворотовъ у насъ имѣются три способа, которые могутъ быть использованы для соблюденія поперечнаго равновѣсія не только при поворотѣ аппарата, но и при всѣхъ другихъ обстоятельствахъ. Способы эти слѣдующіе:

1^о Поперечное перемѣшеніе нѣкоторой части груза.

2^о Вспомогательныя поверхности (крылышки).

3^о Измѣненіе угла наклоненія крыльевъ поддерживающей поверхности *).

По нашему мнѣнію, третій способъ есть въ тоже время и наилучшій, имъ пользуются и птицы, которыя пока еще служатъ намъ учителями.

Скользящій поворотъ. Поворотъ аппарата можно произвести нѣсколько инымъ способомъ: вмѣсто того, чтобы ось аппарата все время была касательна къ описываемой кривой, можно заставить аппаратъ передвигаться такимъ образомъ, чтобы его ось составляла съ касательной къ описываемой кривой нѣкоторый уголъ β .

Положимъ, что аппаратъ въ поперечномъ направленіи сохраняетъ горизонтальное положеніе (черт. 18).

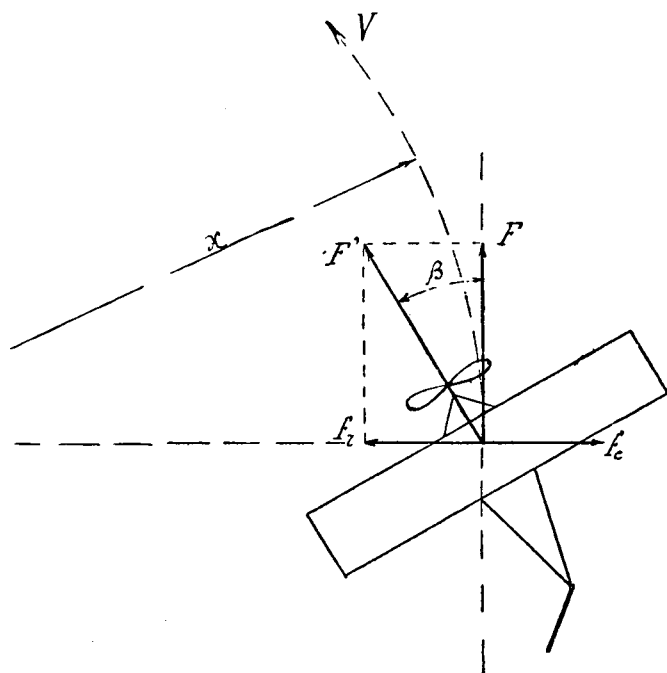
Аэропланъ направленный такимъ образомъ стремится описать дугу опредѣленнаго радіуса, но центробѣжная сила, заставляетъ его скользить отъ центра поворота, въ результатѣ аппаратъ опишетъ нѣкоторую траекторію, которую мы и постараемся опредѣлить.

Пусть α есть радіусъ поворота, F' —усиліе двигателя, которое больше усилія развиваемаго двигателемъ при движеніи по прямой и пусть F —скорость соотвѣтствующая криволинейной траекторіи.

Усиліе F' можетъ быть разложено на два составляющія усилія: одно по касательной къ траекторіи $F = F' \cos \beta$ и

*) Надо добавить еще четвертый способъ—искривленіе или перекашивание поддерживающихъ поверхностей, какъ это дѣлается у бр. Райтъ, Сантосъ-Дюмона, Блерію, Эсно-Пельтри, Антуанетъ и др.

другое по направлению радиуса поворота $f_r = F' \sin \beta$, которое будет направлено от центра поворота. Сила F сообщает аппарату скорость V , а сила f_r должна быть уравновешена центробежной силой f_c , величина которой



Чер. 18.

зависит от величины радиуса поворота. Таким образом, мы будем иметь:

$$f_r = f_c = \frac{PV^2}{gx} = F' \sin \beta,$$

определяя отсюда величину радиуса поворота, найдем:

$$x = \frac{PV^2}{gF' \sin \beta},$$

но $F = F' \cos \beta$, откуда $\cos \beta = \frac{F'}{F}$, определяя $\sin \beta$, найдем:

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{F'^2 - F^2}}{F'}$$

вставляя послѣднюю величину въ выраженіе радіуса поворота, будемъ имѣть:

$$x = \frac{PV^2}{g\sqrt{F'^2 - F^2}}$$

Слѣдуетъ отмѣтить, что въ разсматриваемомъ случаѣ $\cos \beta$,—угла поворота въ горизонтальной плоскости, имѣеть тоже самое выраженіе, какъ и $\cos \gamma$,—угла наклона траекторіи въ вертикальной плоскости въ разсмотрѣнномъ нами выше случаѣ.

Легко видѣть, что, хотя продольная ось аппарата и не касательна къ своей траекторіи, но разныя части его имѣють неодинаковыя скорости, вслѣдствіе чего должно произойти смѣщеніе центра давленія относительно центра тяжести, но это смѣщеніе будетъ значительно меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ.

Обозначая величину смѣщенія черезъ OO' , будемъ имѣть:

$$OO' = 2L^2 \frac{x \cos \beta}{16x^2 + L^2}.$$

Вполнѣ понятно, что, появляющаяся при этомъ, опрокидывающая пара должна быть чѣмъ либо компенсирована.

Если возможно допустить наклоненіе траекторіи въ вертикальной плоскости, то радіусъ поворота можетъ быть сдѣланъ меньше, но въ этомъ случаѣ нами должно быть принято во вниманіе измѣненіе направленія, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ.

Числовой примѣръ. Имѣя то же заданіе, какъ и въ предыдущемъ числовомъ примѣрѣ:

$$F' = 130; F = 95; V = 19,$$

мы получимъ иныя значенія для интересующихъ насъ величинъ:

$$\cos \beta = 0,73; \beta = 43^\circ; x = 207 \text{ м. } OO' = 0,045 \text{ м. } d = 0,300 \text{ м.}$$

Отсюда мы видимъ, что въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ радиусъ поворота значительно больше, но за то смѣщеніе центра давленія уменьшилось.

Нѣкоторыя замѣчанія относительно поворота аэроплана. Какъ мы уже видѣли, очень крутой поворотъ можно произвести только при значительномъ пониженіи аппарата. Определить же наименьшій, вполне безопасный радиусъ поворота можно почти исключительно только путемъ послѣдовательныхъ опытовъ. Эти опыты должны быть начаты съ очень большого радиуса поворота, который затѣмъ надо постепенно уменьшать; при чемъ выведенныя нами формулы дадутъ возможность предвидѣть тѣ величины, которыя могутъ быть получены. Кромѣ того слѣдуетъ всегда помнить, что для того, чтобы описать дугу въ горизонтальной плоскости, необходимо располагать бѣльшей силой тяги двигателя, чѣмъ при движеніи по прямой линіи.

Тѣ усилія которыя замедляютъ поворотъ надо стремиться по возможности уменьшить,—для этого слѣдуетъ удалить возможно дальше руль направленія отъ поддерживающей поверхности, а также и крылышки отъ оси аппарата, если таковыя имѣются для уничтоженія опрокидывающей пары.

Въ томъ случаѣ, когда для этой цѣли поддерживающая поверхность состоитъ изъ двухъ крыльевъ, углы наклоненія которыхъ могутъ быть измѣнены независимо другъ отъ друга, имѣется еще нѣкоторое преимущество, которое заключается въ томъ, что крыло лежащее ближе къ центру поворота, оказываетъ большее сопротивленіе поступательному движенію аппарата, что производитъ такое же дѣйствіе, какъ и руль; это еще разъ приводитъ насъ къ убѣжденію въ преимуществѣ такой системы.

Въ томъ случаѣ, когда аппаратъ для бѣльшей поперечной устойчивости имѣетъ слегка приподнятыя крылья, онъ больше подверженъ дѣйствію бокового вѣтра, что можетъ дать при поворотѣ весьма нежелательные результаты, въ особенности, если вѣтеръ имѣетъ направленіе отъ центра поворота. По нашему мнѣнію это обстоятельство служитъ достаточнымъ основаніемъ, чтобы не примѣнять поддерживающихъ поверхностей такой конструкціи, единственное до-

стоинство которой заключается развѣ только въ ея простотѣ.

Радиусы поворота въ 80—100 м. являются достаточно безопасными для аппаратовъ, ширина которыхъ равна 10—15 м., уменьшеніе же ихъ не представляетъ особаго интереса, такъ какъ авіаторъ обыкновенно не стѣсненъ пространствомъ.

IV. Взлетъ аэроплана.

Опредѣленіе длины пробѣга аппарата при взлетѣ. При взлетѣ аппаратъ, послѣ нѣкотораго пробѣга по поверхности земли, приобретаетъ скорость, равную по величинѣ скорости равновѣсія при горизонтальномъ полетѣ, послѣ чего дѣлають траекторію полета поднимающейся, (дѣйствуя рулемъ высоты), и аппаратъ отдѣляется отъ земли. При этомъ очевидно, что сила тяги движителя должна быть въ этотъ моментъ больше силы тяги, соотвѣтствующей движенію аппарата по горизонтали и что отъ нея зависитъ величина угла подъема.

Пусть F' есть наибольшее усиліе, которое можетъ дать движитель, F_1 —усиліе движителя, расходуемое при движеніи по горизонтальному направленію, α —уголъ наклоненія поддерживающей поверхности, P —общій вѣсъ аппарата и φ —коэффициентъ сопротивленія при движеніи аппарата по поверхности земли.

Въ тотъ моментъ, когда аппаратъ начинаетъ двигаться, по поверхности земли, на него дѣйствуетъ сила тяги равная $F' - P\varphi$, когда же, приобретя достаточную скорость, онъ отдѣляется отъ земли, вертикальная составляющая сопротивленія воздуха уравнивается вѣсомъ аппарата, а сила способная сообщить аппарату ускореніе равна:

$$F' - F.$$

Въ промежуткѣ между этими двумя моментами сила, способная сообщить ускореніе аппарату, имѣетъ различную величину и въ каждой точкѣ она соотвѣтственно равна:

$$F' - \left[f' + \left(P - \frac{f}{\text{tg } \alpha} \right) \varphi \right], \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ f' представляетъ собою силу тяги двигателя, необходимую для преодоленія лобового сопротивленія аппарата, которая пропорціональна квадрату его скорости въ разсматриваемой точкѣ, f — есть горизонтальная составляющая нормального сопротивленія, а выраженіе $\frac{f}{g \alpha}$ представляетъ собою уменьшеніе вѣса аппарата, которое происходитъ, вслѣдствіе появленія поддерживающей силы.

Такимъ образомъ, движеніе аппарата не будетъ равномерно-ускореннымъ.

Не зная въ точности закона движенія, постараемся, однако, опредѣлить разстояніе, проходимое аппаратомъ отъ начала движенія до момента взлета.

Въ тотъ моментъ, когда аэропланъ отдѣляется отъ земли, онъ обладаетъ живой силой равной $\frac{PV^2}{2g}$, величину которой не трудно опредѣлить.

Для того, чтобы узнать пространство, которое пройдетъ аэропланъ отъ начала движенія до момента взлета, мы можемъ допустить, что онъ, прежде чѣмъ пріобрѣсти скорость V , пройдетъ путь, равный частному отъ дѣленія величины живой силы на среднюю величину дѣйствовавшего на него усилія, которое и постараемся найти.

Для этой цѣли мы вычертимъ нѣсколько кривыхъ, представляющихъ собою измѣненія интересующихъ насъ величинъ.

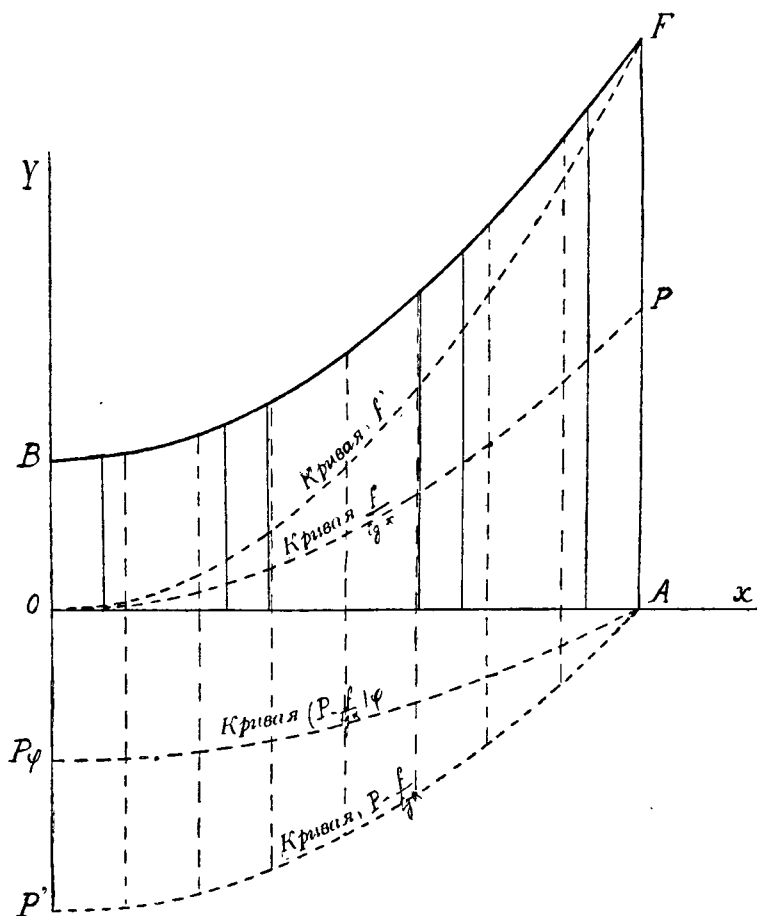
Возьмемъ прямоугольныя оси координатъ Ox и Oy .

На оси Ox отложимъ въ извѣстномъ масштабѣ скорость V , которая выразится отрезкомъ OA .

Изъ точки A возставимъ перпендикуляръ и отложимъ на немъ величину AF , пропорціональную усилію двигателя F , которое онъ долженъ давать при движеніи по горизонтали.

Кривая, изображающая измѣненіе величины f' , входящей въ выраженіе (1), представляетъ собою нѣкоторую параболу, проходящую черезъ точку F , съ вершиною въ точкѣ O ; ее не трудно вычертить, такъ какъ ординаты ея пропорціональны квадратамъ скоростей, нанесенныхъ на оси абсциссъ.

Точно такимъ же образомъ откладывая $AP = P$, мы найдемъ точку соотвѣтствующую параболѣ $\frac{f}{\text{tg } \alpha}$, вершина которой, какъ и у предыдущей кривой, лежитъ въ точкѣ О.



Чер. 19.

Чтобы получить кривую, соотвѣтствующую члену $(P - \frac{f}{\text{tg } \alpha})$, надо изъ каждой точки параболы $\frac{f}{\text{tg } \alpha}$ отложить внизъ ординату равную P .

Такимъ образомъ мы получимъ еще одну кривую $P'A$, которая также представляетъ изъ себя параболу, всѣ орди-

наты которой, лежащія ниже оси Ox , равны соотвѣтственнымъ значеніямъ члена $\left(P - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}\right)$.

Умножая ординаты послѣдней кривой на коэффициентъ φ , мы получимъ новую кривую $P\varphi, A$,—также параболу, ординаты которой, лежащія ниже оси Ox , представляетъ членъ $\left(P - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}\right)\varphi$.

Складывая ординаты послѣдней параболы $P\varphi, A$ съ ординатами параболы f' , мы получимъ новую кривую BF , которая изображаетъ членъ, находящійся въ выраженіи (1) въ скобкахъ и на которой надо уменьшить величину F' , другими словами, ординаты кривой BF представляютъ собой величину общаго сопротивленія аппарата.

Считая величину F' постоянной и уменьшая ее на F_m ,—величину средней ординаты площади $OAFB$, мы найдемъ среднюю величину усилія F_1 , подъ дѣйствіемъ котораго находится аппаратъ.

Въ силу сдѣланнаго нами допущенія, разстояніе, пройденное аппаратомъ по поверхности земли, будетъ:

$$E = \frac{PV^2}{2gF_1}.$$

Въ виду того, что кривыя $OF, OP, P\varphi, A$ и $P'A$ представляютъ собою параболы, наша эпюра можетъ быть нѣсколько упрощена: вычертивъ параболы OF и $P\varphi, A$ и опредѣливъ, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, OB , мы можемъ провести линію BF , считая ее за параболу, проходящую черезъ точку F и вершина которой лежитъ въ точкѣ B . Разница, между кривою BF , полученной отъ сложения ординатъ кривыхъ f' и $P\varphi, A$, и параболою BF будетъ очень не велика.

Въ дѣйствительности, какъ мы это увидимъ въ главѣ о двигателяхъ, усиліе F' не представляетъ собою величины постоянной, но мы взяли его величину при скорости V и благодаря этому опредѣленное нами разстояніе E представляетъ собою maximum.

Въ тотъ моментъ, когда аппаратъ отдѣлился отъ земли, его траекторія составляетъ съ горизонтальною нѣкоторый

уголь и аппаратъ находится въ условіяхъ подъема, которыя были рассмотрѣны нами выше.

При помощи тѣхъ же самыхъ кривыхъ, можетъ быть рѣшенъ вопросъ относительно величины усилія F' , необходимаго для того, чтобы аппаратъ отдѣлился отъ земли послѣ заданнаго пробѣга E .

Въ самомъ дѣлѣ, при заданной величинѣ E мы будемъ имѣть:

$$F_1 = \frac{PV^2}{2gE}$$

и

$$F' = F_1 + F_m.$$

при чемъ F_m можетъ быть опредѣлено, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, при помощи вычерченныхъ нами кривыхъ.

Зная расстояние, которое долженъ пройти аппаратъ по поверхности земли, мы можемъ приблизительно опредѣлить и нужное для этого время. Предполагая, что аппаратъ движется со средней скоростью $\frac{V}{2}$, мы найдемъ, что промежутокъ времени отъ начала движенія до момента взлета будетъ равняться:

$$t = \frac{2E}{V}.$$

Числовой примѣръ. Кривыя чертежа 19-го относятся къ аппарату, который мы рассматриваемъ на протяжении всей книги, при чемъ φ взято равнымъ 0,05, т. е. коэффициентъ соотвѣтствующій каченію аппарата.

При силѣ тяги двигателя равной 130 клгр., которая была нами принята раньше, мы будемъ имѣть:

$$E = \frac{500 \times 19^2}{2 \times 9,81 \times 81} = 114 \text{ м.}$$

Если же мы хотимъ, чтобы нашъ аппаратъ отдѣлился отъ земли послѣ пробѣга въ 50 м., мы должны располагать силою тяги двигателя F' , опредѣляемой изъ уравненій:

$$F_1 = \frac{500 \times 19^2}{2 \times 9,81 \times 50} = 184 \text{ клгр.}$$

и

$$F' = 184 + 49 = 233 \text{ клгр.}$$

Замѣчанія относящіяся къ взлету аппарата. Въ цѣляхъ практичности взлетъ аппарата долженъ производиться безъ помощи какой либо посторонней силы, будетъ ли при этомъ примѣнена какая нибудь механическая вспомогательная сила тяги или аппаратъ долженъ утилизировать силу тяжести, пользуясь при разбѣгѣ покатостью почвы.

Если аппаратъ можетъ подниматься съ поверхности земли безъ посторонней помощи, то это дастъ ему возможность во время полета опускаться и затѣмъ отправляться въ дальнѣйшій путь съ любого мѣста, предполагая, конечно, что авіаторъ можетъ выбрать болѣе или менѣе удобное мѣсто для спуска.

Вполнѣ естественно стремиться по возможности уменьшить пробѣгъ аппарата необходимый для взлета, но при этомъ не надо забывать, что это можетъ быть достигнуто только значительнымъ увеличеніемъ мощности двигателя, что можетъ повлечь за собою перегрузку аппарата.

Можно считать вполнѣ достаточнымъ, если аппаратъ при спокойномъ воздухѣ и съ горизонтальной поверхности поднимается послѣ пробѣга въ 50 м., такъ какъ это разстояніе можно нѣсколько уменьшить, пользуясь направлениемъ вѣтра или нѣкоторой покатостью почвы.

Вѣтеръ, если его направленіе прямо противоположно направленію движенія аппарата, можетъ въ значительной степени уменьшить пробѣгъ аппарата передъ взлетомъ, но какъ покатость почвы, такъ и силу вѣтра, не слѣдуетъ ставить непремѣнными условіями взлета.

Чтобы уменьшить при пробѣгѣ вредныя сопротивленія, аппаратъ слѣдуетъ ставить на колеса.

Коэффициентъ φ зависитъ отъ состоянія поверхности почвы.

Примѣненіе поддерживающихъ поверхностей, которыя оказываютъ меньшее сопротивленіе поступательному движенію при той же поддерживающей силѣ, должно повести къ уменьшенію длины пробѣга. Примѣръ этого мы увидимъ, когда будемъ разсматривать вогнутыя поддерживающія поверхности.

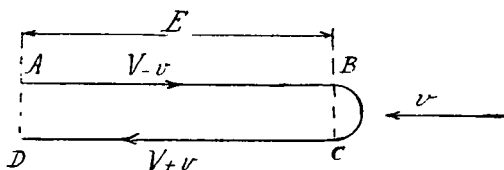
У. Вліяніе вѣтра.

Попутный и встрѣчный вѣтеръ. Скорость, при которой наступаетъ равновѣсіе аэроплана — есть скорость относительно воздуха, въ которомъ онъ перемѣщается; такимъ образомъ, при одной и той же скорости развиваемой аэропланомъ его скорость относительно земли можетъ быть различна въ зависимости отъ скорости и направленія вѣтра.

При совпаденіи направленія вѣтра и движенія аппарата, вѣтеръ можетъ быть попутнымъ и встрѣчнымъ. Въ первомъ случаѣ скорость аппарата относительно земли будетъ равна суммѣ, а во второмъ случаѣ разности между собственной скоростью аппарата и скоростью вѣтра. Такимъ образомъ, чтобы имѣть возможность сравнивать аппараты съ точки зрѣнія развиваемой ими скорости, они должны быть поставлены въ совершенно тождественныя атмосферическія условія.

Скорость аппарата относительно земли можно разсматривать, какъ полезную скорость, а потому интересно опредѣлить вліяніе вѣтра на путь, проходимый аэропланомъ.

Положимъ, что аэропланъ долженъ пройти нѣкоторое разстояніе по вѣтру, затѣмъ повернуться, при чемъ временемъ употребленнымъ на поворотъ мы пренебрежемъ, и пройти тоже разстояніе противъ вѣтра (черт. 20).



Черт. 20.

Пусть V есть собственная скорость аппарата, v — скорость вѣтра и $2E$ весь путь, который долженъ пройти аппаратъ по отношенію къ землѣ. Когда аппаратъ перемѣщается отъ точки A къ точкѣ B , его скорость по отношенію къ землѣ равна разности скорости самого аппарата и скорости вѣтра, а время въ которое аэропланъ пройдетъ это разстояніе равно: $\frac{E}{V-v}$.

На части пути CD скорость аппарата по отношению къ землѣ будетъ равна суммѣ тѣхъ же скоростей, а время, нужное аппарату для прохождения этого пути, будетъ: $\frac{E}{V+v}$.

Не принимая во вниманіе, какъ мы условились, времени необходимаго для поворота, получимъ полный промежутокъ времени, который аэропланъ былъ въ пути:

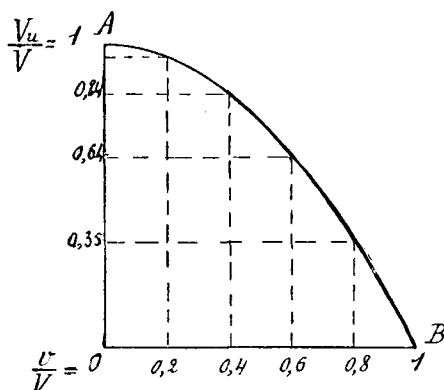
$$t = \frac{E}{V-v} + \frac{E}{V+v} = 2E \frac{V}{V^2-v^2}$$

Откуда средняя полезная скорость аппарата на всемъ пути V_u будетъ равна:

$$V_u = \frac{2E}{t} = \frac{V^2-v^2}{V},$$

а отношеніе полезной скорости къ скорости аэроплана:

$$\frac{V_u}{V} = \frac{V^2-v^2}{V^2} = 1 - \left(\frac{v}{V}\right)^2$$



Чер. 21.

Взявъ прямоугольныя оси координатъ и откладывая на оси абсциссъ различныя значенія отношенія $\frac{v}{V}$, а на оси ординатъ соотвѣтствующія значенія $\frac{V_u}{V}$, мы получимъ параболу съ вершиною въ точкѣ А, представленную на чертежѣ

21-омъ, которая вычерчивается обыкновеннымъ образомъ, предполагая что $OA = OB$, такъ какъ если $v = 0$, то полезная скорость V_u равна V и $\frac{V_u}{V}$ обращается въ единицу, а при $v = V$, отношение $\frac{v}{V}$ равно единицѣ, а V_u обращается въ нуль, т. е., въ этомъ случаѣ, аппаратъ не будетъ перемѣщаться относительно земли. Такимъ образомъ, въ томъ случаѣ, если аппаратъ не будетъ обладать скоростью превышающей скорость вѣтра, при движеніи противъ вѣтра, онъ не можетъ имѣть полезной скорости.

