

77-
533.6
Т48

ПЕРЕОБЛІК 20/19 р.

ПРОВЕРЕНО
1989 г.

Инж. ТКАЧЕНКО Я. Е.

~~АБОНЕМЕНТ
УЧЕБНОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ~~

ВОЗДУШНЫЕ ВИНТЫ

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

Выпуск V

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ВОЗДУШНОГО ГРЕБНОГО ВИНТА

ПЕРЕОБЛІК 2002

Научно-техническая
библиотека
"ХАИ"



kn0004073

БІБЛІОТЕКА
ХАРЬКОВСЬКОГО АВИАЦІЙНОГО ІНСТИТУТУ
ім. Т. С. ДАВІДЕНКО

Аэродинамический расчет воздушного гребного винта

Постановка задачи о проектировании винта

При расчете гребного винта заданными требованиями являются:

- а) Винт при данной скорости полета самолета должен развивать положенное число оборотов, потребляя при этом заданную мощность.
- б) Винт должен иметь максимально возможный к.п.д. для заданных условий работы.

Для удовлетворения этих условий необходимо:

1. Винт должен создавать требуемую силу тяги на всех заданных режимах полета самолета.
2. Должна быть согласованная работа винта и мотора. Т.е. мотор должен развивать требуемую винту мощность на всех режимах полета самолета.
3. Правильно оценить и учесть все возможные потери в к.п.д. винта при установке его на самолете.

По назначению самолета винты могут быть высотные, скоростные и компромисные.

Высотным винтом называется винт, рассчитанный для наивыгоднейшей скороподъемности, т.е. обладающий в этих условиях работы наивыгоднейшим к.п.д.

Скоростным винтом называется винт, развивающий наибольшую скорость на данном типе самолета при горизонтальном полете.

На современных самолетах наиболее распространены

2
ны скоростные винты.

Для проектирования винта необходимы: аэродинамическая характеристика самолета (поляра Лилчен-таля, графики потребных тяг, мощностей), техническая схема аэроплана / размеры крыла, фюзеляжа, моторная установка, шасси и т.д. / характеристика мотора.

Следовательно в расчете винта необходимо обеспечить для самолета наибольшую, при заданных условиях, скорость на заданной высоте полета.

Таким образом, необходимо найти основные размеры винта и выбрать число лопастей, подобрать наиболее выгодные профили сечений лопасти, придать наиболее выгодную форму лопасти. Определить силу тяги винта, потребную мощность и исследовать работу винтомоторной группы.

Основные характеристики винта влияющие на его к.п.д.

а) Число лопастей

В учебнике по винтам Чэйк рекомендует: *)
„В нормальных случаях применяются двухлопастные винты, т.к. чем меньше число лопастей, тем винт легче, дешевле, проще и эффективнее. Две лопасти — это наименьшее число, при котором может быть достигнуто надлежащее равновесие массовых и аэродинамических сил. Три или четыре лопасти применяются в тех случаях, когда величина диаметра двухлопастного винта ограничена, или когда работа двухлопастного винта является не-

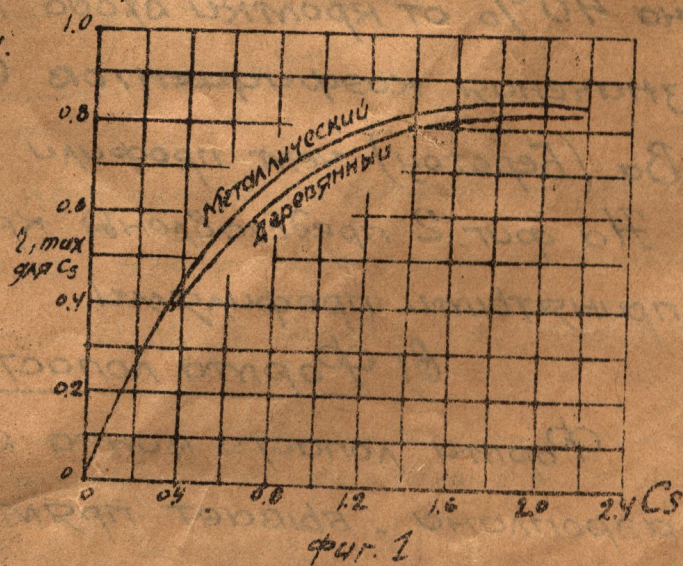
*) Weick. „Aircraft Propeller Design“. Стр. 252

достаточно плавной, вследствие интерференции с асимметричным фюзеляжем или обдувки другим винтом. Если воздушный поток, протекающий через двухлопастной винт не симметричен, то углы атаки и аэродинамическая нагрузка одной лопасти будет выше, чем другой, а это может явиться причиной нежелательных вибраций. Для винта с тремя и более лопастями нагрузка по отеческой плоскости распределена более равномерно и опасность вибрации значительно уменьшается. Двухлопастной винт вибрирует при вращах вследствие переменного гироскопического момента двухлопастной системы, а при сносе — вследствие неравномерной воздушной нагрузки. Особенно этот эффект сказывается при тихоходных винтах с редукторами, для устранения этого необходимо принять винт с тремя и более лопастями.