Вѣтеръ, дѣйствующій подь угломъ къ направленію движенія аэроплана. Въ томъ случаѣ, когда направленіе вѣтра и направленіе движенія составляютъ нѣкоторый уголъ β , полезная скорость будетъ равна:

$$V_u = \frac{V^2 - v^2 \cos^2 \beta}{V}$$

Вычерчивая кривую, аналогичную предыдущей, мы получимъ опять параболу (черт. 22) съ вершиною въ точкѣ А, но ордината которой, соотвѣтствующая точкѣ В равна:

$$1 - \cos^2 \beta,$$

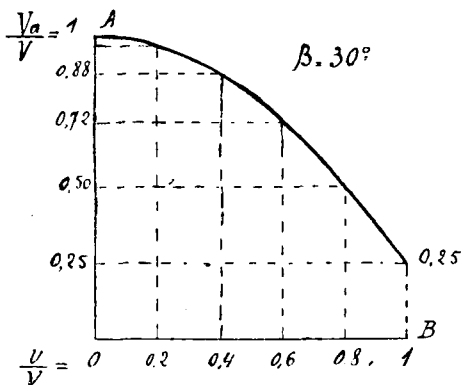
гдѣ β — уголъ между направлениемъ вѣтра и направлениемъ движенія аэроплана.

На чертежѣ 22-омъ вычерчена параболу для угла $\beta = 30^\circ$, въ этомъ случаѣ, при $V = v$, полезная скорость $V_u = 0,25 V$, а, слѣдовательно ордината, точки В равна 0,25.

Если мы будемъ вычерчивать кривыя для различныхъ значеній угла β , то получимъ семейство параболъ, при чемъ для угловъ бѣльшихъ, чѣмъ 30° эти параболы будутъ лежать выше параболы АВ, изображенной на чертежѣ 22-мъ. Въ предѣлѣ, при углѣ $\beta = 90^\circ$, соотвѣтствующая параболу обратится въ прямую, параллельную ОВ, при чемъ надо замѣтить, что мы все время предполагаемъ боковое сопротивление аппарата равнымъ нулю.

Принимая во вниманіе составляющую силы вѣтра, перпендикулярную къ направленію движенія аппарата, т. е.,

другими словами, принимая во вниманіе боковое сопротивленія аэроплана, легко видѣть, что аппаратъ, подѣ дѣйствіемъ вѣтра направленнаго подѣ угломъ, опишетъ не прямую, а кривую траекторію, которая получится вслѣдствіе того, что онъ будетъ находиться подѣ дѣйствіемъ силы, получающейся отѣ сложенія силы тяги винта и давленія вѣтра.



Чер. 22.

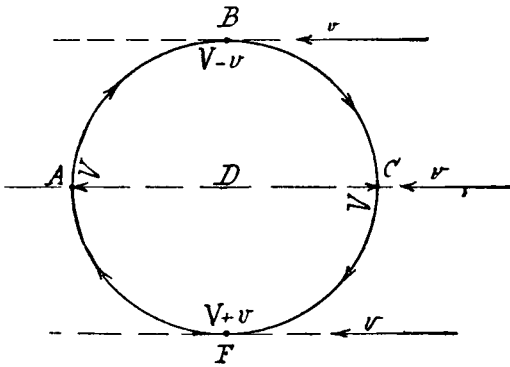
Въ томъ случаѣ, если при существованіи бокового вѣтра аппаратъ по отношенію къ землѣ долженъ перемѣщаться по прямой линіи, онъ долженъ быть направленъ такимъ образомъ, чтобы равнодѣйствующая его скорости и скорости вѣтра была направлена по заданной прямой.

Путь проходимый аэропланомъ по окружности. Пусть D есть діаметръ круга, по которому перемѣщается аэропланъ развивающій скорость V, пусть скорость вѣтра равна v, а боковое сопротивленіе аппарата мы будемъ считать равнымъ нулю.

Направленіе вѣтра на чертежѣ 23-мъ показано стрѣлкой.

Въ точкѣ отправленія A, аппаратъ будетъ имѣть скорость по отношенію къ землѣ равную V, при перемѣщеніи аппарата изъ точки A къ B она постепенно будетъ уменьшаться и по прохожденіи имъ четверти окружности т. е. въ точкѣ B, скорость будетъ равна $V - v$; при движеніи по второй четверти окружности она будетъ увели-

чиваться и въ точкѣ С достигнетъ опять первоначальной величины V ; при дальнѣйшемъ движеніи отъ точки С къ F она будетъ продолжать увеличиваться и въ точкѣ F будетъ равна $V + v$; при движеніи по четвертой четверти окружности скорость по отношенію къ землѣ опять будетъ уменьшаться и въ точкѣ А вторично достигнетъ своей первоначальной величины.



Чер. 23.

Безъ большой погрѣшности можно допустить, что аппаратъ имѣетъ въ различныхъ частяхъ окружности равноускоренное или равно-замедленное движеніе. На полуокружности ABC мы можемъ считать, что онъ имѣетъ среднюю скорость $\frac{2V - v}{2}$, а на полуокружности CFA среднюю скорость равную $\frac{2V + v}{2}$, на основаніи чего промежутокъ времени, который аппаратъ долженъ употребить на то, чтобы описать полный кругъ будетъ равенъ:

$$t = 4 \pi D \frac{V}{4 V^2 - v^2}$$

Откуда полезная скорость аппарата равна:

$$V_u = \frac{4 V^2 - v^2}{4 V}$$

Полученный результатъ очевидно не зависитъ ни отъ направленія вѣтра, ни отъ точки отправления аппарата.

На полуокружности ВСF, которая соотвѣтствуетъ случаю поворота аппарата, указанному на черт. 20-омъ, полезная скорость будетъ такая же, какъ и на всей окружности.

Полученныя нами величины скоростей есть величины только приблизительныя, такъ какъ, не принятое нами во вниманіе боковое сопротивленіе аппарата, измѣняетъ ихъ значенія.

Восходящій и нисходящій вѣтеръ. Восходящій или нисходящій потокъ воздуха, по крайней мѣрѣ на небольшихъ высотахъ, можетъ получиться вслѣдствіи вида земной поверхности, такъ, на примѣръ, если поверхность земли представляетъ собою скатъ, то въ зависимости отъ того, въ какую сторону дуетъ вѣтеръ, онъ можетъ оказаться восходящимъ или нисходящимъ.

Если аэропланъ находится въ восходящемъ потокѣ воздуха, то результатъ получится тотъ же самый, какъ если бы аппаратъ перемѣщался по траекторіи наклоненной книзу, при большемъ углѣ наклоненія его поддерживающихъ поверхностей; поддерживаніе аппарата при этомъ увеличится и, если желательно, чтобы траекторія аппарата оставалась горизонтальной, необходимо уменьшить его скорость.

Въ томъ случаѣ, когда аппаратъ находится въ нисходящемъ потокѣ воздуха, условія движенія его такія же, какъ если бы онъ перемѣщался по поднимающейся траекторіи, вслѣдствіе уменьшенія угла наклоненія его поддерживающихъ поверхностей. Для сохраненія горизонтальной траекторіи, въ этомъ случаѣ, скорость аппарата должна быть увеличена.

Птицы умѣютъ инстинктивно приспособляться къ такимъ измѣненіямъ направленія вѣтра, — онѣ мѣняють при этомъ уголъ наклоненія своихъ крыльевъ точно также, какъ и человѣкъ инстинктивно стремится поддержать равновѣсіе, когда онъ наклоняется впередъ при подъемѣ и назадъ или вбокъ при спускѣ.

Чтобы перемѣщаться въ воздухѣ вполне по своему желанію, авіаторъ также долженъ приобрѣсти этотъ инстинктъ; онъ долженъ также чувствовать воздухъ подъ своимъ аппаратомъ, какъ чувствуетъ подъ ногами землю.

Регулирующій механизмъ, какъ бы онъ ни былъ сложенъ, никогда не можетъ дѣйствовать съ такой быстротой, какъ инстинктивное движеніе, а вѣдь малѣйшее промедленіе въ управленіи можетъ повлечь за собою полное нарушеніе равновѣсія, опрокидываніе и паденіе аппарата.

Замѣчанія. Итакъ, мы видимъ, что для того, чтобы аппаратъ могъ бороться съ вѣтромъ, онъ долженъ обладать очень большой скоростью и, если таковая имѣется, то тогда, одновременно, отпадаютъ и затрудненія связанныя съ взлетомъ аппарата и съ сохраненіемъ равновѣсія въ восходящемъ потокѣ воздуха.

Дѣйствіе восходящаго и нисходящаго потока воздуха, какъ мы видѣли, по своему результату равносильно движенію аппарата по наклонной траекторіи, при чемъ это измѣненіе направленія аппарата въ вертикальной плоскости происходитъ не при помощи дѣйствія руля высоты, а какъ бы вслѣдствіе измѣненія угла наклоненія поддерживающихъ поверхностей.

Такое измѣненіе угла наклоненія должно, очевидно, повлечь за собою смѣщеніе въ діаметральной плоскости центра давленія; но это смѣщеніе можетъ быть легко компенсировано.

Въ самомъ дѣлѣ, если мы, на примѣръ, увеличимъ уголъ наклоненія поддерживающей поверхности и возьмемъ его вмѣсто 30° равнымъ 70° , разстояніе центра давленія до передняго ребра поддерживающей поверхности измѣнится отъ $0,2156 l$ до $0,2366 l$, т. е. смѣщеніе его будетъ равно $0,021 l$, гдѣ l есть длина поддерживающей поверхности, считаемая въ направленіи движенія.

Полученный результатъ тѣмъ не менѣе показываетъ, что съ данной точки зрѣнія, бипланъ имѣетъ существенное преимущество, хотя, съ другой стороны, очень можетъ быть, что могутъ существовать поверхности особаго вида, которыя даютъ при довольно значительномъ измѣненіи угла наклоненія весьма малое смѣщеніе центра давленія.

По всей вѣроятности, птицы могутъ придавать своимъ крыльямъ, именно такую форму, такъ какъ онѣ во время полета измѣняютъ углы ихъ наклоненія въ очень широкихъ предѣлахъ.

Бороться съ вѣтромъ, сила котораго измѣняется, представляется гораздо болѣе труднымъ; въ данномъ случаѣ, кромѣ рациональности конструкціи аппарата, еще очень много зависитъ отъ самаго авіатора, который долженъ умѣть сохранять равновѣсіе путемъ маневрированія.

Аэропланъ, который можетъ противостоять вѣтру, скорость котораго равна 8 м. въ сек., не можетъ, конечно, бороться съ бурей, но тѣмъ не менѣе число дней въ году, въ которые онъ можетъ совершать полеты, будетъ очень значительно.

VI. Вліяніе высоты.

Измѣненія плотности воздуха. Величина коэффиціента K въ основной формулѣ сопротивленія воздуха была взята нами при барометрическомъ давленіи въ 760 м.м., то есть, была принята во вниманіе плотность воздуха, существующая на уровнѣ моря. Однако, съ высотой давленіе, а вмѣстѣ съ нимъ и плотность воздуха, уменьшаются — воздухъ становится болѣе рѣдкимъ.

Среда, имѣющая меньшую плотность, очевидно, должна представлять и меньшее сопротивленіе перемѣщающейся въ ней поверхности, вслѣдствіе этого коэффиціентъ K съ высотой уменьшается и при томъ пропорціонально уменьшенію плотности воздуха.

Измѣненія скорости и количества работы. Чтобы компенсировать уменьшеніе съ высотой коэффиціента K , при остающейся безъ измѣненія площади поддерживающей поверхности и зависимости величинъ R , Q и f отъ угла наклоненія, мы должны, чтобы не уменьшилось сопротивленіе R , увеличить, въ выраженіи его опредѣляющемъ, членъ V^2 .

Если мы обозначимъ черезъ p_0 — давленіе на уровнѣ моря, черезъ p_1 давленіе въ какой нибудь точкѣ, находящейся на высотѣ H метровъ надъ уровнемъ моря, черезъ K' — новый коэффиціентъ сопротивленія воздуха соотвѣтствующій высотѣ H и черезъ V' — новую скорость, которую долженъ имѣть аппаратъ, чтобы на этой высотѣ сохранять равновѣсіе, то на основаніи того, что вѣсъ аппарата остается тотъ же, будемъ имѣть:

$$KSV^2 = K'SV'^2$$

или:

$$\frac{V'^2}{V^2} = \frac{K}{K'}$$

Коэффициентъ K пропорціоналенъ плотности воздуха, а вмѣстѣ съ тѣмъ и давленію, слѣдовательно, мы можемъ написать:

$$\frac{K}{K'} = \frac{p_0}{p_1}$$

на основаніи чего—

$$\frac{V'^2}{V^2} = \frac{p_0}{p_1} \text{ и } \frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{p_0}{p_1}}; V' = V \sqrt{\frac{p_0}{p_1}}$$

Сила тяги двигателя, зависящая отъ вѣса аппарата, должна остаться безъ измѣненія, количество же расходуемой работы, которое на уровнѣ моря равно FV , должно измѣниться въ отношеніи $\frac{V'}{V}$. Обозначая черезъ T —количество работы, необходимое для поддерживанія аппарата въ равновѣсїи на уровнѣ моря, а черезъ T' соответствующее количество работы на высотѣ H , на основаніи предыдущаго, можемъ написать:

$$T' = T \sqrt{\frac{p_0}{p_1}}$$

Такимъ образомъ, мы нашли величины скорости и работы на такой высотѣ, которой соотвѣтствуетъ давленіе p_1 .

Мощность двигателя. Съ другой стороны, слѣдуетъ замѣтить, что если аппаратъ снабженъ тепловымъ двигателемъ, сжигающимъ опредѣленный объемъ газа, каковымъ является двигатель бензиновый, то мощность такого двигателя прямо пропорціональна плотности воздуха или, другими словами, давленію (это провѣрено на автомобильныхъ двигателяхъ, которые работали на большихъ высотахъ).

Чтобы получить на данной высотѣ мощность двигателя равную T_m , необходимо, чтобы на высотѣ уровня моря

двигатель развивалъ мощность: $T_m \frac{p_0}{p_1}$, это соотношеніе соотвѣтствуетъ полезной работѣ T , но такъ какъ полезная работа на разсматриваемой высотѣ должна быть равна T' , то мощность двигателя на высотѣ уровня моря должна быть равна:

$$T'_m = T_m \frac{p_0}{p_1} \sqrt[3]{\frac{p_0}{p_1}} = T_m \sqrt[3]{\frac{p_0^3}{p_1^3}}$$

Высота H въ метрахъ дается слѣдующей формулой:

$$H = 18400 \log \frac{p_0}{p_1},$$

откуда можемъ найти:

$$\log \sqrt[3]{\frac{p_0^3}{p_1^3}} = \frac{1,5 H}{18400},$$

что позволяетъ, зная высоту, на которой долженъ перемѣщаться аппаратъ, подсчитать необходимую мощность, которую двигатель долженъ развивать на землѣ.

На основаніи выведенныхъ нами формулъ, мы можемъ найти, что для того, чтобы достигнуть вершины Пюи де Домъ, высота которой равна 1465 м., что составляетъ одно изъ условій приза Мишлена, надо увеличить мощность двигателя, соотвѣтствующую небольшимъ высотамъ, приблизительно, въ 1,33 раза.

Если двигатель можетъ развить мощность вдвое большую, чѣмъ та, которая необходима, чтобы аэропланъ перемѣщался на высотѣ уровня моря, то этотъ аппаратъ можетъ достигнуть высоты приблизительно въ 3600 м.

Однако, и не считывая достигать такихъ большихъ высотъ, очевидно, что необходимо все-таки имѣть нѣкоторый излишекъ мощности двигателя, чтобы избѣжать вліянія разрѣженія воздуха съ высотой.

Вліяніе температуры. Въ предыдущемъ параграфѣ мы не принимали въ расчетъ измѣненія съ высотой температуры, которое нѣсколько уменьшаетъ вліяніе высоты.

По Фламмаріону температура понижается въ среднемъ на 1° съ подъемомъ на 194 м., что соотвѣтствуетъ пони-

женію температуры на $7,5^{\circ}$ при подъемѣ на высоту 1465 м. и на $18,5^{\circ}$ при подъемѣ на высоту 3600 м.

Вліяніе этого пониженія температуры на плотность воздуха не очень значительно и оно будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ выше температура на поверхности земли, но на работу двигателя температура оказываетъ вліяніе.

Влажность воздуха также оказываетъ вліяніе на его плотность, а слѣдовательно и на коэффициентъ К.

Въ результатѣ поправки, которыя могутъ быть введены, если принять во вниманіе вліяніе температуры и влажности ведутъ къ нѣкоторому уменьшенію множителя $\sqrt{\frac{p_0^3}{p_1^3}}$ и, такимъ образомъ, принятая нами выше величина Γ_m , даетъ нѣкоторый запасъ мощности.

ГЛАВА V.

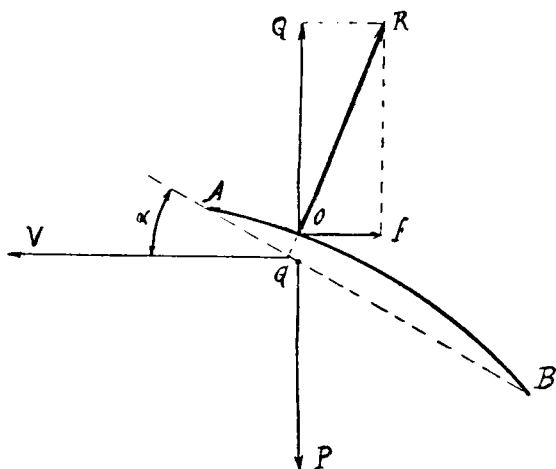
Вогнутыя поверхности.

Сопrotивленіе вогнутыхъ поверхностей. Поверхность, обращенная вогнутостью въ сторону своего перемѣщенія, испытываетъ большее сопротивленіе, чѣмъ, имѣющая тѣ же размѣры, плоскость, при чемъ на величину сопротивленія вліяетъ величина вогнутости. Это свойство вогнутыхъ поверхностей было извѣстно очень давно и потому онѣ примѣнялись въ обыкновенныхъ парашютахъ, которые безъ этого, чтобы выполнять свое назначеніе, должны были бы имѣть слишкомъ большіе размѣры.

Лиліенталь, о которомъ мы уже говорили во введеніи, поставилъ своей задачей изслѣдовать эти поверхности при ихъ перемѣщеніи подъ нѣкоторымъ угломъ къ направленію движенія; для этой цѣли имъ былъ построенъ аппаратъ—нѣчто въ родѣ управляемаго парашюта, на которомъ онъ могъ помѣщаться самъ. Этотъ аппаратъ представлялъ собою въ сущности аэропланъ безъ двигателя, снабженный вогнутыми поддерживающими поверхностями, уголъ наклоненія которыхъ можно было измѣнять, и рулемъ направленія.

Варьируя углы наклоненія поддерживающихъ поверхностей, Лиліенталь въ концѣ концовъ достигъ того, что могъ перемѣщаться въ горизонтальномъ направленіи метровъ на 250, опускаясь за это время всего только на 5—6 метровъ. Какъ мы уже говорили, онъ погибъ во время одного изъ своихъ опытовъ, но тѣмъ не менѣе мы обязаны ему очень полезными свѣдѣніями относительно вогнутыхъ поверхностей.

Поверхности, изогнутыя по дугѣ круга. Поверхности, которыя испытывалъ Лиліенталь, были поверхности цилиндрическія; какъ переднее, такъ и заднее ребро, представляли собою ихъ образующія, а направляющей служила дуга круга (чер. 24). За уголъ наклоненія этихъ поверхностей Лиліенталь принималъ уголъ наклоненія плоскости, проходящей черезъ переднее и заднее ребро.



Чер. 24.

Такія поверхности онъ обозначалъ просто отношеніемъ стрѣлки погиби къ длинѣ хорды дуги, такъ на примѣръ, выраженіе „поверхность, стрѣлка погиби которой равна $\frac{1}{20}$ “ обозначаетъ круглую цилиндрическую поверхность, имѣющую соответствующую погибь. Лиліенталь производилъ опыты съ поверхностями, которыя имѣли стрѣлки погиби отъ $\frac{1}{40}$ до $\frac{1}{12}$, при чемъ послѣднее отношеніе дало ему наиболѣе благоприятные результаты.

Сопротивленіе воздуха вогнутой поверхности R не перпендикулярно къ плоскости АВ, опредѣляющей уголъ наклоненія, а имѣетъ направленіе болѣе близкое къ вертикали, вслѣдствіе чего горизонтальная составляющая f имѣетъ меньшую величину при той же поддерживающей силѣ Q.

Кромѣ того, при той же скорости перемѣщенія, сила сопротивленія R для вогнутой поверхности имѣеть большую величину, чѣмъ для поверхности плоской. Вслѣдствіе этого аппаратъ, имѣющій вогнутыя поверхности, при той же площади поддерживающихъ поверхностей, можетъ поднять опредѣленный грузъ, имѣя меньшую скорость и меньшую силу тяги движителя, чѣмъ аппаратъ съ плоскими поддерживающими поверхностями, при чемъ это уменьшеніе работы движителя очень значительно.

Для поверхности, стрѣлка которой равна $\frac{1}{12}$, а хорда $AB = l$, радиусъ кривизны поверхности $r = 1,542 l$, уголъ между радиусами, соотвѣтствующими концамъ дуги AB , равенъ 38° и длина выпрямленной дуги равна $1,023 l$.

Разстояніе центра давленія отъ передняго края вогнутой поддерживающей поверхности можно считать такимъ же, какъ и въ случаѣ плоской поверхности, имѣющей тотъ же уголъ наклоненія.

Уголъ, составляемый направлениемъ сопротивленія воздуха R съ вертикалью, измѣняется въ зависимости отъ угла наклоненія; для угла $\alpha = 90^\circ$, сопротивленіе перпендикулярно къ плоскости AB , а по величинѣ равно $1,10$ сопротивленія соотвѣтствующаго плоскости.

Таблица III, аналогичная таблицѣ I, опредѣляетъ зависимость величинъ Q , R и f отъ угла наклоненія α для вогнутой поверхности, имѣющей стрѣлку равную $\frac{1}{12}$.

Слѣдуетъ замѣтить, что въ данномъ случаѣ отношеніе $\frac{c}{b}$ не равно $\operatorname{tg} \alpha$, а представляетъ собою просто коэффициентъ, на который надо умножить Q или R , чтобы получить величину f .

Наибольшее значеніе величины R имѣеть мѣсто при углѣ наклоненія равномъ 22° . Въ обыкновенныхъ парашютахъ, вогнутая поверхность которыхъ представляетъ сферическій сегментъ, сопротивленіе ортогональному перемѣщенію еще болѣе значительно—оно почти въ 2 раза больше сопротивленія плоскости, площадь которой равна площади круга, служащаго основаніемъ сегмента.

ТАБЛИЦА III.

Зависимость составляющих силы сопротивления воздуха от угла наклона для поверхностей изогнутых по дуге круга со стрелкою погиби равной $\frac{1}{12}$.

Уголъ наклоне- нія. α	$\sin. \alpha$	Коэффициентъ выражения KSV^2			$\frac{c}{b}$
		(a) для R.	(b) для Q.	(c) для f.	
30°	0,052	0,640	0,610	0,068	0,112
30 ³⁰ '	0,061	0,660	0,630	0,070	0,111
40°	0,070	0,690	0,650	0,073	0,112
40 ³⁰ '	0,078	0,710	0,670	0,077	0,115
50°	0,087	0,730	0,690	0,080	0,116
60°	0,105	0,760	0,720	0,085	0,118
70°	0,122	0,790	0,755	0,090	0,119
80°	0,139	0,830	0,785	0,095	0,121
90°	0,156	0,850	0,810	0,102	0,126
100°	0,174	0,870	0,825	0,110	0,133
120°	0,208	0,910	0,860	0,130	0,151
150°	0,259	0,940	0,910	0,160	0,176
200°	0,342	0,990	0,950	0,230	0,242
250°	0,423	1,010	0,940	0,320	0,340
300°	0,500	1,020	0,910	0,420	0,462
370°	0,602	1,020	0,840	0,550	0,655
400°	0,643	1,030	0,800	0,620	0,775
450°	0,707	1,040	0,730	0,710	0,975
500°	0,766	1,050	0,660	0,790	1,198
600°	0,866	1,080	0,520	0,930	1,795
700°	0,940	1,090	0,320	1,030	3,220
800°	0,985	1,095	0,130	1,080	8,320
900°	1,000	1,100	0,000	1,100	∞

Скорость аппарата. При вогнутыхъ поверхностяхъ для величины поддерживающей силы Q, какъ и прежде, мы будемъ имѣть выраженіе:

$$Q = P = KSV^2 \times b, \dots \dots \dots (1)$$

но b, въ данномъ случаѣ, должно быть взято изъ таблицы III. Опредѣляя изъ послѣдняго выраженія скорость аппарата, получимъ:

$$V = \sqrt{\frac{P}{KSb}}, \dots \dots \dots (2)$$

откуда видно, что она, какъ и раньше, пропорціональна отношенію $\frac{P}{S}$, т. е. нагрузкѣ на кв. метръ.

Выраженіе (2) позволяетъ намъ составить для поверхности, стрѣлка которой равна $\frac{1}{12}$, таблицу IV, аналогичную таблицѣ II.

ТАБЛИЦА IV.

Скорость, при которой аппаратъ находится въ равновѣсїи, въ зависимости отъ нагрузки на квадрат. метр. и угла наклоненія поддерживающихъ поверхностей, изогнутыхъ по дугѣ круга со стрѣлкою погиби равной $\frac{1}{12}$.

P S	УГОЛЬ НАКЛОНЕНІЯ α .									
	3°	3°30'	4°	4°30'	5°	6°	7°	8°	9°	10°
5	9,00	8,90	8,75	8,60	8,50	8,30	8,15	8,00	7,85	7,80
6	9,90	9,75	9,60	9,45	9,30	9,10	8,90	8,75	8,60	8,50
7	10,75	10,55	10,40	10,20	10,00	9,85	9,60	9,45	9,30	9,20
8	11,45	11,25	11,10	10,90	10,75	10,55	10,30	10,10	9,95	9,85
9	12,15	11,95	11,75	11,60	11,45	11,20	10,90	10,70	10,55	10,45
10	12,75	12,60	12,35	12,15	12,00	11,75	11,50	11,30	11,10	11,00
11	13,45	13,20	13,00	12,80	12,65	12,35	12,10	11,80	11,65	11,55
12	14,00	13,80	13,60	13,35	13,15	12,85	12,60	12,40	12,15	12,00
13	14,60	14,35	14,15	13,90	13,70	13,45	13,15	12,85	12,65	12,55
14	15,20	14,90	14,70	14,40	14,15	13,90	13,60	13,35	13,15	13,00
15	15,60	15,40	15,15	14,90	14,70	14,40	14,10	13,85	13,60	13,50
16	16,20	15,90	15,70	15,40	15,20	14,90	14,60	14,30	14,10	14,00
17	16,70	16,45	16,15	15,90	15,70	15,35	15,00	14,70	14,50	14,35
18	17,20	16,90	16,60	16,40	16,20	15,85	15,40	15,15	14,95	14,80
19	17,65	17,35	17,10	16,85	16,60	16,25	15,85	15,55	15,30	15,20
20	18,00	17,80	17,50	17,20	17,00	16,60	16,30	16,00	15,70	15,60
22	19,00	18,65	18,40	18,10	17,90	17,50	17,10	16,70	16,50	16,35
25	20,15	19,90	19,60	19,25	19,00	18,60	18,25	17,90	17,60	17,50

Сравнивая эти двѣ таблицы, мы можемъ замѣтить очень значительное уменьшеніе величины скорости, которой долженъ обладать аппаратъ, имѣющій вогнутыя поддерживающія поверхности.

Величина полного сопротивленія и количество затрачиваемой работы для аппарата съ вогнутыми поверхностями опредѣляются по тѣмъ же формуламъ, какъ и для аппарата, поддерживающія поверхности котораго представляютъ собою плоскости, съ тою только разницею, конечно, что для величинъ b , c и $\frac{c}{b}$ должны быть взяты ихъ новыя значенія.

Различныя условія равновѣсія будутъ также вполне аналогичны тому случаю, когда аппаратъ имѣеть плоскія поддерживающія поверхности; и мы не будемъ поэтому повторять нашихъ выводовъ.

Однако, надо замѣтить, что въ формулахъ, выражающихъ условія равновѣсія аппарата при подъемѣ или опусканіи, $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$ должны быть замѣнены величинами, зависящими отъ новыхъ значеній a , b и c , и мы будемъ имѣть:

$$\cos \alpha = \frac{b}{a}; \quad \sin \alpha = \frac{c}{a},$$

кдѣ a , b и c взяты изъ таблицы IV.

Количество работы, затрачиваемое аппаратомъ, во время движенія по наклонной траекторіи. Не повторяя всѣхъ тѣхъ разсужденій, которыя были приведены выше при разсмотрѣннн вопроса о количествѣ затрачиваемой работы, мы можемъ сказать, что сила тяги движителя во время перемѣщенія аппарата по наклонной траекторіи равна:

$$f' = Q \frac{b \sin \beta + c \cos \beta}{b},$$

тогда какъ, во время движенія по горизонтали, то же усиліе равно:

$$f = Q \frac{c}{b}$$

отношеніе же ихъ равно: $\frac{f'}{f} = \frac{b \sin \beta}{c} + \cos \beta$, откуда мы

можемъ найти коэффициентъ c , который слѣдуетъ ввести въ выраженіе работы при движеніи по горизонтали, чтобы получить величину работы при подъемѣ. Выраженіе, которое получится, будетъ совершенно аналогично тому, которое мы имѣли для аппарата съ плоскими поддерживающими поверхностями, но, однако, не равное ему. Мы будемъ имѣть:

$$T = \frac{P}{b} \left(b \sin \beta + c \cos \beta + \frac{0,57 s}{S} + 0,001 \right) V$$

Ниже мы приводимъ числовой примѣръ, который выясняетъ всѣ тѣ преимущества, которыя могутъ быть получены отъ примѣненія вогнутыхъ поддерживающихъ поверхностей.

Числовой примѣръ. Для того чтобы легче было сравнить результаты, получающіеся при примѣненіи вогнутыхъ и плоскихъ поверхностей, возьмемъ аппаратъ, размѣры и вѣсъ котораго такіе же, какіе мы брали въ предыдущихъ числовыхъ примѣрахъ:

Площадь поддерживающей поверхности, имѣющей стрѣлку погиби
равную $\frac{1}{12}$ $S = 50$ кв. м.

Площадь пластинки эквивалентной лобовому сопротивленію аппарата $s = 2$ кв. м.

Уголь наклоненія поддерживающей поверхности при движеніи по горизонтали $\alpha = 6^\circ$

Ширина поддерживающей поверхности $L = 10$ м.

Общій вѣсъ аппарата $P = 500$ клгр.

Нагрузка на кв. метръ $\frac{P}{S} = 10$ клгр.

Зная величину нагрузки на кв. метръ и уголь наклоненія поддерживающей поверхности, мы найдемъ по таблицѣ IV величину скорости, которой долженъ обладать аппаратъ при движеніи по горизонтали: скорость аппарата при движеніи по горизонтали $V = 11,75$, что составляетъ около 43 километровъ въ часъ, вмѣсто 68 километровъ, которые долженъ былъ дѣлать аппаратъ, имѣющій плоскія поддерживающія поверхности.

Полезная работа и мощность двигателя. При движеніи по горизонтали, какъ намъ извѣстно, аппаратъ долженъ расходовать количество работы равное:

$$T = \frac{P}{b} \left(c + \frac{0,57 s}{S} + 0,001 \right) V$$

Вставляя въ это выраженіе найденную величину скорости $V = 11,75$ и значенія коэффициентовъ b и c изъ таблицы III, мы получимъ:

$$T = 890 \text{ клгр. метр.}$$

Мы видимъ, что формула, дающая величину работы при подъемѣ, не измѣнила своего вида, вслѣдствіе этого при углѣ $\beta = 4^\circ$, что соотвѣтствуетъ подъему 7:100, мы будемъ имѣть:

$$T' = 1295 \text{ клгр. метр.},$$

откуда, принимая, какъ всегда, общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія двигателя и передачи равнымъ 0,60, мы найдемъ необходимую мощность двигателя:

$$T_m = \frac{1295}{0,60 \cdot 75} = 29 \text{ инд. силъ},$$

что составляетъ почти половину той мощности, которая была необходима при тѣхъ же условіяхъ, для того же аппарата при плоскихъ поддерживающихъ поверхностяхъ.

Зная величину работы и соотвѣтствующую скорость, можемъ опредѣлить силу тяги двигателя:

При движеніи по горизонтали:

$$T = 76 \text{ клгр.}$$

и при подъемѣ 7:100

$$T' = 110 \text{ клгр.}$$

Свободное паденіе аппарата. Для опредѣленія величины угла, который образуетъ траекторія свободно падающаго аппарата съ горизонталью, нами была раньше выведена формула:

$$\text{tg } \beta = \frac{c + \frac{0,57 s}{S} + c,001}{b},$$

въ которую для аппарата, имѣющаго вогнутыя поддерживающія поверхности, коэффициенты c и b мы должны вставить, опредѣливъ ихъ по таблицѣ III.

Произведя вычисленія, получимъ:

$$\text{tg } \beta = 0,151; \quad \beta = 8^\circ 40'$$

Скорость по траекторіи $V' = 11,70$

Вертикальная составляющая скорости . $V_v = 1,80$

Горизонтальная составляющая скорости $V_h = 11,60$

При такой незначительной вертикальной скорости спускъ на землю не представляет затрудненій и для плавнаго соприкосновенія съ землею потребуетъ только очень небольшое увеличеніе угла наклоненія поддерживающей поверхности.

Поворотъ аппарата. Положимъ, что мы для поворота аппарата располагаемъ силою тяги двигателя равной 80 клгр.; производя поворотъ по первому способу, т. е. съ боковымъ наклоненіемъ аппарата, для аэроплана, имѣющаго вогнутыя поддерживающія поверхности, будемъ имѣть:

Радіусъ поворота	$x = 46$ м.
Наклонъ аппарата	$\gamma = 21^\circ, \operatorname{tg} \gamma = 0,379$
Скорость по кривой	$V' = 12$ м.
Смѣщеніе центра давленія .	$OO' = 0,27$ м.
Компенсирующее перемѣ- щеніе авіатора	$d = 1,80$ м.

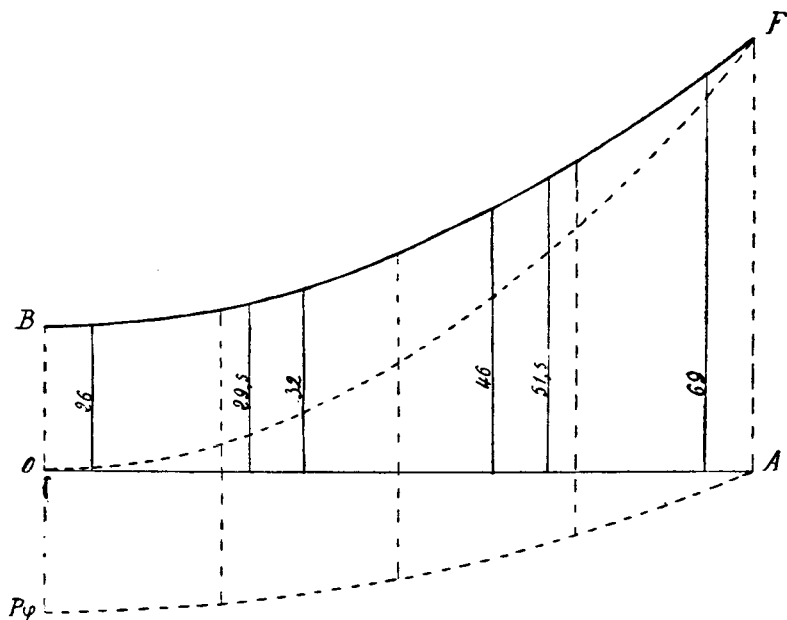
Опусканіе аппарата въ данномъ случаѣ не будетъ имѣть мѣста, такъ какъ вредныя сопротивленія, являющіяся слѣдствіемъ дѣйствія руля направленія, вспомогательныхъ поверхностей или слѣдствіемъ измѣненія угла наклоненія главныхъ поддерживающихъ поверхностей будутъ компенсированы увеличеніемъ силы тяги двигателя до 80 клгр., что представляется возможнымъ, такъ какъ мы располагаемъ значительнымъ излишкомъ мощности двигателя.

Производя скользящій поворотъ, т. е. такой, при которомъ аппаратъ остается все время въ горизонтальномъ положеніи, при силѣ тяги двигателя въ 80 клгр. и въ 100 клгр., мы будемъ имѣть:

	$F' = 80$ клгр.	$F' = 100$ клгр.
Радіусъ поворота	$x = 200$ м.	$x = 106$ м.
Уголъ между касательной къ троекторіи и осью двигателя	$\beta = 18^\circ; \cos \beta = 0,95.$	$\beta = 40^\circ 30'; \cos \beta = 0,76$
Скорость по кривой	$V = 11,75$ м.	$V = 11,75$ м.
Смѣщеніе центра давленія .	$OO' = 0,043$ м.	$OO' = 0,09$ м.
Компенсирующее пере- мѣщеніе авіатора	$d = 0,290$ м.	$d = 0,600$ м.

Полученныя нами цифры показываютъ, что при радиусѣ поворота близкомъ къ 50 м., какъ наклоненіе аппарата, такъ и смѣщеніе центра давленія являются настолько значительными, что компенсировать ихъ представляется довольно затруднительнымъ, при радиусѣ же поворота въ 100 м. это сдѣлать очень легко.

Взлетъ аппарата. Чтобы аппаратъ могъ отдѣлиться отъ земли, мы располагаемъ силою тяги двигателя равную 110 клгр., которую мы считаемъ постоянной.



Чер. 25.

Предполагая, что аппаратъ поставленъ на колеса, мы можемъ взять коэффициентъ $\varphi = 0,05$ — эта величина относится къ сухой поверхности земли. На основаніи этихъ данныхъ мы можемъ вычертить кривыя аналогичныя изображеннымъ на чертежѣ 19-омъ, которыя позволяютъ намъ найти среднее усиліе F_m сопротивленія аппарата поступательному движенію во время пробѣга (черт. 25).

$$F_m = 40 \text{ клгр.},$$

откуда расстояние, которое долженъ пройти аппаратъ прежде, чѣмъ онъ отдѣлится отъ земли, будетъ равно:

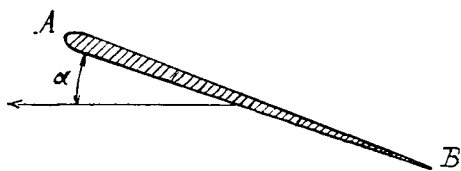
$$E = \frac{500 \times 11,75^2}{2 \times 9,81 \times 70} = 50 \text{ м.}$$

Вліяніе высоты. Если аппаратъ долженъ быть въ состояніи достигъ высоты въ 1500 м., то мощность двигателя, какъ мы это видѣли раньше, должна быть увеличена въ 1,33 раза, т. е. вмѣсто 29 индикаторныхъ силъ, мы должны располагать двигателемъ приблизительно въ

$$29 \times 1,33 = 38,5 \text{ индик. силъ,}$$

что дастъ намъ возможность на высотѣ 1500 м. совершать полеты и всевозможныя маневрированія съ такою же легкостью, какъ и на высотѣ нѣсколькихъ метровъ отъ земли.

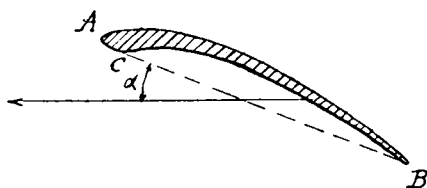
Замѣчанія. Изъ только что рассмотрѣннаго нами примѣра мы видимъ какія значительныя преимущества, по опытнымъ даннымъ Лилиенталя, представляютъ вогнутыя поверхности со стрѣлкой погиби въ $\frac{1}{12}$ въ смыслѣ уменьшенія мощности двигателя, скорости, а вмѣстѣ съ тѣмъ и длины пробѣга при взлетѣ.



Чер. 26.

Было замѣчено, что плоскія поверхности, имѣющія болѣе толстый передній край представляютъ меньшее сопротивление поступательному движенію, вслѣдствіе чего переднему краю поддерживающей поверхности аэроплана выгодно придавать форму подобную той, которая указана на чертежѣ 26-мъ.

Крылья птицы не представляют собою круглых цилиндрических поверхностей,—радиус кривизны ихъ постепенно уменьшается при приближеніи къ переднему краю (черт. 27) и вслѣдствіе этого кривая СВ не имѣетъ оси симметріи.



Чер. 27.

Надо полагать, что для такихъ поверхностей, при небольшомъ углѣ наклоненія, направленіе сопротивленія R еще болѣе приближается къ вертикали, чѣмъ при поверхностяхъ симметричныхъ, вслѣдствіе чего для той же поддерживающей силы сопротивленіе поступательному движению будетъ значительно меньше.

Крыло птицы представляетъ примѣръ поверхности, у которой передній край толще чѣмъ задній, можно не сомнѣваться въ томъ, что, придавая поддерживающей поверхности аэроплана съ возможной точностью именно такую форму, можно достигнуть еще лучшихъ результатовъ, чѣмъ тѣ, которые въ настоящее время получены при помощи поверхностей симметричныхъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что для вогнутыхъ поверхностей измѣненія угла между направлениемъ сопротивленія R и вертикалью болѣе чувствительно при малыхъ углахъ наклоненія поддерживающихъ поверхностей, на основаніи чего мы и думаемъ, что представляется болѣе выгоднымъ измѣнять боковой наклонъ аппарата при помощи измѣненія угла наклоненія поддерживающихъ поверхностей, чѣмъ при помощи какихъ либо другихъ приспособленій.

Кромѣ того, если уголъ поддерживающихъ поверхностей можетъ быть измѣняемъ, то при подъемѣ аппарата съ земли мы можемъ воспользоваться большимъ угломъ наклоненія, что уменьшить длину пробѣга; дѣлая же уголъ наклоненія меньше мы можемъ заставить аппаратъ пере-

мѣщаться съ большей скоростью, при томъ же, или почти при томъ же, расходѣ полезной работы.

Такимъ образомъ, это позволить намъ въ извѣстныхъ предѣлахъ измѣнять по желанію скорость нашего аппарата.

Мы надѣемся, что опыты оправдаютъ наши выводы.

ГЛАВА VI.

Геликоптеры.

I. Поддерживающіе винты.

Нѣкоторые произведенные опыты. Какъ мы уже говорили во введеніи, идея геликоптера относится еще ко времени Леонардо да Винчи, но протекли столѣтія, прежде чѣмъ чело-вѣкъ достигъ того, что можетъ подниматься при помощи аппаратовъ такого рода.

Изъ многочисленныхъ опытовъ произведенныхъ съ не-большими моделями, мы упомянемъ слѣдующіе: опыты Ло-нея и Бьенвеню въ 1784 г., Саулеу въ 1796 г., Филиппса въ 1842 г., Марка Сегвина въ 1846 г., Понтон-д'Амекура въ 1863 г., Пено въ 1860 г. и др.

Это были все простые лабораторные опыты, произве-денные съ моделями очень небольшихъ размѣровъ, кото-рыя скорѣе можно назвать физическими приборами. Въ то время мощность двигателей была слишкомъ мала сравни-тельно съ ихъ вѣсомъ, что не позволяло построить аппа-ратовъ настолько большихъ размѣровъ, что бы они могли поднимать полезный грузъ,

Какъ въ исторіи аэроплана, такъ и въ исторіи гели-коптера съ появленіемъ легкихъ двигателей сдѣланъ боль-шой шагъ впередъ.

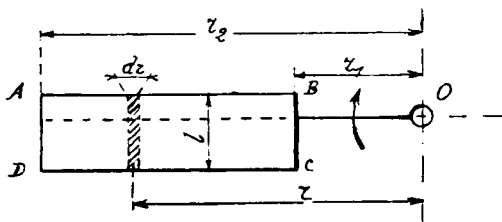
Особенно извѣстны опыты Леже, Корню и Бреге-Рише; однако еще до сихъ поръ не было получено вполне удо-влетворительныхъ результатовъ, которые бы предвѣщали успѣхъ геликоптера.

Дѣйствіе поддерживающихъ винтовъ при равновѣсіи аппа-рата. Въмѣсто того, чтобы перемѣщать наклонную плоскость прямолинейно, какъ мы дѣлали это въ аэропланѣ, мы мо-жемъ заставить подобную плоскость вращаться около вер-

тикальной оси. Вслѣдствіе того, что эта плоскость будетъ имѣть нѣкоторый уголъ наклоненія по отношенію къ своей круговой траекторіи, появятся усилія аналогичныя тѣмъ, которыя мы имѣли въ аэропланѣ, а именно, вертикальное давленіе направленное снизу вверхъ и горизонтальное сопротивленіе вращательному движенію.

Такъ какъ при одной плоскости аппаратъ не былъ бы устойчивъ, то мы возьмемъ нѣсколько такихъ плоскостей, вращающихся около одной и той же оси и расположенныхъ одна противъ другой, такъ чтобы онѣ взаимно уравновѣшивали другъ друга.

Такого рода винтъ, испытывая сопротивленіе вращательному движенію, передаетъ его аппарату, на которомъ онъ установленъ и заставитъ послѣдній вращаться въ направленіи обратномъ тому, въ которомъ вращается самъ винтъ. Во избѣжаніе этого каждый аппаратъ долженъ имѣть по крайней мѣрѣ два винта, вращающіеся въ противоположныя стороны—насаженные на одну и ту же или на двѣ параллельныя оси.



Черт. 28.

Положимъ, что пластинка ABCD (черт. 28) наклонена подъ нѣкоторымъ угломъ α къ плоскости вращенія, которое совершается около оси O. Назовемъ черезъ l ширину пластинки, черезъ r_2 радиусъ внѣшней окружности, описываемой пластинкой, черезъ r_1 —радиусъ внутренней и пусть n есть число оборотовъ пластинки въ секунду. Разсмотримъ элементъ поверхности dr , которому соотвѣтствуетъ радиусъ r .

Скорость перемѣщенія этого элемента поверхности равна:

$$V = 2\pi r n.$$

Примѣняя формулу, опредѣляющую вертикальную составляющую сопротивленія наклонной пластинки, будемъ имѣть:

$$dQ = K' \cdot l \cdot dr \cdot (2\pi rn)^2 \cdot f(x).$$

Интегрируя послѣднее выраженіе въ предѣлахъ между r_1 и r_2 , мы будемъ имѣть общую вертикальную реакцію пластинки или лопасти:

$$Q = f(x) \cdot K' \cdot l \cdot 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot \frac{r_2^3 - r_1^3}{3} \dots \dots (1)$$

Точки приложенія элементарныхъ сопротивленій лежатъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ передняго края пластинки, которое зависитъ отъ угла наклоненія пластинки и ея ширины. Очевидно, что въ данномъ случаѣ, онѣ расположатся по прямой.

Точка приложенія ихъ равнодѣйствующей будетъ находиться на той же прямой, разстояніе же ея отъ оси, можетъ быть опредѣлено при помощи выраженія (1). *) Это выраженіе, которое мы назовемъ радиусомъ центра давленія лопасти, будетъ имѣть слѣдующую величину:

$$\rho = \sqrt{\frac{r_2^3 - r_1^3}{3(r_2 - r_1)}} = \sqrt{\frac{1}{3}(r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2)}$$

Зная величину ρ , мы можемъ считать, что всѣ точки лопасти имѣютъ одну и ту же скорость, а именно, скорость центра давленія лопасти, которая равна: $V = 2\pi n \rho$; на основаніи этого, обозначая площадь лопасти черезъ S , будемъ имѣть слѣдующую величину вертикальной составляющей Q :

$$Q = f(x) \cdot K' \cdot S \cdot 4 \pi^2 \cdot n^2 \cdot \rho^2,$$

горизонтальная же составляющая сопротивленія, т. е. сопротивленіе вращательному движенію будетъ:

$$F = f_1(x) \cdot K' \cdot S \cdot 4 \pi^2 \cdot n^2 \cdot \rho^2,$$

а количество работы, которое должно быть затрачено,

$$T = f_1(x) \cdot K' \cdot S \cdot 8 \pi^3 \cdot n^3 \cdot \rho^3.$$

*) Сравнивая выраженіе (1) съ основной формулой сопротивленія и замѣчая, что $S = l(r_2 - r_1)$ Прим. ред.

Очевидно, что эта величина въ дѣйствительности должна быть нѣсколько больше, вслѣдствіе лобового сопротивленія вращательному движенію самаго винта.

Множители $f(x)$ и $f_1(x)$ по своему смыслу тождественны коэффиціентамъ b и c , приведеннымъ въ таблицахъ I и III; они зависятъ отъ вида поверхности лопасти и точныя величины ихъ должны быть опредѣлены изъ опытовъ.

Коэффиціентъ K' будетъ имѣть меньшую величину, чѣмъ K , хотя въ главѣ объ ортоптерѣ мы и говорили, что центробѣжная сила увеличиваетъ коэффиціентъ сопротивленія, но въ данномъ случаѣ вращающаяся поверхность перемѣщается не по направленію своей нормали, какъ въ системѣ ортоптера, а рѣжетъ воздухъ своимъ ребромъ, имѣя только небольшой уголъ наклоненія, вслѣдствіе чего окружающій воздухъ, вовлеченный во вращательное движеніе подѣ дѣйствіемъ центробѣжной силы будетъ перемѣщаться по направленію радіуса и благодаря этому воздушный потокъ будетъ имѣть по отношенію къ переднему ребру лопасти нѣкоторое наклонное направленіе, что въ результатѣ равносильно уменьшенію угла наклоненія лопасти и влечетъ за собою уменьшеніе величины сопротивленія.

Коэффиціентъ K' значительно измѣняется съ измѣненіемъ скорости вращенія винта и зависитъ отъ угла наклоненія лопасти и формы ея поверхности. Его величина можетъ быть опредѣлена исключительно только опытнымъ путемъ, однако, не трудно предвидѣть, что значеніе ея будетъ больше при меньшей скорости вращенія и что снабжая лопасти ребрышками, идущими въ направленіи вращенія, можно до нѣкоторой степени уменьшить перемѣщеніе воздуха по направленію радіуса и тѣмъ увеличить коэффиціентъ сопротивленія K' .

Для первоначальнаго подсчета величину K' можно принимать равной 0,08.

Чѣмъ больше отношеніе $\frac{r_1}{r_2}$, тѣмъ больше зависимость отъ угла наклоненія приближается къ тому случаю, когда пластинка перемѣщается прямолинейно. Чтобы избѣжать, однако, чрезмѣрнаго увеличенія діаметра винта, слѣдуетъ брать r_1 равнымъ, приблизительно, одной трети отъ r_2 и

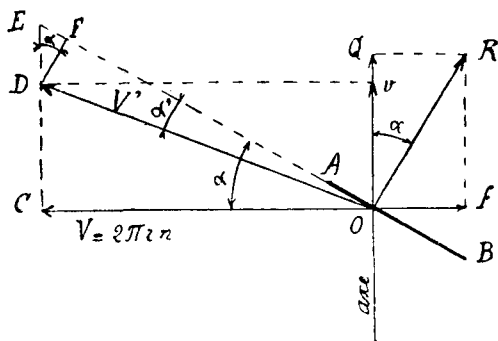
такъ какъ ширина лопасти должна быть не болѣе одной трети длины, то мы будемъ имѣть, приблизительно, слѣдующія значенія r_1 и l выраженные черезъ r_2 .

$$r_1 = \frac{r_2}{3}; \quad l = \frac{r_2}{5}$$

Вставляя принятую нами величину r_1 въ выраженіе радиуса центра давленія лопасти, получимъ:

$$\rho = 0,693 r_2.$$

Дѣйствіе поддерживающихъ винтовъ во время поднятія. Въ предыдущемъ параграфѣ мы разсматривали дѣйствіе воздушнаго винта, уравнивающего нѣкоторый вѣсъ, при чемъ винтъ не имѣлъ перемѣщенія по направленію своей оси; въ томъ случаѣ, когда такое перемѣщеніе существуетъ, на примѣръ, при подъемѣ аппарата, уголъ наклоненія воздушнаго потока, дѣйствующаго на лопасть, уменьшается.



Чер. 29.

Пусть AB (черт. 29) есть сѣченіе лопасти, V — скорость разсматриваемой точки лопасти и v — скорость поступательнаго движенія винта по направленію его оси. Разсматриваемая точка O будетъ имѣть по отношенію къ воздуху нѣкоторую равнодѣйствующую скорость V' , получающуюся отъ сложенія скоростей V и v и, слѣдовательно, равную: $V' = \sqrt{V^2 + v^2}$, а направленіе ея будетъ совпадать съ діагональю прямоугольника $OCdv$, построеннаго на слагающихъ скоростяхъ. Уголъ, подъ которымъ на лопасть будетъ дѣйствовать воздушный потокъ, образуемый направленіемъ сѣ-

ченія лопасти и направлениемъ скорости точки O , который обозначенъ на чертежѣ буквою α' , будетъ, очевидно, меньше α — угла наклоненія лопасти къ плоскости перпендикулярной оси винта или, другими словами, угла подъ которымъ дѣйствовалъ бы воздушный потокъ на лопасть въ томъ случаѣ, если бы винтъ не имѣлъ поступательнаго движенія по направленію своей оси.

Чтобы опредѣлить величину α' , продолжимъ линіи AB и CD до ихъ пересѣченія въ точкѣ E и изъ D опустимъ перпендикуляръ DF на линіи OE . Изъ треугольника ODF мы будемъ имѣть:

$$\sin \alpha' = \frac{DF}{OD}$$

Съ другой стороны, изъ треугольника DEF мы имѣемъ: $DF = DE \cos \alpha$, вслѣдствіе чего:

$$\sin \alpha' = \frac{DE \cos \alpha}{OD},$$

но $DE = CE - CD = V \operatorname{tg} \alpha - v$, а $OD = V' = \sqrt{V^2 + v^2}$, вставляя эти величины въ выраженіе $\sin \alpha'$, получимъ:

$$\sin \alpha' = \frac{(V \operatorname{tg} \alpha - v) \cos \alpha}{\sqrt{V^2 + v^2}}$$

Послѣднее выраженіе показываетъ, что, при $v = 0$, $\alpha' = \alpha$, и что α' обращается въ нуль при $v = V \operatorname{tg} \alpha$. Такимъ образомъ, скорость перемѣщенія винта по направленію оси должна быть всегда меньше величины $V \operatorname{tg} \alpha$, такъ какъ въ противномъ случаѣ, воздушный потокъ не будетъ имѣть съ поверхностью лопасти необходимаго угла наклоненія, безъ чего не можетъ имѣть мѣста и перемѣщеніе винта по направленію оси.

Если v остается постоянной, то α' обращается въ нуль при $V = \frac{v}{\operatorname{tg} \alpha}$ и увеличивается съ увеличеніемъ V , съ другой стороны мы знаемъ, что скорость разсматриваемой точки равна $2 \pi r n$, т. е. пропорціональна радіусу r .

Въ результатѣ, если уголъ образуемый поверхностью лопасти съ плоскостью перпендикулярной оси винта имѣетъ

постоянную величину, то угол дѣйствія воздушнаго потока будетъ уменьшаться отъ периферіи къ центру и будетъ равенъ нулю при $r = \frac{v}{2\pi n \operatorname{tg} \alpha}$. Всѣ элементы поверхности, лежащіе ближе къ оси вращения, будутъ имѣть отрицательный уголъ наклона, т. е. реакція воздуха на лопасть будетъ имѣть обратное направленіе.

Мы видимъ, такимъ образомъ, что конструкцію винта, лопасти котораго по всей своей ширинѣ наклонены подъ однимъ и тѣмъ же угломъ къ плоскости перпендикулярной оси винта, нельзя назвать рациональной, такъ какъ элементы поверхности лопасти, въ зависимости отъ удаленія ихъ отъ оси вращения имѣютъ различныя скорости и потому ихъ дѣйствіе будетъ не одинаково въ медленно вращающихся частяхъ винта близъ оси и въ быстро вращающихся близъ периферіи.

Реакція, нормальная къ поверхности лопасти, имѣетъ вертикальную составляющую равную:

$$Q = R \cos \alpha$$

и горизонтальную составляющую, которая представляетъ сопротивленіе вращательному движенію:

$$f = R \sin \alpha = Q \operatorname{tg} \alpha$$

При чемъ надо замѣтить, что обѣ составляющія зависятъ отъ R , а слѣдовательно, отъ угла, подъ которымъ дѣйствуетъ на лопасть воздушный потокъ и не могутъ быть опредѣлены, если извѣстенъ только уголъ наклона лопасти къ плоскости перпендикулярной оси вращения.

Величина R равна:

$$R = f(\alpha') K' S (4\pi^2 n^2 \rho^2 + v^2),$$

а количество работы, которое должно быть затрачено на вращеніе винта, равно:

$$T = f(\alpha') \sin \alpha K' S (8\pi^3 n^3 \rho^3 + 2\pi n \rho v^2)$$

Обозначая скорость вращения центра давленія лопасти черезъ V и полагая, что поступательная скорость винта по направленію оси v равна нѣкоторой части отъ V , т. е.:

$$v = \frac{V}{m},$$

будемъ имѣть:

$$R = f(\alpha') K' S V^2 \left(\frac{m^2 + 1}{m^2} \right)$$

$$T = f(\alpha') \sin \alpha K' S V^3 \left(\frac{m^2 + 1}{m^2} \right)$$

$$n = \frac{V}{2\pi\rho}.$$

Уголъ дѣйствія воздушнаго потока въ центрѣ давленія лопасти будетъ имѣть слѣдующую величину:

$$\sin \alpha' = \frac{\cos \alpha (m \operatorname{tg} \alpha - 1)}{\sqrt{m^2 + 1}}$$

Слѣдуетъ помнить, что во всѣхъ выше приведенныхъ формулахъ коэффициентъ $f(\alpha')$ есть ни что иное, какъ множитель (a), помѣщенный въ таблицахъ I и III.

Вертикальная сила Q во всякомъ случаѣ должна быть больше вѣса аппарата P на величину равную (лобовому) сопротивленію воздуху различныхъ частей аппарата во время подъема.

Эта разность $Q - P = p$ представляетъ собою подъемную силу, величина которой зависитъ отъ скорости вращенія винтовъ и отъ ихъ размѣровъ.

Если въ тотъ моментъ, когда аппаратъ отдѣляется отъ земли, его винты имѣютъ постоянную угловую скорость, вертикальная сила будетъ больше Q . Обозначимъ ее черезъ Q' .

$$Q' = Q + q.$$

Это прибавочное усиліе q будетъ уменьшаться по мѣрѣ того, какъ будетъ увеличиваться скорость V и когда послѣдняя достигнетъ нѣкоторой опредѣленной величины, сила q будетъ равна нулю.

Отъ величины силы q зависитъ та высота, на которую поднимается аппаратъ прежде, чѣмъ онъ достигнетъ требующейся скорости v . Называя эту высоту черезъ e , мы

можемъ написать слѣдующее выраженіе, приблизительно опредѣляющее ея величину:

$$e = \frac{Pv^2}{gq}.$$

Если усиліе q достаточно велико, то это разстояніе будетъ пройдено со скоростью большей чѣмъ V , и получится такое впечатлѣніе, что аппаратъ чуть ли ни мгновенно достигаетъ высоты e .

Однако, во время подъема аппарата съ земли слѣдуетъ заставить винты сначала вращаться медленно и увеличивать ихъ скорость постепенно до тѣхъ поръ, пока число оборотовъ ни достигнетъ желаемого.

Чтобы аппаратъ оставался въ равновѣсіи на нѣкоторой одной и той же высотѣ, число оборотовъ винтовъ должно быть уменьшено въ отношеніи:

$$\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{Q-p}{Q+q}} = \sqrt{\frac{P}{Q+q}},$$

при этомъ уголъ дѣйствія воздушнаго потока на лопасть винта станетъ равнымъ опять углу α и винтъ будетъ находиться въ условіяхъ статическаго равновѣсія, разсмотрѣннаго въ предыдущемъ параграфѣ.

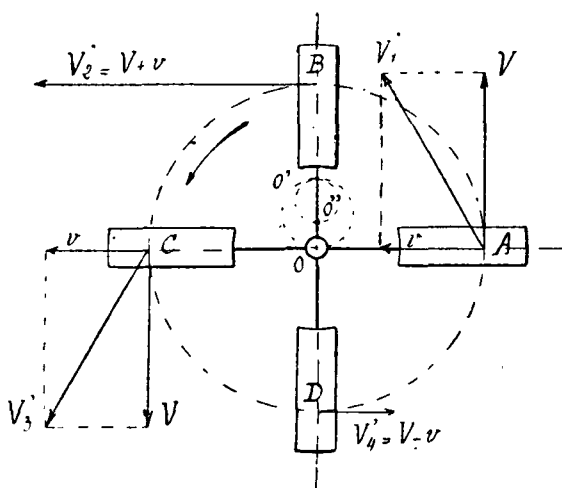
Дѣйствіе поддерживающаго винта при существованіи горизонтальной поступательной скорости. Сообщимъ поддерживающему винту, находящемуся подъ дѣйствіемъ нѣкотораго груза, горизонтальную поступательную скорость.

Пусть V — есть скорость вращенія центра давленія лопасти, v — горизонтальная поступательная скорость винта а точки А, В, С и D представляютъ четыре послѣдовательныя положенія центра давленія лопасти въ періодъ одного оборота, отличающіяся другъ отъ друга на четверть окружности (черт. 30). Лопасть во время своего вращательнаго движенія находится подъ дѣйствіемъ геометрической суммы двухъ скоростей, величина которой измѣняется въ зависимости отъ положенія центра давленія лопасти на описываемой имъ окружности.

Абсолютная скорость лопасти по отношенію къ воздуху будетъ:

$$\begin{array}{l} \text{въ точкѣ А: } V'_1 = \sqrt{V^2 + v^2} \\ \text{„ „ В: } V'_2 = V + v \\ \text{„ „ С: } V'_3 = V'_1 = \sqrt{V^2 + v^2} \\ \text{„ „ D: } V'_4 = V - v. \end{array}$$

Реакція лопасти, при углѣ дѣйствія воздушнаго потока, остающимся постояннымъ, зависитъ отъ квадратовъ этихъ скоростей, но въ точкахъ А и С направленіе абсолютной скорости наклонно къ переднему краю лопасти, что вле-



Чер. 30.

четъ за собою уменьшеніе угла дѣйствія воздушнаго потока въ отношеніи $\frac{V}{\sqrt{V^2 + v^2}}$, вслѣдствіе чего уменьшается въ томъ же отношеніи и реакція лопасти; не измѣняя дѣла, мы можемъ разсматривать, что это уменьшеніе реакціи происходитъ отъ уменьшенія въ томъ же отношеніи квадрата абсолютной скорости.

Такимъ образомъ, мы можемъ, приблизительно, считать, что въ теченіе одного оборота винта лопасть имѣетъ нѣкоторую среднюю скорость, квадратъ которой равенъ средней арифметической квадратовъ скоростей въ точкахъ А,

В, С и D и будемъ имѣть слѣдующую величину средней скорости вращения лопасти:

$$V_m^2 = \frac{V^2 + v^2 + V\sqrt{V^2 + v^2}}{2} *).$$

Мы видимъ, что эта средняя скорость больше чѣмъ V , а потому, чтобы аппаратъ оставался на одной и той же высотѣ необходимо уменьшить число оборотовъ винтовъ n въ отношеніи скоростей V и V_m . Обозначая черезъ n' число оборотовъ винтовъ, необходимое для того, чтобы аппаратъ оставался все время на одной и той же высотѣ, мы можемъ написать слѣдующее отношеніе:

$$\frac{n'}{n} = \frac{V\sqrt{2}}{\sqrt{V^2 + v^2} + V\sqrt{V^2 + v^2}}$$

Въ то же время слѣдуетъ замѣтить, что въ періодъ одного оборота величина реакціи лопасти измѣняется,—она имѣетъ наибольшее значеніе въ точкѣ В и наименьшее въ точкѣ D.

Въ томъ случаѣ, если винтъ состоитъ изъ двухъ лопастей, расположенныхъ по отношенію другъ къ другу подъ угломъ 180° , равнодѣйствующая реакцій этихъ двухъ лопастей, когда онѣ находятся въ положеніи А и С, будетъ приложена въ точкѣ О, но когда лопасти будутъ занимать положеніе В и D, точка приложенія равнодѣйствующей будетъ находиться въ O' , т. е. ближе къ точкѣ В, въ которой въ данномъ случаѣ приложена бѣльшая сила. За время

*) Принимая во вниманіе измѣненіе угла дѣйствія воздушнаго потока, т. е., что квадратъ абсолютной скорости въ точкахъ А и С измѣняется въ отношеніи $\frac{V}{\sqrt{V^2 + v^2}}$, мы будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} \text{въ точкѣ А: } V_1^2 &= V\sqrt{V^2 + v^2} \\ \text{„ „ В: } V_2^2 &= (V + v)^2 \\ \text{„ „ С: } V_3^2 &= V\sqrt{V^2 + v^2} \\ \text{„ „ D: } V_4^2 &= (V - v)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{откуда } V_m &= \frac{V\sqrt{V^2 + v^2} + (V + v)^2 + V\sqrt{V^2 + v^2} + (V - v)^2}{4} = \\ &= \frac{V^2 + v^2 + V\sqrt{V^2 + v^2}}{2}. \end{aligned}$$

Прим. ред.

одного полного оборота винта точка O' опишетъ кривую очень близкую къ окружности, диаметръ которой OO' .

Наибольшая величина разности реакцій лопастей будетъ пропорціональна $4 Vv$.

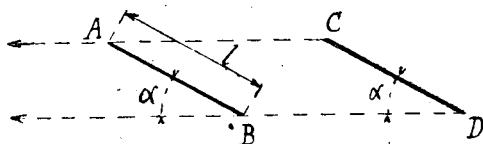
Въ виду измѣненія и точки приложенія и величины силы реакціи, лопасти и ось винта во время его движенія будутъ колебаться.

При четырехлопастномъ винтѣ перемѣщеніе точки приложенія равнодѣйствующей реакцій лопастей будетъ происходить по окружности діаметра $O'O''$; который значительно меньше, чѣмъ OO' , откуда видимъ, что это перемѣщеніе уменьшается съ увеличеніемъ числа лопастей винта.

Такимъ образомъ, является желательнымъ дѣлать у винтовъ большое число лопастей, хотя съ другой стороны, при опредѣленныхъ размѣрахъ винта, ихъ число не должно превосходить нѣкоторой максимальной величины,

Въ самомъ дѣлѣ, рассмотримъ двѣ пластинки AB и CD (чер. 31), которыя имѣютъ уголъ наклоненія α и перемѣщаются одновременно по одной и той же траекторіи съ съ одной и той же скоростью.

Для того, чтобы пластинка CD , расположенная позади пластинки AB , испытывала тоже самое сопротивленіе, какъ и послѣдняя, необходимо, чтобы воздухъ, возмущенный движеніемъ пластинки AB , имѣлъ время опять занять свое сто, т. е., другими словами, необходимо, чтобы между ѣими пластинками было достаточно большое разстояніе.



Чер. 31.

Величина этого разстоянія, очевидно, зависитъ отъ длины пластинокъ, отъ ихъ угла наклоненія и отъ ихъ скорости.

Если скорость края лопасти, ближайшаго къ оси вращенія не превосходитъ 15 м. въ сек., то удаленіе лопастей другъ отъ друга, считая по этой окружности, можетъ быть взято приблизительно слѣдующее:

$$e = l (3 \sin \alpha + \cos \alpha).$$

Поддерживающій винтъ представляетъ нѣкоторое сопротивленіе горизонтальному поступательному движенію.

Въ точкахъ А и С (фиг. 30) величина сопротивленія по направленію V' будетъ пропорціональна V'^2 , а его составляющая по направленію v пропорціональна $\frac{V'^2 \times v}{V'}$, принимая же во вниманіе измѣненіе угла дѣйствія воздушнаго потока, мы находимъ, что сопротивленіе горизонтальному поступательному движенію въ этихъ точкахъ пропорціонально Vv . *).

Въ точкѣ В сила сопротивленія будетъ пропорціональна $(V + v)^2$, а въ точкѣ D сила эта будетъ отрицательна, такъ какъ направлена въ противоположную сторону и будетъ пропорціональна $(V - v)^2$.

Взявъ среднюю величину силы сопротивленія поступательнаго движенія за полный оборотъ лопасти мы найдемъ, что она приблизительно пропорціональна $\frac{3Vv}{2}$ **), откуда количество работы, которое надо затратить, чтобы побѣдить сопротивленіе поступательному движенію поддерживающаго винта будетъ:

$$T' = f_1(x) \text{ К. S. } \frac{3Vv^2}{2}$$

Количество работы, затрачиваемое на вращеніе поддерживающаго винта, какъ мы знаемъ, равно $T = f_1(x) K'SV^3$, а потому мы можемъ написать слѣдующее отношеніе

$$\frac{T'}{T} = \frac{3v^2 \cdot K}{2V^2 \cdot K'}$$

Чтобы получить общее количество работы, которое должно быть затрачено при поступательномъ перемѣщеніи аппарата, количество работы T' должно быть увеличено на нѣкоторую величину представляющую работу, которую надо

*) $\frac{V'^2 \times v}{V'}$ должно быть уменьшено въ отношеніи $\frac{V}{\sqrt{V^2 + v^2}}$,

откуда $V'v \times \frac{V}{\sqrt{V^2 + v^2}} = Vv$, такъ какъ $V' = \sqrt{V^2 + v^2}$ Прим. ред.

**) $\frac{2Vv + (V + v)^2 - (V - v)^2}{4} = \frac{3Vv}{2}$.

Прим. ред.

затратить, чтобы побѣдить лобовое сопротивленіе самого аппарата. Обозначая черезъ s площадь, эквивалентную сопротивленію поступательному движенію самого аппарата, мы можемъ написать слѣдующую формулу, выражающую полное количество работы:

$$T_t = K v^2 \left(f_1(x) \frac{S3V}{2} + sv \right)$$

Итакъ, мы нашли, что лопасти и оси поддерживающихъ винтовъ геликоптера, во время поступательнаго перемѣщенія, должны испытывать вибраціи и нѣкоторыя изгибающія усилія; это приводитъ къ серьезнымъ затрудненіямъ въ томъ случаѣ, когда хотятъ сообщить геликоптеру значительную поступательную скорость; во всякомъ случаѣ, при расчетѣ различныхъ частей аппарата надо всегда имѣть въ виду изгибающія усилія при самыхъ невыгодныхъ условіяхъ работы винтовъ.

Число лопастей винта. Разстояніе, на которомъ должны находиться между собою лопасти винта, было уже приблизительно нами опредѣлено; это разстояніе между лопастями и служить для опредѣленія ихъ числа, при заданномъ радиусѣ r_1 —окружности описываемой концомъ лопасти, ближайшемъ къ оси вращенія, при заданныхъ ширинѣ лопасти l и углѣ наклоненія α .

Принимая относительные размѣры, найденные нами выше: $r_1 = \frac{r_2}{3}$ и $l = \frac{r_2}{5}$, мы можемъ найти число лопастей винта x , въ зависимости отъ угла наклоненія *):

$$x = \frac{10\pi}{3(3 \sin \alpha + \cos \alpha)}$$

Принимая ближайшее меньшее цѣлое число, по послѣдней формулѣ получимъ:

$$\alpha = 4^\circ \quad 6^\circ \quad 8^\circ \quad 10^\circ$$

$$x = 8 \quad 6 \quad 6 \quad 6$$

$$\begin{aligned} *) \quad x &= \frac{2\pi r_1}{e} = \frac{2\pi r_2}{e \cdot 3} = \frac{2\pi \cdot 5l}{e \cdot 3} = \frac{2\pi \cdot 5l}{l(3 \sin \alpha + \cos \alpha \cdot 3)} = \\ &= \frac{10\pi}{3(3 \sin \alpha + \cos \alpha)} \end{aligned}$$

Прим. ред.

Отсюда мы видимъ, что винты, при взятыхъ нами соотношеніяхъ, должны имѣть въ большинствѣ случаевъ не больше 6 лопастей, такъ какъ уголъ наклоненія, въ цѣляхъ уменьшенія скорости вращенія, а вмѣстѣ съ тѣмъ и центробѣжной силы, берется обыкновенно равнымъ 8° — 10° .

Такъ какъ форма поверхности лопастей можетъ также вліять на число ихъ, то, если къ этому представляется возможность, слѣдуетъ предварительно произвести испытанія.

Сопротивленіе лопасти винта. Съ точки зрѣнія сопротивленія лопасть винта, имѣющая одну и ту же ширину по всей своей длинѣ, является неудобной, такъ какъ сопротивленіе ея увеличивается отъ центра къ периферіи, поэтому предпочтительнѣе дѣлать лопасти винта болѣе широкими около оси вращенія и болѣе узкими у концовъ. При такой формѣ лопасти, она будетъ во время дѣйствія винта болѣе равномерно нагружена, и центръ давленія ея будетъ находиться ближе къ оси вращенія, вслѣдствіе чего будетъ меньше изгибающій моментъ.

Для того, чтобы винтъ могъ урановѣсить значительный грузъ имѣя не слишкомъ большую скорость вращенія, его поверхность должна быть довольно велика.

Лопасті винта геликоптера для легкости дѣлаются обыкновенно также, какъ и поддерживающія поверхности аэроплана, т. е. представляютъ собою раму обтянутую матеріей. Такая лопасть можетъ вполне выдерживать на грузу въ 25 клгр. на кв. метръ.

Въ двойныхъ винтахъ лопасти должны также находиться на достаточномъ разстояніи однѣ надъ другими, чтобы движеніе верхняго винта не ухудшало дѣйствія нижняго. Рамы лопастей могутъ быть снабжены распорками и растяжками что даетъ конструкцію весьма прочную и въ тоже время легкую. Однако, слѣдуетъ остерегаться, чтобы подобная конструкція не увеличила сильно лобового сопротивленія лопасти, что повлечетъ за собою значительное увеличеніе количества работы, расходуемаго на вращеніе винта.

Слѣдуетъ замѣтить, что лопасть винта должна быть присоединена къ стержню по линіи, на которой находится

ея центръ давленія лежащей, какъ известно, на постоянни равномъ l ($0,2 + 0,3 \sin \alpha$) отъ передняго ребра лопасти.

Размѣры винта. Выше нами уже были указаны отношенія между шириной лопасти винта и радиусами внѣшней и внутренней окружностей, описываемыхъ лопастью; пользуясь этими соотношеніями мы можемъ написать слѣдующую формулу, выражающую площадь лопасти *):

$$s = \frac{2}{15} r_2^2.$$

Принимая, что винтъ имѣетъ 6 лопастей, мы будемъ имѣть общую поверхность ординарнаго винта:

$$S = 0,8 r_2^2.$$

Допуская нагрузку лопасти въ 20 клгр. на квадр. метръ, мы найдемъ, что каждый ординарный винтъ можетъ поднять вѣсъ равный:

$$p = 16 r_2^2.$$

Диаметръ винта, т. е. $2 r_2$, обыкновенно берется не больше 6—7 м., скорость же вращенія опредѣляется величиною поверхности лопастей, величиною ихъ угла наклоненія и поддерживаемымъ грузомъ.

Въ цѣляхъ достиженія возможной легкости всей конструкціи, выгодно дѣлать возможно меньшее число поддерживающихъ винтовъ, при чемъ, однако, размѣръ ихъ не долженъ превосходить предѣльнаго, который былъ указанъ выше. Это также уменьшить количество работы, поглощаемое треніемъ и несовершенствомъ передачи.

Числовой примѣръ. Положимъ, что намъ надо уравновѣсить при помощи геликоптера грузъ равный 500 клгр., т. е. тотъ самый грузъ, условія поддерживанія котораго

*) Зная, что $r_1 = \frac{r_2}{3}$ и $l = \frac{r_2}{5}$, найдемъ: $s = l (r_2 - r_1) = \frac{2}{15} r_2^2$

при помощи ортоптера и аэроплана были уже нами найдены.

Возьмемъ 4 ординарныхъ винта или 2 двойныхъ съ 6-ю лопастями каждый.

Допускаемую нагрузку примемъ равной 20 клгр. на кв. м.

Пользуясь послѣдней формулой предыдущаго параграфа, будемъ имѣть:

$$4 \cdot 16 r_2^2 = 500 \text{ клгр.}$$

откуда—

$$r_2 = \sqrt{\frac{500}{64}} = 2,795 \text{ м.}; \text{ беремъ: } r_2 = 2,800 \text{ м.}$$

Эта величина приемлема, такъ какъ не превышаетъ предѣльной.

Остальные размѣры найдутся по формуламъ:

$$r_1 = 0,940 \text{ м}; l = 0,560 \text{ м}; p = 1,940 \text{ м. } S = 25 \text{ кв. м.}$$

Уголъ наклоненія лопасти примемъ равнымъ 8° , а уголъ дѣйствія воздушнаго потока при подъемѣ аппарата будемъ считать равнымъ 6° .

Положимъ, что для нашего аппарата плоскость, эквивалентная сопротивленію воздуха при подъемѣ, равна 10 кв. м. (кстати сказать, это есть поверхность сложеннаго парашюта, необходимость котораго мы увидимъ ниже).

Такимъ образомъ, сопротивленіе воздуха вертикальному движенію аппарата равно $K 10 \cdot v^2$ или, принимая $K = 0,1$, получимъ: $1 \cdot v^2$. Поддерживающая сила вслѣдствіе этого должна быть равна:

$$Q = 500 + v^2.$$

Принимая,

$$v = V \operatorname{tg} 2^\circ = 0,035 V$$

откуда—

$$m = \frac{V}{v} = 28,6,$$

а такъ какъ нормальное сопротивленіе K равно $\frac{Q}{\cos \alpha}$, то мы можемъ написать слѣдующее равенство:

$$\frac{500 + 0,001225 V^2}{\cos 8^\circ} = \left[f(\alpha) \right]_{\alpha=6^\circ} \times 0,08 \times 25 \times V^2 \times \frac{28,6^2 + 1}{28,6^2},$$

изъ котораго опредѣлится величина скорости вращения винтовъ V , а зная послѣднюю, мы можемъ найти величину полезной работы.

Ниже мы сопоставимъ результаты, получающіеся при плоскихъ лопастяхъ и при лопастяхъ, имѣющихъ симметричную вогнутую поверхность со стрѣлкой погиби равной

$\frac{1}{12}$. Въ послѣднемъ случаѣ мы примемъ, что $\cos \alpha = \frac{b}{a}$

и $\sin \alpha = \frac{a}{c}$

Сопротивленіе ручекъ винта вращательному движенію взято равнымъ $0,08 V^2$, сопротивленіе же аппарата поступательному движенію примемъ равнымъ $0,17 v^2$, что соотвѣтствуетъ плоскости эквивалентной сопротивленію въ 1,5 кв. м. или цилиндрической поверхности въ 3 кв. м.

Разница въ той мощности, которую долженъ развивать двигатель при плоскихъ и при вогнутыхъ лопастяхъ позволить въ послѣднемъ случаѣ поднять грузъ, приблизительно, на 90 клгр. большій, что дастъ возможность вмѣсто одного человѣка поднять двухъ, если аппаратъ вмѣсто плоскихъ лопастей будетъ снабженъ лопастями вогнутыми.

<i>10. При подъемѣ аппарата.</i>	ВОГНУТЫЯ ЛОПАСТИ	
	ПЛОСКИЯ ЛОПАСТИ.	СО СТРЕЛКОЮ ПОГИБИ $\frac{1}{12}$.
Скорость вращения винтовъ	30 м.	18,60 м.
Число оборотовъ винтовъ въ секунду	2,46	1,53
Число оборотовъ винтовъ въ минуту	148	92
Скорость подъема аппарата	1,05 м.	0,65 м.
Работа, расходуемая на вращеніе винтовъ	2105 клгр. м.	1116 клгр. м.
Работа лобового сопротивленія аппарата	2160 " "	514 " "
Полное количество расходуемой работы	4265 " "	1630 " "
Мощность двигателя	57 инд. силъ	25,5 инд. силъ.

2°. При поступательномъ горизонтальномъ перемѣщеніи аппарата.

Поступательная скорость аппарата	10 м.	10 м.
Число оборотовъ поддержив. винтовъ въ сек.	2,36	1,39
Число оборотовъ поддержив. винтовъ въ мин.	142	84
Работа сопротивленія поступ. движенію поддержив. винтовъ	540 клгр. м.	570 клгр. м.
Работа лобового сопротивленія аппарата	170 " "	170 " "
Полное количество расходуемой работы	710 " "	740 " "
Мощность двигателя . . .	16 инд. силъ	16,5 инд. силъ
Полная мощность двигателя.	73 " "	42 " "

Мощность двигателя при подъемѣ аппарата опредѣлена, принимая коэффициентъ полезнаго дѣйствія равнымъ 0,85, а при горизонтальномъ перемѣщеніи аппарата тотъ же коэффициентъ принять равнымъ 0,60.

Изъ выше приведенныхъ цифръ мы видимъ, что работа сопротивленія вращательному движенію, затрачиваемая при винтахъ, снабженныхъ плоскими лопастями настолько значительна, что превосходитъ даже величину полезной работы. Причина этого заключается въ томъ, что винты съ плоскими лопастями должны имѣть большую скорость вращенія. Чтобы избѣжать этого можно увеличить число винтовъ, но съ другой стороны увеличеніе числа винтовъ влечетъ за собою увеличеніе ихъ общаго вѣса и уменьшеніе полезнаго груза.

Можно надѣяться, что примѣненіе лопастей винта, имѣющихъ несимметричную поверхность, съ утолщеннымъ переднимъ краемъ дастъ нѣсколько лучшіе результаты.

Вліяніе высоты при системѣ геликоптера будетъ, очевидно, совершенно такое же, какъ и при системѣ аэроплана, вслѣдствіе чего, если принимать въ расчетъ, что аппаратъ

долженъ совершать полеты на большихъ высотахъ, то сила двигателя должна быть соотвѣтственно увеличена.

При существующихъ техническихъ условіяхъ, если построить геликоптеръ изъ очень легкихъ матеріаловъ и поставить на него легкой и сильный двигатель, то человекъ можетъ держаться и перемѣщаться въ воздухѣ, но, какъ мы видѣли изъ разсмотрѣннаго нами примѣра, количество работы, затрачиваемое для поддерживанія одного и того же вѣса, при системѣ геликоптера гораздо больше, чѣмъ при системѣ аэроплана. Послѣдній можетъ развивать такія горизонтальныя скорости, какихъ геликоптеръ не можетъ достигъ, при чемъ части аэроплана не будутъ испытывать значительныхъ изгибающихъ и срѣзывающихъ усилій.

Вообще говоря, аппараты этого типа далеки еще отъ рѣшенія проблемы авіаціи.

Паденіе геликоптера. Въ томъ случаѣ, если двигатель вращающей поддерживающія винты геликоптера, почему бы то ни было остановится, аппаратъ, подъ дѣйствіемъ силы тяжести, начнетъ падать по вертикали, при чемъ, если поддерживающіе винты не могутъ имѣть вращенія въ направленіи, обратномъ тому, въ которомъ они обыкновенно вращаются, то скорость падающаго аппарата будетъ нѣсколько меньше въ зависимости отъ отношенія между его вѣсомъ и общей поверхностью лопастей винтовъ.

Если, на примѣръ, лопасти имѣютъ такую величину, что нагрузка ихъ на кв. метръ равна 20 клгр., то вертикальная скорость паденія будетъ постоянной при величинѣ равной: $V = \sqrt{\frac{20}{K}}$ *), принимая $K = 0,1$, будемъ имѣть $V = 14,14$ м. въ сек.

*) Падающее тѣло въ сопротивляющейся средѣ имѣетъ возрастающую скорость до тѣхъ поръ, пока сопротивленіе среды не будетъ равно его вѣсу; съ этого момента движеніе будетъ равномернымъ.

$P = KSV^2$ откуда $V = \sqrt{\frac{P}{KS}}$, а такъ какъ въ данномъ случаѣ: $\frac{P}{S} = 20$, то $V = \sqrt{\frac{20}{K}}$.

Прим. ред.

Этой величины скорость аппарата достигнетъ по прохожденіи имъ 30-ти метровъ.

Величина скорости въ 14,14 м. въ сек. соотвѣтствуетъ паденію тѣла съ высоты въ 10 м., т. е. толчекъ, который получить аппаратъ въ моментъ соприкосновенія съ землей, будетъ такой же, какъ если бы онъ упалъ съ высоты 10 м., не испытывая при паденіи сопротивленія среды.

Если во время паденія аппаратъ имѣетъ и горизонтальную скорость, то это не уменьшитъ его вертикальной скорости.

Если винты неподвижны, то половина лопастей имѣетъ наклоненіе въ одну сторону, а другая половина въ другую; образуяся вслѣдствіе этого пары, стремящаяся изогнуть ось винта, будутъ взаимно уничтожаться, не оказывая вліянія на вертикальное паденіе тѣла.

Въ результатъ существованіе горизонтальной скорости заставитъ аппаратъ только двигаться по наклонной траекторіи.

Необходимость парашюта. Во избѣжаніе большихъ скоростей при опусканіи аппарата и вытекающихъ отсюда послѣдствій, является совершенно необходимымъ снабдить каждый вертолетъ какимъ нибудь парашютомъ. Примѣнить обыкновенный, вертикально падающій, парашютъ въ данномъ случаѣ нельзя, такъ какъ онъ долженъ былъ бы имѣть слишкомъ большую поверхность. Въ самомъ дѣлѣ, допуская для вогнутой поверхности парашюта, представляющей собою сферическій сегментъ, $K = 0,2$ и допуская скорость паденія $V = 4$ м., что соотвѣтствуетъ паденію съ высоты въ 0,82 м., мы будемъ имѣть:

$$S = 0,312 P,$$

откуда, принимая $P = 500$ клгр., найдемъ величину поверхности парашюта, равной 156 кв. м. Это обстоятельство заставляетъ снабжать вертолеты наклонными поверхностями, какъ у аэроплана, которыя бы преобразовывали вертикальное паденіе аппарата въ (скользящее) наклонное. Но разъ такія поверхности существуютъ, то вполне естественно воспользоваться ими и при горизонтальномъ перемѣщеніи

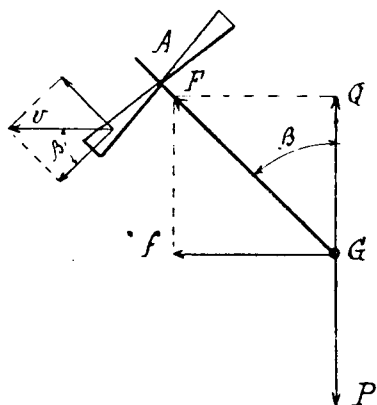
аппарата, что приводитъ насъ уже къ аппарату смѣшаннаго типа.

Существованіе поддерживающихъ винтовъ всегда будетъ неблагопріятно отражаться на поступательной скорости аппарата; преимущества же его передъ аэропланомъ заключаются только въ томъ, что онъ можетъ подниматься откуда угодно и во время полета можетъ стоять на мѣстѣ, что позволяетъ производить точныя наблюденія.

Во всякомъ случаѣ, при конструированіи геликоптера, всегда необходимо принимать въ расчетъ, что онъ долженъ быть снабженъ какимъ нибудь парашютомъ, что влечетъ за собою увеличеніе вѣса аппарата, а вмѣстѣ съ тѣмъ и мощности двигателя.

II. Наклонные винты.

Дѣйствіе наклонныхъ винтовъ при горизонтальномъ поступательномъ перемѣщеніи аппарата. Вмѣсто того, чтобы при подъемѣ аппарата и при перемѣщеніи его въ горизонтальномъ направленіи, пользоваться двумя независимыми другъ отъ друга системами винтовъ, можно примѣнить винты, которые бы исполняли одновременно функціи поддерживающаго аппарата и функціи аппарата перемѣщающаго въ горизонтальномъ направленіи. Отвѣчающими этимъ требованіямъ винтами будутъ винты наклонные, т. е. такіе, оси которыхъ составляютъ нѣкоторый уголъ съ вертикалью.



Чер. 32.

Сила тяги винта F можетъ быть разложена по двумъ направленіямъ. Вертикальная составляющая Q уравниваетъ вѣсъ аппарата P , а горизонтальная составляющая f будетъ стремиться перемѣщать аппаратъ въ горизонтальномъ направленіи.

Пусть A (черт. 32) есть винтъ, ось котораго AG составляетъ съ вертикалью уголъ β .

Пусть A (черт. 32) есть винтъ, ось котораго AG составляетъ съ вертикалью уголъ β .

Мы уже видѣли раньше, что ось винта должна проходить черезъ центръ тяжести аппарата. При наклонномъ винтѣ это условіе должно быть также соблюдено, такъ какъ въ противномъ случаѣ сила f будетъ стремиться повернуть аппаратъ около центра тяжести въ томъ или другомъ направленіи, въ зависимости отъ того пересѣкаетъ ли ось винта вертикаль, проходящую черезъ центръ тяжести G , выше или ниже послѣдняго.

Для того, чтобы было осуществлено поддерживаніе аппарата, мы должны имѣть:

$$F = \frac{P}{\cos \beta},$$

горизонтальная же составляющая при этомъ будетъ равна

$$f = F \sin \beta = P \operatorname{tg} \beta.$$

Чтобы опредѣлить скорость перемѣщенія въ горизонтальномъ направленіи, мы должны принять во вниманіе два сопротивленія—сопротивленіе поступательному движенію винта и сопротивленіе плоскости, эквивалентной съ точки зрѣнія сопротивленія поверхности аппарата. Если скорость перемѣщенія аппарата равна v , то мы можемъ считать сопротивленіе винта равнымъ тому сопротивленію, которое онъ испытывалъ бы, перемѣщаясь въ плоскости вращенія, но только не со скоростью v , а со скоростью $v \cos \beta$. Величина сопротивленія 4-хъ лопастей винта была нами уже въ своемъ мѣстѣ опредѣлена и потому мы можемъ написать:

$$f' = f_1(\alpha) K S \frac{3}{2} V v \cos \beta.$$

Обозначая черезъ s площадь плоскости эквивалентной сопротивленію аппарата при поступательномъ горизонтальномъ перемѣщеніи, мы можемъ написать величину соответствующаго сопротивленія:

$$f'' = K s v^2.$$

Сила тяги винта должна быть равна суммѣ этихъ двухъ сопротивленій, вслѣдствіе чего имѣемъ:

$$f = K v (f_1(\alpha) S \frac{3}{2} V \cos \beta + s v)$$

Въ этомъ уравненіи V —представляетъ скорость вращенія винтовъ, зная которую, можно найти v —скорость поступательнаго движенія, которая равна положительному корню этого квадратнаго уравненія.

Наоборотъ, при заданныхъ: скорости перемѣщенія v , углѣ наклоненія оси винта къ вертикали β , углѣ наклоненія лопасти α , поверхности винта S , можно опредѣлить какую скорость вращенія V долженъ имѣть винтъ, и отсюда найти количество работы, которое должно быть затрачено для того, чтобы аппаратъ поддерживался въ воздухѣ и перемѣщался въ горизонтальномъ направленіи съ заданной скоростью v .

Опредѣляя изъ послѣдняго уравненія V , будемъ имѣть:

$$V = \frac{2 (P \operatorname{tg} \beta + Ksv^2)}{3 f_1(\alpha) KSv \cos \beta}$$

Очевидно, что для того, чтобы, только что написанное нами, выраженіе могло имѣть мѣсто, необходимо, чтобы между силою тяги винта, угломъ наклоненія оси винта къ вертикали и вѣсомъ аппарата существовало соотношеніе:

$$\cos \beta = \frac{P}{F}.$$

Постараемся, приблизительно, сравнить работу, которую должны затрачивать наклонные винты, съ тою работой, которая расходуется въ томъ случаѣ, когда поддержаніе и перемѣщеніе въ горизонтальной плоскости получается при помощи винтовъ независимыхъ другъ отъ друга.

Положимъ, что всѣ винты совершенно одинаковы и имѣютъ одинъ и тотъ же коэффициентъ полезнаго дѣйствія.

Назовемъ черезъ T работу поддерживающихъ винтовъ, черезъ F' —работу винтовъ движителей, черезъ T_1 полную работу винтовъ въ томъ случаѣ, когда поддержаніе и перемѣщеніе въ горизонтальной плоскости достигается различными винтами и черезъ T_2 —работу винтовъ наклонныхъ.

Въ нашемъ случаѣ работа вращенія винтовъ будетъ пропорціональна 1,5 степени усилія, направленнаго по ихъ оси *).

*) Работа поддерживающаго винта равна произведенію реакціи $Q = P$ на перемѣщеніе въ единицу времени по направленію силы. Перемѣщеніе равно шагу винта h , умноженному на число оборотовъ,

Усилия, направленныя по осямъ, будутъ соотвѣтственно равны:

$$P, \quad P \operatorname{tg} \beta, \quad \frac{P}{\cos \beta}$$

На основаніи чего найдемъ, что

T работа поддерживающаго винта пропорціональна $P^{1,5}$

T' работа винта двигателя пропорціональна $P^{1,5} \operatorname{tg}^{1,5} \beta$

T_2 работа наклоннаго винта пропорціональна $\frac{P^{1,5}}{\cos^{1,5} \beta}$

Откуда будемъ имѣть:

$$T' = T \operatorname{tg}^{1,5} \beta$$

Общая работа поддерживающихъ винтовъ и винтовъ двигателей: $T_1 = T (1 + \operatorname{tg}^{1,5} \beta)$.

Работа наклонныхъ винтовъ:

$$T_2 = \frac{T}{\cos^{1,5} \beta}.$$

Сравнивая два послѣднихъ выраженія получимъ:

$$T_2 = \frac{T_1}{\sin^{1,5} \beta + \cos^{1,5} \beta}$$

Откуда можно видѣть, что T_2 меньше чѣмъ T_1 , хотя разница между ними довольно незначительна.

Разность $T_1 - T_2$ достигаетъ своего наибольшаго значенія при $\beta = 45^\circ$: въ этомъ случаѣ $T_2 = \frac{T_1}{1,2}$. Однако на практикѣ такого угла между осью винта и вертикалью дѣлать нельзя, такъ какъ или величина поддерживаемаго груза при этомъ будетъ очень не велика, или скорость аппарата получится настолько значительная, что ея нельзя допустить для геликоптера.

а такъ какъ послѣднее равно: $\frac{V}{2nr}$, то работа поддерживающаго винта

будетъ равна: $T = \frac{QnV}{2nr}$. Изъ основной формулы сопротивленія воздуха

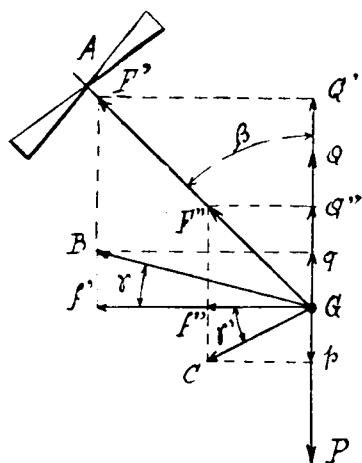
извѣстно, что V пропорціонально \sqrt{Q} , откуда T пропорціонально $Q^{1,5}$.

Подобными же разсужденіями можемъ притти къ заключенію, что работа другихъ винтовъ также пропорціональна 1,5 степени усилия, направленнаго по ихъ оси.

Прим. ред.

Еще нѣкоторое преимущество наклонныхъ винтовъ заключается въ томъ, что сопротивление ихъ поступательному горизонтальному перемѣщенію меньше, чѣмъ сопротивление винтовъ вертикальныхъ, что еще нѣсколько увеличиваетъ разность $T_1 - T_2$. Съ другой же стороны эта система имѣетъ серьезный недостатокъ, заключающійся въ томъ, что аппаратъ во время полета не можетъ оставаться на одномъ мѣстѣ, что возможно въ томъ случаѣ, когда поддерживающіе винты и винты движители не зависятъ другъ отъ друга.

Дѣйствіе наклонныхъ винтовъ при подъемѣ аппарата. Для того чтобы аппаратъ поднимался, необходимо, чтобы вертикальная составляющая Q силы F была больше вѣса аппарата P .



Чер. 33.

Пусть F' будетъ новая сила тяги наклоннаго винта A (черт. 33).

Назовемъ черезъ q излишекъ силы Q' сравнительно съ вѣсомъ P , тогда можемъ написать:

$$Q' = P + q$$

и

$$F' = \frac{P + q}{\cos \beta}.$$

Горизонтальная же составляющая силы F' будетъ равна:

$$f' = (P + q) \operatorname{tg} \beta.$$

Сила q представляетъ собою подъемную силу аппарата, которая въ то же время влѣяетъ и на горизонтальное усиліе f' . Въ результатѣ аппаратъ будетъ перемѣщаться подъ дѣйствіемъ силы GB , величина которой будетъ равна:

$$GB = \sqrt{q^2 + (P + q)^2 \operatorname{tg}^2 \beta} = \sqrt{F'^2 + P^2 - 2PF' \cos \beta}. *$$

*) Выраженіе стоящее подъ знаками радикала преобразуется слѣдующимъ образомъ:

Если сопротивление аппарата воздуху, какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіи одинаково, то аппаратъ будетъ перемѣщаться въ направленію силы GB и уголъ подъема γ опредѣлится изъ слѣдующей формулы:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{q}{(P+q) \operatorname{tg} \beta} = \frac{F' \cos \beta - P}{F' \sin \beta}$$

Обозначая черезъ s величину плоскости эквивалентной сопротивленію аппарата при движеніи по направленію GB , найдемъ скорость аппарата при движеніи по направленію GB ; ея величина будетъ равна:

$$v_1 = \sqrt{\frac{F'^2 + P^2 - 2PF' \cos \beta}{K_s}}$$

при чемъ вертикальная составляющая скорости будетъ равна:

$$v' = v_1 \sin \gamma,$$

а горизонтальная:

$$v = v_1 \cos \gamma.$$

Въ томъ случаѣ, если сопротивление горизонтальному перемѣщенію больше, чѣмъ сопротивление перемѣщенію вертикальному, уголъ γ будетъ больше. Для того чтобы аппаратъ перемѣщался только по вертикали, сопротивление его горизонтальному перемѣщенію должно быть настолько велико, чтобы горизонтальная скорость v обращалась въ нуль, а это возможно только въ томъ случаѣ, если поверхность s бесконечно велика.

$$q^2 + (P+q)^2 \operatorname{tg}^2 \beta = \frac{q^2}{\cos^2 \alpha} + 2Pq \operatorname{tg}^2 \beta + P^2 \operatorname{tg}^2 \beta.$$

Замѣняя q равной ей величиной $F' \cos \beta - P$, получимъ:

$$\begin{aligned} q^2 + (P+q)^2 \operatorname{tg}^2 \beta &= \frac{1}{\cos^2 \beta} (F' \cos \beta - P)^2 + 2P \operatorname{tg}^2 \beta (F' \cos \beta - P) + P^2 \operatorname{tg}^2 \beta = \\ &= F'^2 + P^2 \left(\frac{1}{\cos^2 \beta} - 2 \operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \beta \right) - 2PF' \cos \beta \left(\frac{1}{\cos^2 \beta} - \operatorname{tg}^2 \beta \right) = \\ &= F'^2 + P^2 - 2PF' \cos \beta. \end{aligned}$$

Прим. ред.

Такимъ образомъ, аппаратъ, имѣющій наклонные винты не можетъ подниматься по вертикали.

Положимъ, что аппаратъ долженъ имѣть своей траекторіей ось винта. Назовемъ черезъ s' величину плоскости эквивалентную сопротивленію аппарата при вертикальномъ перемѣщеніи, и черезъ s , при горизонтальномъ и пусть v' есть вертикальная скорость аппарата, а v —горизонтальная. Такъ какъ равнодѣйствующая ихъ должна быть направлена по траекторіи, то мы будемъ имѣть:

$$v' = \sqrt{\frac{q}{Ks'}} \quad \text{и} \quad v = \frac{f'}{Ks},$$

а кромѣ того онѣ будутъ связаны отношеніемъ:

$$\frac{v}{v'} = \operatorname{tg} \beta$$

При помощи этихъ выраженій, мы можемъ опредѣлить отношеніе между величинами сопротивленій, которое должно существовать для того, чтобы аппаратъ перемѣщался по заданному направленію:

$$\frac{s}{s'} = \frac{P + q}{q \operatorname{tg} \beta}$$

Не трудно видѣть, что $s > s'$.

Когда мы говорили о равновѣсіи аппарата, мы нашли, что точка приложенія усилій винтовъ должна совпадать съ центромъ тяжести аппарата, однако, при этомъ условіи равновѣсіе аппарата получилось бы безразличное, вслѣдствіе чего аппаратъ долженъ былъ бы имѣть плоскости устойчивости; вполнѣ естественно воспользоваться для этой цѣли поверхностью парашюта, которымъ, какъ мы видѣли, долженъ быть снабженъ каждый геликоптеръ; но при этомъ s' безусловно будетъ больше s , а слѣдовательно, уголъ, подъема γ всегда будетъ меньше $90^\circ - \beta$.

Дѣйствіе наклонныхъ винтовъ при опусканіи аппарата. Разсмотримъ теперъ тотъ случай, когда вертикальная составляющая Q'' силы тяги винтовъ меньше вѣса аппарата P ,—аппаратъ будетъ опускаться по наклонной траекторіи подѣ дѣйствіемъ двухъ силъ: $p = P - Q''$ и $f'' = Q'' \operatorname{tg} \beta$.

При равенствѣ сопротивленія движению аппарата въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіи, уголъ троектора съ горизонталью γ' будетъ имѣть слѣдующую величину:

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{p}{(P-p) \operatorname{tg} \beta} = \frac{F'' \cos \beta - P}{F'' \sin \beta}.$$

при $p=q$ уголъ γ' будетъ больше, чѣмъ γ , такъ какъ $F'' < F'$, что кромѣ того ясно видно изъ чертежа.

Вертикальное сопротивленіе поверхности парашюта или плоскостей устойчивости будетъ стремиться сдѣлать траекторію аппарата болѣе пологой, но это сопротивленіе должно непремѣнно проходить черезъ центръ тяжести аппарата, такъ какъ въ противномъ случаѣ появится пара, стремящаяся опрокинуть аппаратъ. Въ виду, того что уголъ наклона траекторіи измѣняется въ зависимости отъ величины силы F'' , эти поверхности должны быть сконструированы такимъ образомъ, чтобы возможно было измѣнять ихъ уголъ наклоненія и сохранять на одной и той же вертикали и центръ давленія и центръ тяжести. Въ томъ же случаѣ, когда поверхности сдѣланы неподвижными, аппаратъ долженъ быть снабженъ рулемъ высоты, подобнымъ тому, который мы видѣли у аэроплана, что дастъ возможность уравновѣсить опрокидывающую пару, о которой мы говорили.

Паденіе аппарата, снабженнаго наклонными винтами. Въ томъ случаѣ, если наклонные винты аппарата перестанутъ вращаться, аппаратъ начнетъ падать. Положимъ, что винты сконструированы такимъ образомъ, что не могутъ имѣть вращенія въ обратную сторону, тогда они представятъ нѣкоторое сопротивленіе паденію аппарата, которое въ первый моментъ будетъ совершаться по вертикали. Поверхность парашюта, которая служитъ въ помощь винтамъ при горизонтальномъ поступательномъ движении аппарата, имѣетъ такое же наклоненіе, какъ и поддерживающія поверхности аэроплана, вслѣдствіе этого ея центръ давленія, во время паденія аппарата, перемѣстится назадъ. Такимъ образомъ, аппаратъ будетъ находиться подъ дѣйствіемъ двухъ противоположно направленныхъ силъ: сопро-

тивленіе винтовъ будетъ стремиться выпрямить аппаратъ и поставить его въ такое положеніе, чтобы винты были вертикальны, а сопротивление поверхности парашюта будетъ стремиться повернуть его въ обратную сторону. Если эти два усилія уравниваются другъ друга, аппаратъ будетъ опускаться по наклонной траекторіи, направленной назадъ.

Если сопротивление поверхности велико, то задній край ея поднимается и траекторія аппарата будетъ наклонена впередъ. Слѣдуетъ замѣтить, что въ виду того, что винты имѣютъ нѣкоторый вѣсъ, перемѣщенія центра давленія заставятъ аппаратъ колебаться на подобіе маятника и колебанія эти очень трудно предотвратить.

Въ заключеніе надо сказать, что плоскость парашюта слѣдуетъ дѣлать подвижной, чтобы ей можно было придавать соотвѣтствующій уголъ наклоненія, наклоненные же винты должны имѣть возможность вращаться въ обратную сторону.

Винты съ переменнымъ угломъ наклоненія оси. Отъ винтовъ наклонныхъ не трудно перейти къ разсмотрѣнію винтовъ съ переменнымъ угломъ наклоненія ихъ оси. Положимъ, что винтъ А, дающій усиліе, направленное по оси, равное F , которое больше P , насаженъ на ось, которая можетъ вращаться около центра тяжести системы G . Благодаря такому устройству, возможно, когда надо, чтобы аппаратъ поднимался, поставить оси винтовъ вертикально и они будутъ исполнять роль только поддерживающихъ винтовъ, наклоняя же оси винтовъ на нѣкоторый уголъ, мы заставимъ аппаратъ подниматься не вертикально, а по нѣкоторой наклонной линіи. Совершенно горизонтальное перемѣщеніе аппаратъ будетъ имѣть только въ томъ случаѣ, если $\cos \beta = \frac{P}{F}$

Наклоненіе оси можетъ быть сдѣлано въ ту или въ другую сторону относительно вертикали, въ зависимости отъ чего аппаратъ будетъ перемѣщаться впередъ или назадъ.

При аппаратѣ разсматриваемой конструкціи необходимо, чтобы оси вращенія всѣхъ винтовъ пересѣкались въ центрѣ тяжести всей системы. Въ самомъ дѣлѣ, центръ тяжести cadaго винта лежитъ на его оси, при наклоненіи же осей

винтовъ, центръ тяжести двухъ винтовъ будетъ лежать на биссектрисѣ угла между ихъ осями и вслѣдствіе этого равнодѣйствующая ихъ усилій будетъ всегда проходить черезъ центръ тяжести, если въ этой точкѣ пересѣкаются направленія всѣхъ осей винтовъ.

Присутствіе плоскостей устойчивости и какого-либо парашюта при данной системѣ аппарата также необходимо, какъ и при другихъ типахъ геликоптера, но наклоненіе осей винтовъ при опусканіи аппарата можно сдѣлать такимъ, что дѣйствіе ихъ будетъ согласоваться съ дѣйствіемъ вспомогательной поверхности. Кромѣ того аппаратъ разсматриваемой системы имѣетъ то преимущество передъ аппаратомъ, снабженнымъ винтами наклонными, что онъ можетъ подниматься и опускаться по вертикали.

Вообще, этотъ аппаратъ слѣдуетъ разсматривать, не какъ чистый геликоптеръ, а какъ аппаратъ смѣшанный,—онъ является аэропланомъ постольку, поскольку его поддержаніе обезпечивается большой горизонтальной поступательной скоростью при положеніи осей винтовъ близкомъ къ горизонтали, и геликоптеромъ, поскольку онъ можетъ во время полета подниматься или опускаться по вертикали или оставаться на одномъ мѣстѣ.

Жиропланъ Бреге-Рише. Хотя жиропланъ Бреге-Рише представляетъ собою аппаратъ смѣшанный, но мы скажемъ о немъ нѣсколько словъ, чтобы выяснитъ вопросъ о примѣненіи при системѣ геликоптера вспомогательныхъ поверхностей.

Аппаратъ этотъ схематически изображенъ на чертежѣ 34-мъ, гдѣ АВ представляетъ поддерживающую поверхность, подобную поверхности аэроплана, d —руль направления, h —руль высоты, а С наклонный винтъ служащій для перемѣщенія аппарата въ горизонтальной плоскости и въ тоже время дающій нѣкоторую часть поддерживающей силы.

Положимъ, что аппаратъ перемѣщается въ горизонтальномъ направленіи. Поддерживающая поверхность АВ, имѣющая уголъ наклоненія α , дастъ нѣкоторую вертикальную составляющую сопротивленія q .

Пусть F есть сила тяги винта С, направленная по его оси.

или, замѣняя F равной ей величиной $\frac{P - q}{\cos \beta}$, будемъ имѣть:

$$\frac{f(\alpha)}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{P - q}{q}$$

Это уравненіе можетъ быть, очевидно, удовлетворено только единственнымъ опредѣленнымъ значеніемъ переменн- ной q , а отсюда заключаемъ, что существуетъ только одна величина скорости подступательнаго движенія, при которой аппаратъ, перемѣщаясь горизонтально, можетъ находиться въ равновѣсіи; опредѣленной же скорости соотвѣтствуетъ и опредѣленное значеніе силы F .

Опредѣляя предварительно q , найдемъ:

$$q = \frac{P \operatorname{tg} \beta}{f(\alpha) + \operatorname{tg} \beta}$$

на основаніи чего мы можемъ написать:

$$F = \frac{P f(\alpha)}{f(\alpha) \cos \beta + \sin \beta}$$

Въ томъ случаѣ, если F меньше той величины, которая опредѣляется послѣднимъ уравненіемъ, траекторія аппарата будетъ наклонена книзу, вслѣдствіе чего уголъ дѣйствія воздушнаго потока на поддерживающую поверхность будетъ больше, а скорость аппарата меньше.

Наоборотъ, если сила F больше той величины, которая удовлетворяетъ послѣднее уравненіе, движеніе аппарата будетъ совершаться по траекторіи, наклоненной кверху, при чемъ уголъ дѣйствія воздушнаго потока будетъ меньше, а скорость больше. Уголъ подъема траекторіи, однако, не можетъ превзойти угла α , такъ какъ при этомъ уголъ дѣйствія воздушнаго потока былъ бы отрицательнымъ. Такимъ образомъ, каждому значенію F соотвѣтствуетъ своя, вполне опредѣленная траекторія, а наибольшаго значенія сила тяги винта достигнетъ при перемѣщеніи аппарата по траекторіи, уголъ наклона которой равенъ α . Въ этомъ случаѣ $F = F'$, т. е. той силѣ тяги, которая существовала бы, если бы аппаратъ имѣлъ только наклонные винты,

$$F' = \frac{P}{\cos \beta - \sin \beta \operatorname{tg} \alpha} \quad *)$$

Уголъ подъема можетъ быть нѣсколько больше, чѣмъ α только въ томъ случаѣ, если поддерживающей поверхностью аппарата служитъ поверхность вогнутая, такъ какъ такія поверхности все-таки даютъ небольшую вертикальную составляющую сопротивленія и въ томъ случаѣ, когда уголъ ихъ наклоненія равенъ нулю.

Чтобы заставить аппаратъ, поднимающійся по наклонной траекторіи начать опять двигаться по горизонтали, надо воспользоваться рулемъ высоты, т. е. ввести новое сопротивление, которое увеличитъ количество расходуемой работы.

Скорость поступательнаго движенія жироплана меньше, чѣмъ соотвѣтствующая скорость аэроплана, который имѣетъ ту же площадь поддерживающей поверхности и тотъ же грузъ. Руль высоты долженъ имѣть бóльшіе размѣры, сравнительно съ площадью поддерживающей поверхности, чѣмъ у аэроплана.

Центръ давленія O поддерживающей поверхности AB долженъ находиться на одной вертикали съ центромъ тяжести аппарата и кромѣ того лежать на пересѣченіи оси винтовъ съ поддерживающей поверхностью; въ противномъ случаѣ силы q и P или f и f'' образуютъ пару, стремящуюся повернуть аппаратъ.

При поднятіи аппарата по наклонной траекторіи, уголъ дѣйствія воздушнаго потока будетъ меньше, вслѣдствіе чего центръ давленія перемѣстится къ переднему краю поддерживающей поверхности и передняя часть аппарата поднимется. Чтобы привести аппаратъ въ нормальное положеніе придется воспользоваться дѣйствіемъ руля высоты.

При опусканіи аппарата произойдетъ обратное явленіе, но только въ болѣе сильной степени при одной и той же абсолютной величинѣ вертикальной скорости,—передняя часть аппарата опустится. Количество работы, которое долженъ затратить жиропланъ значительно больше, чѣмъ

*) Эта величина получается изъ формулы: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{F' \cos \beta - P}{F' \sin \beta}$, при $\gamma = \alpha$.
Прим. ред.

то, которое расходуетъ аэропланъ; къ тому же онъ не обладаетъ достоинствомъ геликоптера, т. е. не можетъ во время полета оставаться на одномъ мѣстѣ. Преимущество этого аппарата передъ аэропланомъ, и надо сказать единственное преимущество, заключается въ отсутствіи какихъ бы то ни было затрудненій при взлетѣ, такъ какъ онъ не нуждается въ значительной удобной площади для разбѣга и можетъ подняться съ любого мѣста.

Мы думаемъ, что жиропланъ представляетъ первый шагъ къ аппаратамъ съ переменнымъ направленіемъ осей, о которыхъ мы говорили и которые имѣютъ безспорное преимущество въ томъ отношеніи, что позволяютъ аппарату во время полета оставаться на одномъ мѣстѣ, опускаться и подыматься болѣе или менѣе вертикально, даютъ возможность сообщить аппарату большую горизонтальную скорость и кромѣ того предотвращаютъ опасность при паденіи.

III. Винты-двигатели.

Введеніе. Какъ въ водѣ, такъ и въ воздухѣ двигателемъ является по преимуществу винтъ.—Онъ примѣняется на гигантскихъ броненосцахъ и на легкихъ шлюпкахъ, на громадныхъ управляемыхъ аэростатахъ и на маленькихъ аэропланахъ; скорость вращенія винтовъ варьируютъ въ широкихъ предѣлахъ, вслѣдствіе чего онъ съ успѣхомъ можетъ быть примѣненъ въ самыхъ разнообразныхъ случаяхъ, поэтому мы помѣщаемъ главу о винтахъ-двигателяхъ послѣ разсмотрѣнія тѣхъ аппаратовъ, на которыхъ онъ можетъ быть примѣненъ.

Поступательное перемѣщеніе птицъ основано на томъ же принципѣ—гибкіе концы ихъ крыльевъ, движеніе которыхъ вполне тождественно съ движеніемъ кормового весла, служатъ попеременно какъ бы лопастями винта.

Кораблю или управляемому аэростату (плавающія тѣла), геликоптеру (тѣло, поддерживающееся на принципахъ динамики) двигатель долженъ сообщать только опредѣленную нормальную скорость, для чего онъ долженъ быть въ состояніи развивать всегда нѣкоторое извѣстное, опредѣленное усиліе. Въ этомъ случаѣ винтъ-двигатель находится всегда въ болѣе или менѣе одинаковыхъ условіяхъ

и потому не трудно найти его элементы, при которыхъ получится наибольшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія.

Въ совершенно иныхъ условіяхъ находится винтъ-двигатель аэроплана, такъ какъ онъ долженъ удовлетворять многочисленнымъ требованіямъ. Усиліе, которое онъ долженъ развивать, колеблется въ довольно широкихъ предѣлахъ въ зависимости отъ того работаетъ ли онъ во время взлета аппарата, или во время движенія по наклонной траекторіи, или по горизонтали, или по кривой; при всѣхъ этихъ разнообразныхъ движеніяхъ аппарата измѣняется его скорость, а слѣдовательно, и усиліе и коэффициентъ полезнаго дѣйствія двигателя. Для опредѣленія элементовъ винта-двигателя мы будемъ разсматривать его, находящимся въ наиболѣе обычныхъ условіяхъ, т. е. во время движенія аппарата по горизонтали.

Образованіе поверхности винта. Винтъ-двигатель представляетъ собою кривую линейчатую поверхность, которая въ большинствѣ случаевъ имѣетъ направляющую плоскость. Въ этомъ случаѣ поверхность винта образуется двоякимъ движеніемъ прямой линіи, которая все время пересѣкаетъ ось винта подъ прямымъ угломъ и, слѣдовательно, остается все время параллельной плоскости перпендикулярной оси вращенія, которая носитъ названіе направляющей плоскости. Перемѣщающаяся прямая, называется производящей; она имѣетъ угловую скорость и поступательную по направленію оси, причемъ скорости эти пропорціональны. Каждая точка производящей, лежащая не на оси вращенія, описываетъ цилиндрическую винтовую линію, которую можно также разсматривать, какъ направляющую.

Поверхность, получающаяся за одинъ полный оборотъ производящей, дастъ въ проекціи на направляющую плоскость полный кругъ, центромъ котораго будетъ проекція оси, а радіусомъ длина производящей.

Высота H , на которую перемѣщается по оси конецъ производящей за одинъ полный оборотъ, называется шагомъ винта. Если полученную поверхность винта пересѣчь поверхностью цилиндра, ось котораго совпадаетъ съ осью винта, а радіусъ котораго меньше длины производящей, то

мы получимъ въ сѣченіи цилиндрическую винтовую линію съ тѣмъ же шагомъ H .

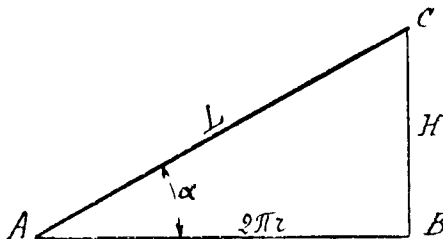
Касательная въ любой точкѣ винтовой линіи встрѣтитъ направляющую плоскость подъ угломъ α , величина котораго опредѣляется слѣдующимъ выраженіемъ:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{2\pi r},$$

гдѣ r представляетъ собою радіусъ, на концѣ котораго лежитъ разсматриваемая точка.

Такъ какъ всѣ винтовые линіи, лежащія на поверхности нашего винта, имѣютъ одинъ и тотъ же шагъ, то не трудно видѣть, что элементы поверхности будутъ имѣть тѣмъ большіе углы наклоненія по отношенію къ направляющей плоскости, чѣмъ ближе они лежатъ къ оси вращенія; но эти углы наклоненія во время движенія винта представляютъ собою ни что иное, какъ углы дѣйствія воздушнаго потока на лопасть винта, если послѣдній вращается около закрѣпленной точки, а слѣдовательно, уголъ дѣйствія потока воздуха на лопасть винта не будетъ оставаться постояннымъ, а будетъ увеличиваться по мѣрѣ приближенія къ центру.

Шагъ постоянный и переменный. Если отношеніе перемѣщенія производящей по оси къ ея угловому перемѣщенію постоянно, то говорятъ, что винтъ имѣетъ постоянный шагъ.

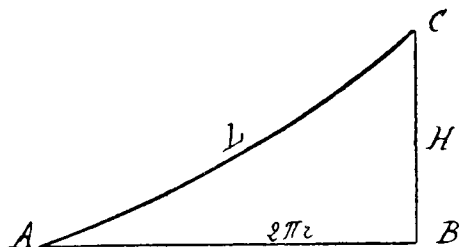


Чер. 35.

Развертывая поверхность цилиндра, на которой лежитъ направляющая винтовая линія, мы получимъ развертку послѣдней, которая представится въ видѣ прямой, наклоненной подъ нѣкоторымъ угломъ α къ развѣрткѣ круга, служащаго основаніемъ цилиндра (черт. 35).

Въ этомъ случаѣ, изъ прямоугольнаго треугольника ABC , мы будемъ имѣть:

развертка круга, служащаго основаніемъ цилиндра $AB = 2\pi r$, шагъ винта $BC = H$ и развертка одного оборота направляющей $AC = L$, откуда $\frac{H}{2\pi r} = \operatorname{tg} \alpha$.



Чер. 36.

Когда же отношеніе между угловымъ и поступательнымъ перемѣщеніемъ производящей во время одного оборота измѣняется, шагъ винта называютъ перемѣннымъ. Въ этомъ случаѣ развертка направляющей будетъ представлять нѣкоторую кривую, форма которой характеризуетъ законъ измѣненія шага.

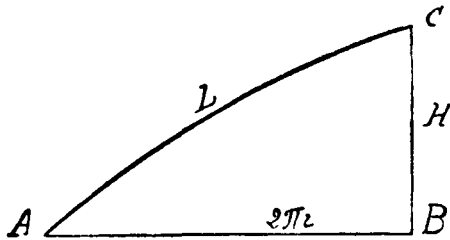
Возрастающій шагъ даетъ кривую AC (черт. 36), выпуклость которой обращена къ разверткѣ основанія цилиндра. Величина шага можетъ при этомъ не измѣниться и остаться равной H , но углы касательныхъ, соотвѣтствующихъ различнымъ точкамъ, не одинаковы.

Уменьшающійся шагъ даетъ кривую AC (черт. 37), обращенную къ разверткѣ основанія цилиндра своей вогнутостью. Уголъ касательной съ направляющей плоскостью, въ этомъ случаѣ, будетъ также перемѣннымъ.

На чертежѣ 38-мъ представлена развертка винтовой линіи, которая имѣетъ вначалѣ, постоянный шагъ, затѣмъ возрастающій и, наконецъ, убывающій. Вообще говоря, комбинаціи могутъ быть какія угодно, но развертка направляющей линіи всегда представитъ, какъ мы уже говорили, законъ измѣненія шага.

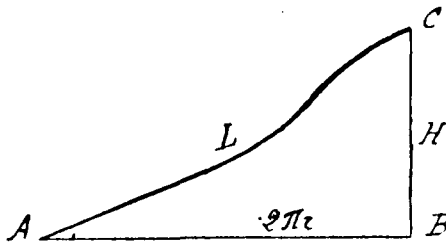
Можно также дать болѣе общее опредѣленіе поверхности винта, считая, что она образуется движеніемъ пря-

мой, встречающей ось под некоторым определенным углом и скользящей при своем угловом перемещении по некоторой заданной винтовой линии. Шагъ въ этомъ случаѣ можетъ быть также постояннымъ и переменнымъ, какъ и въ предыдущемъ.



Чер. 37.

Мы видѣли, что въ томъ случаѣ, когда винтовая поверхность образована прямой линіей пересекающей ось подъ прямымъ угломъ, она имѣетъ направляющую плоскость; если же уголъ между производящей и осью будетъ не прямой.



Чер. 38.

то направляющей поверхностью будетъ некоторый конусъ, уголъ образующей котораго съ его осью будетъ равенъ углу производящей винтовой поверхности съ осью винта. Примѣромъ такой винтовой поверхности можетъ служить винтъ, имѣющій отклоненныя назадъ лопасти.

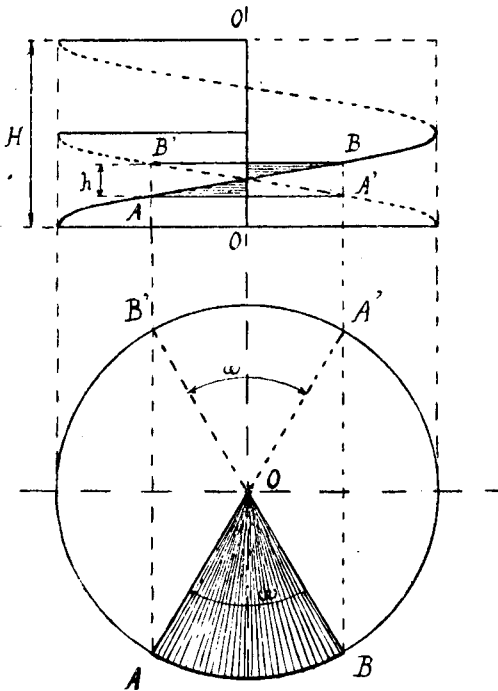
Часть шага (отношеніе высоты лопасти къ шагу винта). Для образованія лопасти пользуются только частью винтовой поверхности, образованной движеніемъ производящей за одинъ оборотъ.

Если ограничить лопасть двумя положеніями производящей, которая образуютъ между собой уголъ ω , то въ проекціи на направляющую плоскость получится секторъ OAB . (черт. 39).

Въ данномъ случаѣ высота лопасти по всей длинѣ ея будетъ одна и та же и будетъ существовать отношеніе:

$$\frac{\text{пл. сект. } OAB}{\text{пл. круга } AB A'B'} = \frac{\omega}{360} = \frac{\text{дуга } AB}{\text{окружн. } AB A'B'},$$

которое равно отношенію высоты лопасти къ шагу винта.



Чер. 39.

Итакъ, когда высота лопасти по всей длинѣ ея одна и та же, при какомъ угодно радиусѣ OA , площадь горизонтальной проекціи лопасти такъ относится къ площади круга радиуса OA , какъ длина дуги AB къ длинѣ окружности радиуса OA , при чемъ это отношеніе будетъ равно по-

стоянной величиной $\frac{\omega}{360}$. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что отношеніе высоты лопасти къ шагу винта или часть шага постоянна.

Слѣдуетъ замѣтить, что постоянный шагъ винта и постоянное отношеніе высоты лопасти къ шагу не находятся между собою въ какой бы то ни было зависимости.

Если часть шага и шагъ винта постоянны, какъ это мы имѣемъ на чертежѣ 39-омъ, то проекція лопасти на вертикальную плоскость будетъ ограничена двумя параллельными прямыми, находящимися другъ отъ друга на разстояніи h , при чемъ $\frac{h}{H} = \frac{\omega}{360}$.

Если поверхность винта имѣетъ направляющую плоскость, эти линіи перпендикулярны къ оси винта, тогда какъ, если направляющей поверхностью служитъ конусъ, линіи эти наклонны къ оси.

При переменнѣй части шага, т. е. въ томъ случаѣ, когда высота лопасти по длинѣ ея не одинакова, горизонтальная проекція лопасти будетъ ограничена дугой круга и двумя кривыми, проходящими, черезъ центръ круга; отношеніе длины дуги къ длинѣ окружности не будетъ постоянно по всей длинѣ лопасти, а будетъ зависеть отъ вида вышеупомянутыхъ кривыхъ.

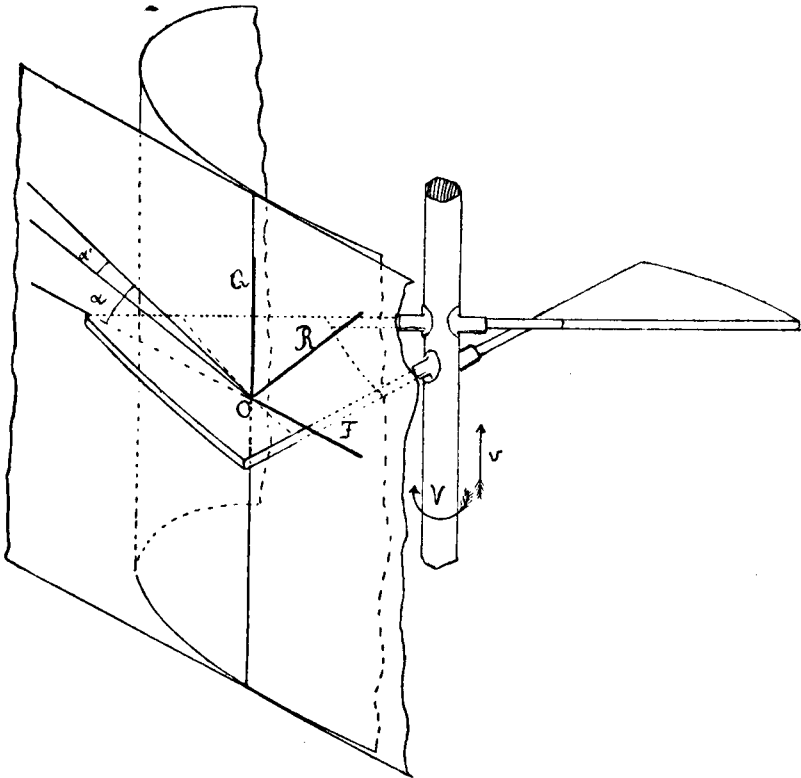
Обыкновенно лопасти винтовъ дѣлаются такъ, что отношеніе высоты лопасти къ шагу уменьшается отъ центра къ периферіи.

Чтобы получить вторую лопасть винта, берутъ часть другой, совершенно такой же какъ и первая, винтовой поверхности, образованной производящей, которая начинаетъ свое движеніе отъ точки A' , лежащей въ той же перпендикулярной къ оси вращенія плоскости, какъ и точка A и отстоящей отъ послѣдней на 180° . Очертанія второй лопасти даютъ такія же, какъ и первой.

Въ томъ случаѣ, когда винтъ имѣетъ не двѣ а большее число лопастей, послѣднія образуются совершенно подобнымъ же образомъ, при чемъ точки, служащія началомъ движенія производящей, дѣлать окружность настолько равныхъ частей, сколько лопастей имѣетъ винтъ

Отношеніе суммы высотъ всѣхъ лопастей винта къ его шагу, равно части шага одной лопасти, умноженной на число лопастей, что въ свою очередь будетъ равно отношенію суммы площадей горизонтальныхъ проекцій лопастей къ площади описываемаго ими круга.

Отношеніе суммы высотъ всѣхъ лопастей винта къ его шагу измѣняется съ числомъ лопастей. Отъ величины этого отношенія зависитъ болѣе или менѣе совершенное обтекание, жидкостью, въ данномъ случаѣ воздухомъ, лопастей винта.



Черт. 40 *).

*) Черт. 40 представляет собою винтъ изображенный въ аксонометрической проекціи. Мы помѣщаемъ этотъ чертежъ, чтобы читатель могъ составить себѣ болѣе ясное представленіе о расположеніи въ пространствѣ силъ, дѣйствующихъ на лопасть винта, а также объ углѣ наклоненія лопасти и углѣ дѣйствія воздушнаго потока.

Винты бываютъ правые и лѣвые, въ зависимости отъ того въ какую сторону перемѣщалась производящая при образованіи винтовой поверхности или въ зависимости отъ того вращается ли винтъ вправо или влѣво при своемъ движеніи впередъ.

Сила тяги винта не зависитъ отъ того, въ какую сторону онъ долженъ вращаться. Правый или лѣвый долженъ быть поставленъ винтъ, опредѣляется въ зависимости отъ того, въ какую сторону вращается двигатель и гдѣ расположенъ винтъ—впереди или сзади аппарата.

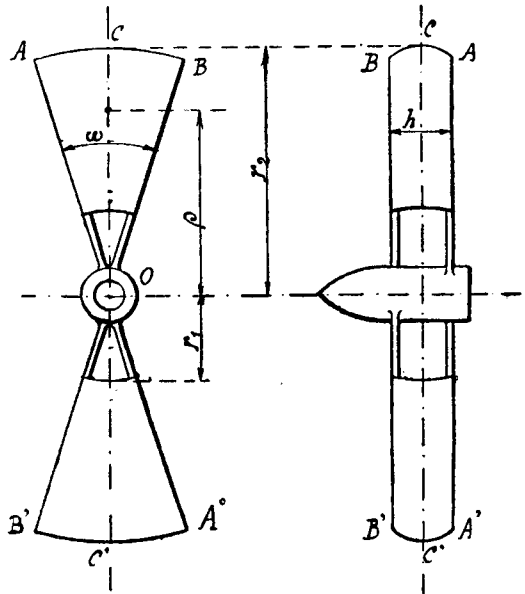
Винты, имѣющіе постоянный шагъ и постоянную часть шага.

Мы уже видѣли, что при перемѣщеніи винта по направленію оси уголъ, подъ которымъ воздушный потокъ дѣйствуетъ на лопасти, уменьшается. Въ авіаціи, гдѣ скорость перемѣщенія аппаратовъ достигаетъ большихъ величинъ, чтобы не увеличивать значительно угла наклоненія лопасти, приходится давать винтамъ большую вращательную скорость.

Винтъ, имѣющій постоянный шагъ и постоянную часть шага имѣетъ преимущество, заключающееся въ томъ, что онъ даетъ наибольшую дѣйствующую поверхность при наименьшей части шага,

особенно важно при большихъ скоростяхъ вращенія.

Мы знаемъ, что проекція такого винта на плоскость перпендикулярную къ его оси представляетъ собою нѣсколько секторовъ, число которыхъ равно числу лопастей, а проек-

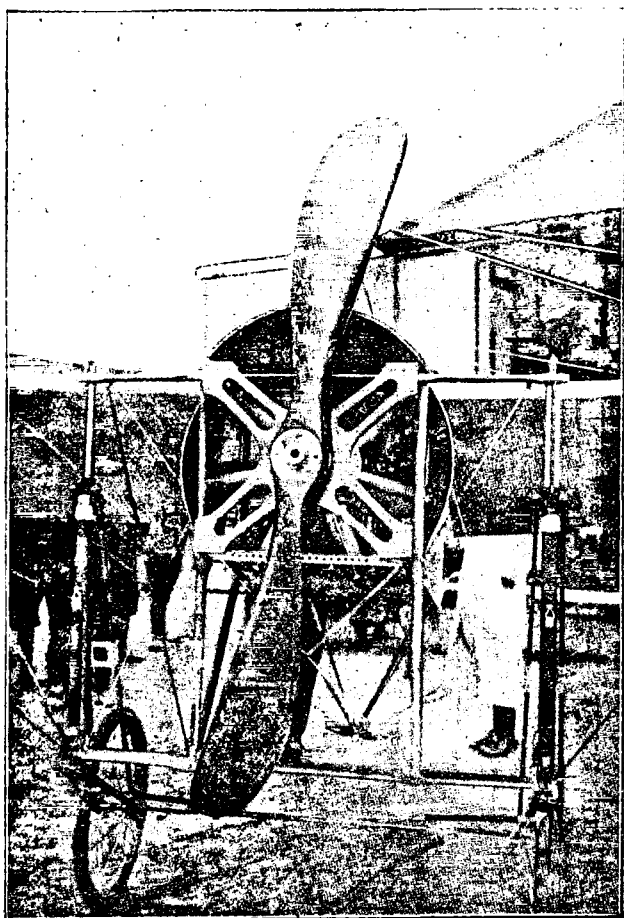


Черт. 41.

ція на плоскость параллельную его оси ограничена прямыми.

Для винтовъ обычнаго шага и имѣющихъ обычную часть шага, всякій элементъ, поверхности лопасти, взятый по окружности, можно разсматривать, какъ плоскость, составляющую съ плоскостью вращенія винта нѣкоторый уголъ α , который и есть уголъ наклоненія лопасти.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{2\pi r} = \frac{180 h}{\pi r \omega}.$$



Черт. 42.

При быстро—вращающихся винтахъ, лопасти, которыхъ кромѣ того, какъ и въ разсматриваемомъ нами случаѣ, расширяются къ своимъ концамъ, около центра винта получается значительное разрѣженіе, такъ какъ подтекающій извнѣ воздухъ не успѣваетъ пополнять то количество его, которое, вслѣдствіе центробѣжной силы, перемѣщается въ направленіи отъ центра къ периферіи; поэтому часть винта, лежащая близъ центра его является малодѣятельной и въ цѣляхъ уменьшенія вѣса винта можно откинуть части лопастей, лежащія близъ центра и замѣнить ихъ стержнями (ручками), придавъ послѣднимъ форму, дающую наименьшее сопротивленіе.

Проекція на плоскость, перпендикулярную оси винта, въ данномъ случаѣ, будетъ имѣть такой видъ, какъ указано на черт. 41-омъ, на которомъ изображенъ двухлопастный винтъ постоянного шага и постоянного отношенія высоты лопасти къ шагу при радіусѣ внѣшней описываемой окружности равнымъ r_2 и внутренней равнымъ $r_1 = \frac{r_2}{3}$ *).

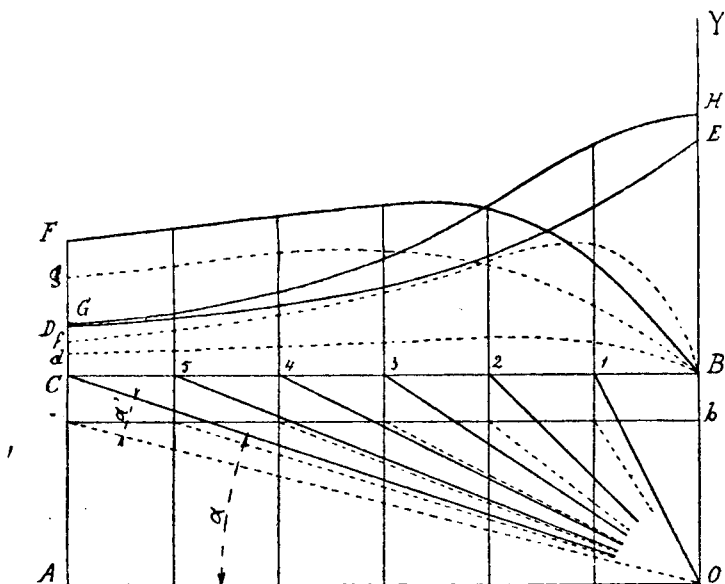
Опредѣленіе элементовъ винта. Въ своемъ мѣстѣ нами была уже указана величина угла дѣйствія воздушнаго потока на лопасть, т. е. уголъ наклоненія лопасти въ томъ случаѣ, когда винтъ не имѣетъ перемѣщенія по направленію своей оси. Теперь намъ надо опредѣлить углы наклоненія различныхъ элементовъ поверхности винта для того случая, когда винтъ перемѣщается въ направленіи оси съ нѣкоторой скоростью v . Сдѣлаемъ для этой цѣли построеніе, приведенное на чертежѣ 43-мъ.

Возьмемъ прямоугольныя оси координатъ ОХ и ОУ.

Но оси ОХ отложимъ длину ОА = $2 \pi r_2$ равную длинѣ

*) Такого начертанія лопасти въ воздухоплавательныхъ приборахъ дѣлались, когда пользовались металлическими винтами. Въ настоящее время, вслѣдствіе частыхъ разрывовъ ручекъ винтовыхъ лопастей управляемыхъ аэростатовъ (Patrie, République, Цеппелинъ и др.) и на аэропланахъ (Буазена, Антуанетъ и др.), вошли въ большое употребленіе деревянные винты не имѣющіе ручекъ, лопасти же въ нихъ идутъ отъ деревянной муфты, составляющей съ ними одно цѣлое (черт. 42). Изъ деревянныхъ винтовъ особенную извѣстность получили винты Шовьера и Джебцаго.

внѣшней окружности, описываемой лопастью винта. Раздѣлимъ этотъ отрѣзокъ OA на нѣсколько равныхъ частей, напримѣръ, на 6, и изъ каждой точки дѣленія возставимъ перпендикуляръ. На оси OY отложимъ $OB = H$, — равное шагу винта и проведемъ линію BC , параллельную OA



Черт. 43.

Соединяя точки C и O , мы получимъ развертку направляющей поверхности винта, а уголъ α , образуемый линіей OC съ линіей OA дастъ уголъ наклоненія элемента лопасти, наиболѣе удаленнаго отъ центра винта. Совершенно такимъ же образомъ прямыя $01, 02, 03, 04, 05$ дадутъ углы наклоненія элементовъ поверхности лопасти, соответствующихъ $\frac{1}{6}, \frac{2}{6}, \frac{3}{6}, \frac{4}{6}$ и $\frac{5}{6}$ длины лопасти.

Откладывая на линіяхъ 1, 2, 3, 4, 5 и AC , выше линіи BC , соответствующіе углы наклоненія, мы получимъ кривую DE , ордината которой BE , очевидно, должна быть равна 90.

Затѣмъ вычертимъ кривую FB , ея ординаты представляютъ $f(x)$, на которую надо умножить величину KSV^2 , чтобы получить Q , — усиліе, направленное по оси. Полагая элементы лопасти плоскими, $f(x)$ примемъ равнымъ коэффициенту (b) изъ таблицы I.

Затѣмъ вычертимъ кривую GH , ординаты которой представляютъ зависимость отъ угла наклоненія сопротивленія вращательному движенію лопасти, т. е., въ нашемъ случаѣ, коэффициентъ (c) таблицы I.

Если n есть число оборотовъ винта въ секунду, то скорость точки, лежащей на разстояніи r_2 отъ центра, т. е. наиболѣе удаленной точки лопасти, будетъ равна: $V = 2\pi r_2 n$ и $OA = 2\pi r_2$, такимъ образомъ, представляетъ отношеніе $\frac{v}{n}$

Полагая, что скорость винта по направленію оси равна v , отложимъ на оси OY величину $Ob = \frac{v}{n}$ и проведемъ черезъ точку b , параллельно OX , линію bc .

Отрѣзокъ Oc представляетъ абсолютную скорость и абсолютное перемѣщеніе точки, лежащей на концѣ лопасти, за одинъ оборотъ винта, такъ какъ является геометрической суммой величинъ $\frac{V}{n}$ и $\frac{v}{n}$ и образуетъ вслѣдствіе этого съ линіей OC уголъ α' , который и является въ данной точкѣ угломъ дѣйствія воздушнаго потока на лопасть.

Подобнымъ же образомъ найдутся величины угла дѣйствія воздушнаго потока и для другихъ точекъ лопасти.

Кривыя dV , fV и gV аналогичны тѣмъ, которыя мы уже строили и представляютъ соотвѣтственно тѣ же самыя величины, какъ и линіи DE , FB и GH , но ординаты ихъ взяты въ зависимости не отъ угла наклоненія лопасти, а отъ угла дѣйствія воздушнаго потока на лопасть винта, который имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда винтъ перемѣщается по направленію оси со скоростью v .

Очевидно, что скорость v должна быть всегда меньше $V \operatorname{tg} \alpha$, такъ какъ въ противномъ случаѣ уголъ дѣйствія воздушнаго потока былъ бы отрицательнымъ.

При $v = V \operatorname{tg} \alpha$, уголъ дѣйствія воздушнаго потока для всѣхъ элементовъ лопасти будетъ равенъ нулю, такъ какъ $Ob = OB$.

Центръ давленія лопасти. Изъ чертежа 43-го мы видимъ, что для рассматриваемаго нами винта уголъ дѣйствія воз-

душнаго потока на лопасть для различныхъ элементовъ поверхности лопасти измѣняется очень мало и безъ большой погрѣшности, мы можемъ считать его постояннымъ по всей длинѣ лопасти. Полагая, что элементъ поверхности, находящійся на разстояніи r отъ оси вращенія, имѣетъ скорость пропорціональную этому разстоянію и зная, что реакція воздуха пропорціональна квадрату скорости, мы можемъ считать, что реакція элемента пропорціональна квадрату разстоянія его отъ оси.

На основаніи выше сказаннаго построимъ слѣдующую діаграмму: взявъ прямоугольную систему координатъ, отмѣтимъ на оси абсциссъ различныя разстоянія r точекъ лопасти отъ оси вращенія, затѣмъ изъ взятыхъ точекъ составимъ перпендикуляры и отложимъ на нихъ величины, равныя произведенію ширины соотвѣтствующаго элемента лопасти на разстояніе этого элемента до оси вращенія. Полученная такимъ образомъ кривая, двѣ крайнія ординаты соотвѣтствующія значеніямъ r_1 и r_2 и ось абсциссъ ограничатъ нѣкоторую площадь, абсцисса центра тяжести которой будетъ равна разстоянію центра давленія лопасти до оси вращенія винта.

Разстояніе центра давленія до оси вращенія можно также опредѣлить, не прибѣгая къ графическимъ построеніямъ,— для этого надо вычислить, какъ было указано выше, ординаты нѣкоторыхъ опредѣленныхъ точекъ и затѣмъ найти центръ тяжести интересующей насъ площади по методу Чебышева.

Расчетъ винта. Опредѣлимъ винтъ по углу дѣйствія воздушнаго потока на элементъ лопасти, лежащій въ центрѣ давленія ея.

Пусть α' есть заданный уголъ дѣйствія воздушнаго потока, а $\frac{V}{v}$ — отношеніе скорости вращенія винта къ скорости поступательнаго движенія аппарата; прибавивъ еще шагъ винта или уголъ наклоненія лопасти, мы будемъ имѣть три величины связанныя между собою, при чемъ измѣненіе одной изъ нихъ сильно отражается на другихъ. Зная двѣ изъ этихъ величинъ, мы можемъ опредѣлить третью.

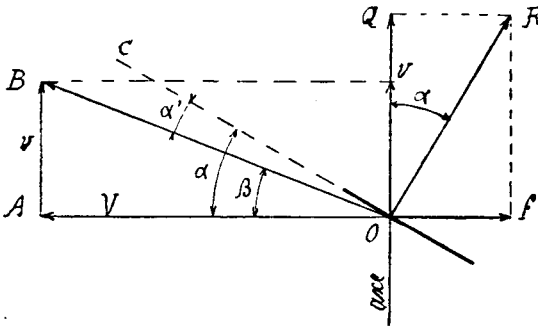
Положимъ что намъ заданы уголъ дѣйствія на лопасть воздушнаго потока α' и отношеніе скоростей $\frac{V}{v}$.

Отложивъ отъ точки O подъ прямымъ угломъ линіи OA и Ov , (черт. 44) соотвѣтственно равныя V и v , получимъ абсолютную скорость перемѣщенія разсматриваемой точки: $OB = \sqrt{V^2 + v^2}$. Проводя затѣмъ линію OC , подъ угломъ α' къ линіи OB , мы найдемъ сѣченіе разсматриваемаго элемента лопасти и уголъ наклоненія его α , который равенъ $\beta + \alpha'$.

Если R есть сопротивленіе воздуха, нормальное данному элементу лопасти и соотвѣтствующее абсолютной скорости $\sqrt{V^2 + v^2}$, то Q реакція, направленная по оси винта равна $R \cos \alpha$, а сопротивленіе вращательному движенію f будетъ равно $R \sin \alpha$.

Такъ какъ точка O есть центръ давленія лопасти, то, называя черезъ S сумму площадей лопастей винта, мы можемъ написать слѣдующее выраженіе, опредѣляющее величину нормальнаго сопротивленія:

$$R = f(\alpha') K' S (V^2 + v^2).$$



Черт. 44.

Сила же тяги винта будетъ равна:

$$Q = f(\alpha') \cos \alpha K' S (V^2 + v^2).$$

Въ послѣднемъ уравненіи мы имѣемъ только одно неизвѣстное S , которое можно опредѣлить, такъ какъ Q ,

очевидно, опредѣляется сопротивленіемъ аппарата при поступательномъ движеніи со скоростью v .

Такимъ образомъ, будемъ имѣть:

$$S = \frac{Q}{f(\alpha') \cos \alpha K' (V^2 + v^2)} \dots \dots \dots (1)$$

Такъ какъ излишнее увеличеніе отношенія суммы высотъ лопастей къ шагу винта, влечетъ за собою менѣе совершенное обтекание струями воздуха его лопастей, то общую площадь лопастей слѣдуетъ брать въ приводимомъ ниже соотношеніи съ r_2^2 — квадратомъ радіуса внѣшней описываемой лопастью окружности. Подъ значеніями величины S помѣщены соотвѣтствующія значенія разстоянія центра давленія лопасти отъ оси вращенія, вычисленныя въ предположеніи, что радіусъ внутренней, описываемой лопастью окружности r_1 , равенъ одной трети r_2 .

Число лопастей винта	2	3	4
Общая поверхность лопастей	$S = 0,60 r_2^2$	$0,80 r_2^2$	$0,95 r_2^2$
Разстояніе центра давленія лопасти отъ оси вращенія	$\rho = 0,75 r_2$	$0,72 r_2$	$0,70 r_2$

Обозначая въ общемъ случаѣ:

$$S = m r_2^2; \quad \rho = m' r_2 \quad \text{и} \quad \frac{V}{v} = u$$

мы будемъ имѣть:

Радіусъ внѣшней, описываемой лопастью окружности: $r_2 = \sqrt{\frac{Q}{m f(\alpha') \cos \alpha K' v^2 (u^2 + 1)}} \quad (2)$

Радіусъ центра давленія: $\rho = m' r_2 \dots \dots \dots (3)$

Число оборотовъ винта въ минуту. $N = \frac{30v^2 u}{\pi m'} \sqrt{\frac{m f(\alpha') \cos \alpha K' (u^2 + 1)}{Q}} \quad (4)$

Принимая приведенныя нами ранѣе значенія m , m' , K' и обозначая $\sqrt{\frac{Q}{(u^2 + 1) f(\alpha^2) \cos \alpha}}$ черезъ q , мы получимъ для

искомыхъ нами величинъ слѣдующія, болѣе простыя выраженія:

Число лопастей . .	2	3	4
Радиусъ внѣшней окружности r_2 . .	$4,56 \frac{q}{v}$	$3,95 \frac{q}{v}$	$3,62 \frac{q}{v}$
Радиусъ центра давленія ρ	$3,42 \frac{q}{v}$	$2,84 \frac{q}{v}$	$2,53 \frac{q}{v}$
Число оборотовъ винта въ мин. N .	$2,79 \frac{uv^2}{q}$	$3,354 \frac{uv^2}{q}$	$3,762 \frac{uv^2}{q}$

Линейная скорость вращенія винта на концѣ лопасти можетъ быть взята отъ 50 до 70 метр. въ сек., откуда, зная v , опредѣлимъ u и уголъ β .

$$\frac{1}{u} = \operatorname{tg} \beta.$$

Вполнѣ понятно, что выгоднѣе брать меньшій уголъ дѣйствія воздушнаго потока на лопасть, чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшить и уголъ наклоненія лопасти, что въ свою очередь влечетъ за собою уменьшеніе сопротивленія вращательному движенію; но при очень маломъ углѣ наклоненія, общую поверхность винта придется взять очень большой, а слѣдовательно, и винтъ долженъ быть большаго діаметра. При этомъ слѣдуетъ принимать въ расчетъ, что вѣсъ винта измѣняется, приблизительно, пропорціонально квадрату радиуса внѣшней окружности.

На практикѣ обыкновенно берутъ уголъ дѣйствія воздушнаго потока, въ зависимости отъ формы поверхности лопасти, отъ $\alpha' = 4^\circ$ до $\alpha' = 6^\circ$.

Выбравъ этотъ уголъ и зная значеніе угла β , не трудно найти уголъ наклоненія лопасти α , что позволитъ опредѣлить намъ всѣ размѣры винта. Шагъ винта будетъ:

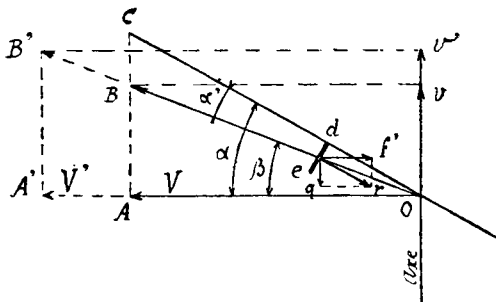
$$H = 2\pi \rho \operatorname{tg} \alpha.$$

Количество работы, потребное для вращенія винта. Полагая сопротивленіе вращательному движенію винта равнымъ $f = Q \operatorname{tg} \alpha$ и называя черезъ s лобовое сопротивле-

ніе винта, зависящее отъ неровностей или выступовъ на его поверхности, мы можемъ написать слѣдующее выраженіе количества работы, потребнаго для вращенія винта:

$$T = (Q \operatorname{tg} \alpha \times K' s V^2) V$$

Лобовое сопротивление винта можетъ значительно увеличить количество работы, расходуемой на вращеніе винта, при чемъ оно вліяетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ меньше уголъ дѣйствія воздушнаго потока.



Чер. 45.

Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что на элементѣ поверхности лопасти ОС имѣется выступъ de (черт. 45), абсолютная скорость этого выступа будетъ равна OB , а его нормальное сопротивление r будетъ имѣть составляющую, противодѣйствующую вращательному движенію, $f' = r \cos \alpha$.

Величина r будетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе направленіе de къ нормали линіи OB , т. е., другими словами, чѣмъ меньше уголъ α' . Съ другой стороны, составляющая f' будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше уголъ α , а такъ какъ $\alpha = \beta \times \alpha'$, гдѣ β есть величина постоянная, зависящая отъ отношенія скорости поступательнаго движенія аппарата и скорости вращенія винтовъ, то уменьшеніе α' влечетъ за собою увеличеніе, какъ нормальнаго сопротивления r , такъ и отношенія $\frac{f'}{r}$.

Въ цѣляхъ уменьшенія сопротивления, передній (рѣжущій) край лопасти нельзя дѣлать съ прямыми углами, а слѣдуетъ закруглять ихъ по параболѣ. То же слѣдуетъ сказать

и относительно продольного выступа лопасти, если въ такомъ имѣется надобность.

Здѣсь мы говоримъ о выступахъ направленныхъ вдоль лопасти, о поперечныхъ же ребрышкахъ мы говорили раньше; по нашему мнѣнію, они могутъ только увеличить силу тяги винта.

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія (отдача) винта. Если бы воздушный винтъ-двигатель дѣйствовалъ въ воздухѣ совершенно также, какъ обыкновенный винтъ въ гайкѣ, перемѣщающійся безъ тренія, то онъ не имѣлъ бы скольженія и его отдача была бы равна единицѣ, но такъ какъ дѣйствіе воздушнаго винта основывается на сопротивленіи воздуха, получающагося, какъ результатъ движенія наклонной плоскости, то въ томъ случаѣ, когда ось винта совпадаетъ съ направлениемъ движенія, его отдача не можетъ быть равна единицѣ, если даже и не принимать во вниманіе лобового сопротивленія винта и сопротивленія тренія.

Абсолютное скольженіе *) винта зависитъ отъ угла α' , т. е. отъ угла дѣйствія на лопасть воздушнаго потока, — оно равно BC , отношеніе же $\frac{AB}{AC}$ представляетъ собою, если не принимать во вниманіе никакихъ вредныхъ сопротивленій, полезное усиліе двигателя или отдачу.

*) Разсматривая отдачу винта, мы должны принимать во вниманіе: 1) перемѣщеніе частицъ воздуха, производимое винтомъ относительно аппарата, 2) поступательное перемѣщеніе аппарата и, наконецъ, 3) перемѣщеніе частицъ воздуха, отбрасываемаго винтомъ, относительно окружающаго спокойнаго воздуха.

Если бы вращающійся винтъ былъ закрѣпленъ въ центрѣ вращенія, то перемѣщеніе частицъ воздуха относительно аппарата было бы такое же, какъ и перемѣщеніе относительно окружающаго спокойнаго воздуха и за одинъ оборотъ винта было бы равно его шагу.

Въ дѣйствительности же, вслѣдствіе того, что винтъ перемѣщается вмѣстѣ съ аппаратомъ по направленію своей оси, перемѣщеніе воздуха, отбрасываемаго винтомъ, относительно спокойнаго воздуха будетъ равно разности между шагомъ винта, который въ нашемъ случаѣ равенъ AC и перемѣщеніемъ аппарата за время, въ которое винтъ дѣлаетъ одинъ оборотъ, равное AB (чер. 45). Эта величина называется абсолютнымъ скольженіемъ двигателя; откуда $w = AC - AB = BC$.

Положимъ, что у насъ имѣется вращающійся винтъ, который не перемѣщается по направленію своей оси; въ такихъ условіяхъ, т. е. подъ дѣйствіемъ взаимно уравновѣшенныхъ силъ, будетъ находиться, на примѣръ, поддерживающій винтъ геликоптера, когда аппаратъ во время полета остается на одной высотѣ.

Спрашивается, будутъ ли въ этомъ случаѣ равны нулю работа винта и его отдача?—Очевидно,—нѣтъ. Образующаяся сила будетъ производить только иное дѣйствіе,—она сообщитъ нѣкоторую скорость извѣстной массѣ воздуха, и работа, затрачиваемая на вращеніе винта, преобразуется въ работу перемѣщенія этой массы.

При такихъ условіяхъ нельзя судить объ отдачѣ винта, а потому это понятіе, въ данномъ случаѣ, не можетъ служить для сравненія различныхъ винтовъ.

Если сила тяги винта пропорціональна квадрату скорости аппарата по направленію оси винта, то, принимая во вниманіе лобовыя сопротивленія, отдача винта будетъ имѣть постоянную величину: въ самомъ дѣлѣ, уголъ наклоненія лопасти остается постояннымъ, увеличеніе же скоростей V и v даетъ (черт. 45) треугольникъ $OA'B'$, который будетъ подобенъ треугольнику OAB , вслѣдствіе того, что скорости V и v увеличиваются въ одномъ и томъ же отношеніи, такъ какъ, какъ та, такъ и другая пропорціональны корню квадратному изъ силы тяги.

Благодаря этому обстоятельству величина угла α' не измѣнится, слѣдовательно, соотношеніе между углами α и α' остается безъ измѣненія, а вмѣстѣ съ тѣмъ остается постоянной и отдача.

Разсмотрѣнный нами случай относится къ управляемому аэростату или къ геликоптеру, поддерживающіе винты котораго и винты-двигатели являются независимыми другъ отъ друга, при аэропланѣ же величина лобового сопротивленія измѣняется, такъ какъ, если желательно увеличить скорость аппарата и въ то же время продолжать перемѣщаться по горизонтали, то необходимо уменьшить уголъ дѣйствія воздушнаго потока, вводя новое сопротивленіе, измѣняющее этотъ уголъ. Такимъ сопротивленіемъ является дѣйствіе руля высоты.

Если полезную работу винта-двигателя обозначить через $T_u = Qv$, то отдача винта будет равна:

$$\frac{T_u}{T} = \frac{Qv}{(Q \operatorname{tg} \alpha + f') V},$$

гдѣ f' есть лобовое сопротивление винта.

Съ уменьшеніемъ угла наклоненія лопасти винта α , уменьшается составляющая $Q \operatorname{tg} \alpha$, но за то увеличивается, какъ мы уже говорили, сопротивление $f' = r \cos \alpha$.

Существующіе винты имѣютъ отдачу до 65%, но несомнѣнно, что могутъ существовать винты болѣе совершенные.

Не надо, однако, забывать, что въ данномъ случаѣ мы говоримъ только объ отдачѣ двигателя и слѣдуетъ принимать во вниманіе еще нѣкоторую потерю работы, которая произойдетъ при передачѣ двигателю силы двигателя.

Съ этой точки зрѣнія наиболѣе выгоднымъ является расположеніе двигателя на валу двигателя, а такъ какъ употребляющіеся въ авіаціи двигатели исключительно быстро вращающіеся, то и винты съ этой точки зрѣнія выгоднѣе примѣнять рассчитанные на большія угловыя скорости, однако, въ большинствѣ случаевъ передача зависитъ отъ взаимнаго расположенія различныхъ частей аппарата.

При расположеніи двигателя не на валу двигателя могутъ быть съ успѣхомъ примѣняемы системы зубчатокъ и цѣлей Галя, такъ какъ такая конструкція передачи даетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ 85% — 90%. Ременная передача не можетъ быть рекомендована, вслѣдствіе того, что натяженіе ремня вызываетъ излишнее треніе въ подшипникахъ и кромѣ того передача будетъ менѣе совершенна вслѣдствіе того, что здѣсь весьма трудно избѣгать скольженія ремня.

Если черезъ T_m назовемъ эффективную мощность двигателя, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ: $\frac{T}{T_m}$, а общій механическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія будетъ равенъ $\frac{T_u}{T} \times \frac{T}{T_m} = \frac{T_u}{T_m}$, откуда, принимая отдачу двигателя равной 65%, а коэффициентъ полезнаго дѣйствія

передачи 90%, общій механической коэффициентъ найдемъ равнымъ $0,65 \times 0,90 = 0,585$ или 58,5%.

Общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія двигателя составляется подобнымъ же образомъ изъ коэффициентовъ полезнаго дѣйствія термическаго и механическаго. Конструкция двигателей обыкновенно настолько совершенна, что послѣдній коэффициентъ получаетъ наибольшую возможную величину, однако, въ чрезвычайно легкихъ двигателяхъ, въ которыхъ размѣры частей доведены до minimum'a, слѣдуетъ принять во вниманіе, что неправильное расширение частей отъ нагрѣванія можетъ повлечь за собою увеличеніе тренія.

Термическій коэффициентъ имѣетъ очень серьезное значеніе, если имѣтъ въ виду болѣе или менѣе продолжительные полеты. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, на примѣръ, что двигатель расходуетъ 300 гр. бензина на одну индикаторную силу въ часъ и положимъ, что аппаратъ, имѣющій 30-ти сильный двигатель долженъ находиться въ пути въ продолженіе 6 часовъ. Запасъ бензина долженъ быть: $0,3 \times 30 \times 6 = 54$ клгр. При вѣсѣ такого двигателя въ 60 клгр., мы видимъ, что запасъ бензина почти удваиваетъ его, отсюда ясно, что расходъ бензина на силу въ часъ долженъ быть, по возможности, уменьшенъ, или, другими словами, слѣдуетъ стремиться къ увеличенію термическаго коэффициента полезнаго дѣйствія двигателя.

Полагая, что расходъ бензина равенъ 380 гр. на индикаторную силу въ часъ, мы должны будемъ уже принять вѣсъ запаса бензина равнымъ 68,4 клгр., т. е. въ данномъ случаѣ вѣсъ бензина превзойдетъ вѣсъ самага двигателя. Вполнѣ очевидно, что во время пути этотъ вѣсъ по мѣрѣ расхода бензина будетъ уменьшаться, но тѣмъ не менѣе при взлетѣ аппарата долженъ быть поднятъ именно этотъ прибавочный грузъ.

Мы приводимъ эти соображенія, не какъ примѣръ тѣхъ трудностей, которыя приходится преодолевать, но хотимъ только показать, что слѣдуетъ учитывать не частные коэффициенты полезнаго дѣйствія, а общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія всего механизма, начиная отъ цилиндра двигателя, въ которомъ сгораетъ бензинъ до винта.

Винтъ постояннаго шага съ переменною частью шага. Изъ разсмотрѣнія винта, для котораго уголъ дѣйствія воздушнаго потока остается почти постояннымъ по всей длинѣ лопасти, мы пришли къ заключенію, что реакція лопасти увеличивается отъ центра къ периферіи. При постоянной части шага, элементы лопасти, лежащія ближе къ периферіи будутъ имѣть кромѣ того еще и большую ширину, что въ свою очередь повлечетъ еще болѣе неравномѣрное распределеніе нагрузки по длинѣ лопасти.

Во избѣжаніе этого, изъ той же самой винтовой поверхности можетъ быть вырѣзана лопасть такой формы, центръ давленія которой будетъ находиться ближе къ центру вращенія.

Часть шага въ данномъ случаѣ не будетъ величиной постоянной, а будетъ увеличиваться отъ периферіи къ центру, ширина же лопасти можетъ быть сдѣлана такой, чтобы она измѣнялась по длинѣ лопасти въ зависимости отъ измѣненія силы реакціи.

Однако, такая форма лопасти будетъ имѣть нѣкоторое вліяніе на отдачу и кромѣ того, такъ какъ мы знаемъ, что лопасть постоянной части шага даетъ наибольшую поверхность дѣйствія при минимальной части шага, то послѣднюю нельзя увеличивать, не ухудшая при этомъ протеканія струй воздуха между лопастями винта. Все это приводитъ къ увеличенію діаметра винта, а вмѣстѣ съ тѣмъ и къ увеличенію его вѣса.

Винтъ переменнаго шага. Въ судовыхъ винтахъ, по методу Джевецкаго, шагъ дѣлается иногда переменнымъ, т. е. уголъ наклоненія элемента лопасти зависитъ отъ разстоянія послѣдняго отъ оси вращенія. Дѣлается это съ той цѣлью, чтобы уголъ дѣйствія водяныхъ струй на лопасть по всей длинѣ ея былъ постояннымъ. Для судовъ такая система винта можетъ быть полезна, такъ какъ скорость ихъ можно разсматривать, какъ постоянную, но въ авіаціи такая система не даетъ никакого преимущества, такъ какъ мы видѣли, что скорости и усилія измѣняются въ широкихъ предѣлахъ въ зависимости отъ тѣхъ условій, въ которыхъ находится аэропланъ, а это влечетъ за собою и измѣненіе угла дѣйствія воздушнаго потока.

Винты съ вогнутыми поверхностями лопастей. Уже давно Герве и де-ла-Во указали на преимущества винтовъ съ вогнутыми поверхностями лопастей.

Можно было бы также употреблять винты съ лопастями изогнутыми по дугѣ круга. Въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что элементъ лопасти винта постоянного шага можно разсматривать, какъ пластинку; если на этомъ элементѣ, какъ на хордѣ, мы построимъ дугу круга, то получимъ винтъ, который можно назвать винтомъ съ лопастями, изогнутыми по дугѣ круга. Если въ этомъ случаѣ развернуть цилиндръ, на поверхности котораго лежитъ направляющая поверхности винта, какъ мы это дѣлали раньше, то мы получимъ развертку направляющей не въ видѣ прямой, а въ видѣ кривой, имѣющей форму, какъ изображено на чертежѣ 36-мъ, что показываетъ, что шагъ винта въ данномъ случаѣ возрастаетъ. Такимъ образомъ, винтъ съ лопастями, изогнутыми по дугѣ круга, представляетъ собою винтъ съ переменнымъ шагомъ.

На судахъ также примѣняются винты съ вогнутыми поверхностями лопастей, но искривленіе послѣднихъ очень не велико, при чемъ оно дѣлается такого рода, чтобы шагъ передней части лопасти былъ нѣсколько меньше, чѣмъ шагъ задней части.

Такъ какъ поверхность, изогнутая по дугѣ круга, при той же скорости перемѣщенія и при той же площади, для полученія той же величины сопротивленія, какъ и отъ поверхности плоской, можетъ имѣть меньшій уголъ наклоненія, то отдача винта, имѣющаго лопасти такой формы, вслѣдствіе уменьшенія угла α , будетъ лучше. Кромѣ того, лопасти такой формы получатся болѣе жесткими, а такими лопастями необходимо дѣлать, чтобы подъ дѣйствіемъ приложенной къ нимъ силы, концы ихъ не отгибались впередъ, что усиливаетъ разрѣженіе воздуха около центра винта. Въ тѣхъ же соображеніяхъ полезно дѣлать лопасти нѣсколько откинутыми назадъ.

Винты съ лопастями, поверхности которыхъ изогнуты по кривымъ несимметричной формы, о которыхъ мы говорили выше, можетъ быть, дадутъ еще болѣе благоприятные результаты; этотъ вопросъ, какъ и многіе другіе, можетъ быть выясненъ только при помощи опытовъ, при чемъ послѣдніе должны быть произведены съ винтами перемѣщаю-

щимися по направленію своей оси, а не съ закрѣпленными въ одной точкѣ.

По нашему мнѣнію, изъ опытовъ, произведенныхъ при помощи движущихся платформъ, снабженныхъ плоскостями сопротивленія, можно получить очень точныя величины для сравненія различныхъ системъ винтовъ и опредѣлить наибольшую отдачу воздушнаго винта, измѣняя величину сопротивленія поступательному перемѣщенію, а вмѣстѣ съ тѣмъ и скорость. Очевидно, что аппаратъ, служащій для производства такихъ опытовъ, долженъ быть снабженъ динамометромъ, записывающимъ усиліе вращенія винта и приборомъ, отмѣчающимъ въ каждый моментъ скорость аппарата.

Числовой примѣръ. Опредѣлимъ элементы двухлопастнаго винта, который бы могъ перемѣщать аэропланъ, снабженный вогнутыми поддерживающими поверхностями, расчетъ котораго мы произвели въ одномъ изъ предыдущихъ числовыхъ примѣрахъ. Наилучшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія винта будетъ при движеніи аппарата по прямой горизонтальной линіи.

Аппаратъ требуетъ:

1^о при движеніи по прямой горизонтальной линіи со скоростью 12 м. въ сек.—силы тяги двигателя въ 76 клгр.

2^о при подъемѣ 7 : 100 (что соотвѣтствуетъ углу въ 4^о) при той же скорости—силы тяги винта въ 110 клгр.

3^о при взлетѣ, (движеніе аппарата совершается съ перемѣнной скоростью),—силы тяги винта въ 110 клгр.

4^о при движеніи аппарата съ уменьшеннымъ угломъ наклоненія поддерживающихъ поверхностей со скоростью 16 м. въ сек.—силы тяги винта въ 100 клгр.

Кромѣ того допустимъ, что для выбранной нами вогнутой поддерживающей поверхности $f(\alpha)$, при углѣ $\alpha = 4^{\circ}$, равна 0,50, что опредѣлено изъ опытовъ.

1^о При движеніи аппарата по прямой горизонтальной линіи со скоростью 12 м. въ сек. Возьмемъ скорость вращенія центра давленія лопасти винта $V = 60$ м., откуда:

$$\frac{V}{v} = 5; \operatorname{tg} \beta = 0,200; \beta = 11^{\circ} 20'$$

Уголъ наклоненія лопасти α будетъ:

$$\alpha = 11^{\circ} 20' + 4^{\circ} = 15^{\circ} 20',$$

а слѣдовательно:

$$\cos \alpha = 0,964; \quad \operatorname{tg} \alpha = 0,274.$$

Теперь намъ остается только приложить выведенныя нами выше формулы.

Радиусъ вѣншей описываемой лопастью окружности:

$$r_2 = \frac{3,56}{12} \sqrt{\frac{76}{0,5 \times 0,964 \times 26}} = 0,935 \text{ м.}$$

Радиусъ центра давленія:

$$\rho = 0,75 \times 0,935 = 0,701 \text{ м.}$$

Число оборотовъ въ минуту:

$$N = 2,79 \times 5 \times 144 \sqrt{\frac{0,5 \times 0,964 \times 26}{76}} = 815 \text{ обор.}$$

Шагъ винта:

$$H = 2 \times \pi \times 0,701 \times 0,274 = 1,200 \text{ м.}$$

Поверхность лопастей:

$$S = \frac{76}{0,5 \times 0,964 \times 0,08 \times 3,744} = 0,526 \text{ кв. м.}$$

Мы можемъ принять, что сопротивленіе f' , считая, что лопасти не имѣютъ продольнаго выступа, равно $0,04 Q$, откуда найдемъ количество работы, которое надо затратить на вращеніе винта:

$$T = (0,274 + 0,04) 76 \times 60 = 1450 \text{ клг. м.}$$

Полезная же работа будетъ равна:

$$T_u = 76 \times 12 = 912 \text{ клгр. м.}$$

Откуда отдача винта:

$$\frac{912}{1450} = 0,63$$

Такъ какъ винтъ вращается съ большой скоростью, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія передачи мы можемъ принять равнымъ 0,95, что дастъ обшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія:

$$0,63 \times 0,95 = 0,60.$$

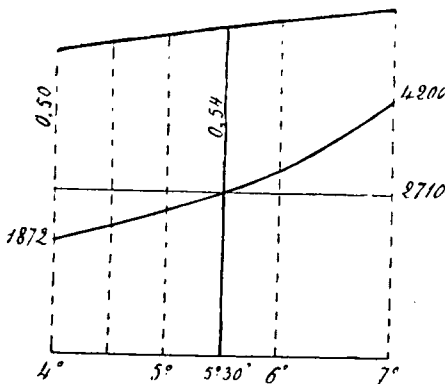
Мощность же двигателя получится:

$$\frac{1450}{0,95 \times 75} = 20 \text{ инд. силъ.}$$

2^о при подъемѣ аппарата. Чтобы получить большую силу тяги движителя, при той же скорости перемѣщенія аппарата, мы должны увеличить число оборотовъ винта, вслѣдствіе чего увеличится и уголъ дѣйствія воздушнаго потока на лопасть.

Обозначая черезъ V' новую скорость вращения винта и черезъ α'' соответствующій ей уголъ дѣйствія воздушнаго потока, мы можемъ написать слѣдующее соотношеніе:

$$(V'^2 + v^2) f(\alpha'') = (V^2 + v^2) f(\alpha') \frac{110}{76} = 2710$$



Черт. 46.

Изменяя уголъ дѣйствія воздушнаго потока, можно для каждаго значенія его найти соответствующую величину V' , а слѣдовательно, и соответствующую числовую величину перваго члена написаннаго выше равенства. Откладывая затѣмъ на оси абсциссъ (черт. 46) различныя величины

угловъ, а на соответствующихъ ординатахъ, найденныя нами, числовыя величины, мы получимъ кривую, пересѣченіе которой съ прямой параллельной оси X и соответствующей извѣстному намъ числовому значенію второго члена равенства, опредѣлитъ уголъ дѣйствія воздушнаго потока.

Для нашего числового примѣра мы будемъ имѣть:

$$\alpha'' = 5^{\circ} 30', \text{ откуда } \beta' = 15^{\circ} 20' - 5^{\circ} 30' = 9^{\circ} 50'; \operatorname{tg} \beta = 0,173.$$

$$V' = \frac{12}{0,173} = 70 \text{ м.}$$

Число оборотовъ въ минуту:

$$N' = \frac{815 \times 70}{60} = 950 \text{ оборотовъ.}$$

Если для провѣрки мы вычертимъ кривую, дающую зависимость силы тяги отъ угла дѣйствія воздушнаго потока, то для найденнаго нами значенія α'' мы получимъ $f(\alpha) = 0,54$.

Такъ какъ площадь лопастей винта равна 0,526 кв. м., то сила тяги винта будетъ:

$$Q = 0,54 \times 0,964 \times 0,08 \times 0,526 \times 5044 = 110 \text{ клгр.}$$

Количество работы винта:

$$T = (0,274 + 0,04) 110 \times 70 = 2418 \text{ клгр. м.}$$

Полезная работа:

$$T_u = 110 \times 12 = 1320 \text{ клгр. м.}$$

Отдача винта:

$$\frac{T_u}{T} = \frac{1320}{2418} = 0,545.$$

Общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія:

$$0,545 \times 0,95 = 0,52.$$

Мощность двигателя:

$$T_m = \frac{2418}{0,95 \times 75} = 34 \text{ инд. силы.}$$