При установке винтов по схеме "тандем" во избежание вибрации у заднего винта принимают три и более лопасти. Это же применяется и для винтов с большой степенью редукции, для винтов, работающих вблизи фюзеляжа, несимметричного относительно оси вращения и для винтов, работающих частично в струе за другими винтами.

Металлические винты обычно бывают двух и трех лопастные. С большим числом лопастей встречаются редко.

Деревянные винты делаются с двумя или четырьмя



лопастями, т.к. такая система более выполнима в производственном отношении".

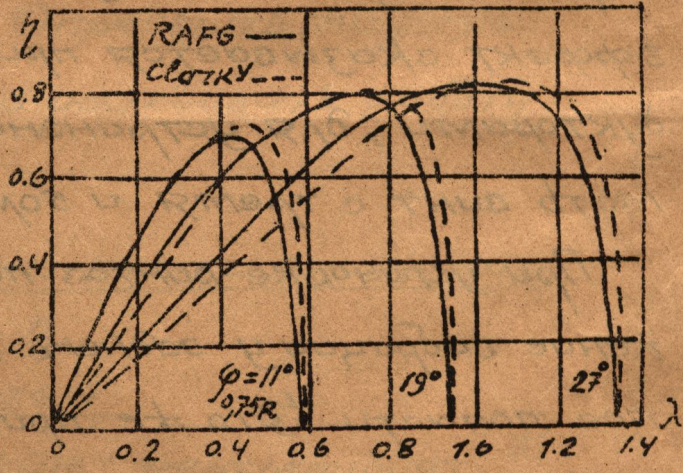
Двухлопастной винт имеет наибольший к.п.д. Трехлопастной по сравнению с двухлопастным будет иметь к.п.д. меньший на 1,5 ÷ 2%, а четырехлопастной - меньше на 2 ÷ 4%.

На фиг. 1 представлены кривые к.п.д. откуда мы можем установить, что металлические винты имеют больший к.п.д. чем деревянные.

б) Профиль лопасти

Наиболее употребительными профилями для воздушных гребных винтов являются профили Свэгк-У и RAF-6.

Для лопасти с малым шагом геометрически обычно применяют профили Свэгк-У, а для большого шага RAF-6. В винтах современных самолетов применяются специальные скоростные профили с расположением максимальной толщины на 40% от кромки входа. Такие профили сохраняют значения коэффициентов C_y при больших числах Re (Бернстолу) чем профили Свэгк-У и RAF-6.



Фиг. 2

Такие профили сохраняют значения коэффициентов C_y при больших числах Re (Бернстолу) чем профили Свэгк-У и RAF-6.

На фиг. 2 представлены кривые к.п.д. винтов с обще принятыми профилями.

в) Форма лопасти в плане

Форма лопасти винта в плане, подобно крылу аэроплана, бывает прямоугольной /фиг. 3/, трапе-

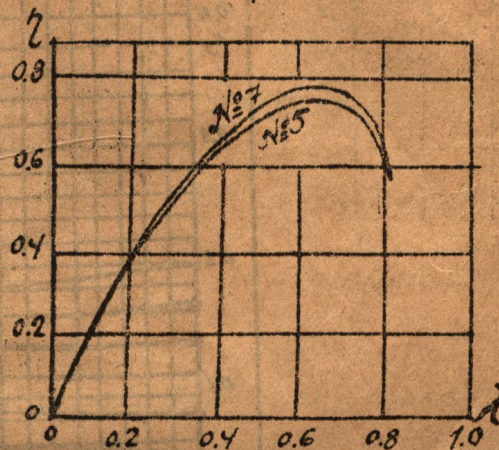
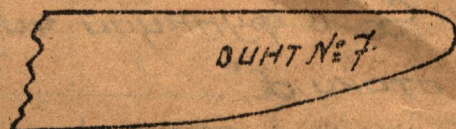
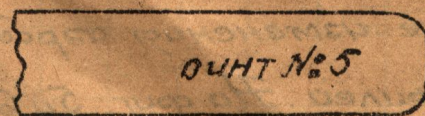
цессидальной асимметричной (фиг. 3) и симметричной эллиптической и с расширяющейся концевой частью (фиг. 4)

По опытным данным (фиг. 3) более эффективной формой лопасти является эллиптическая.

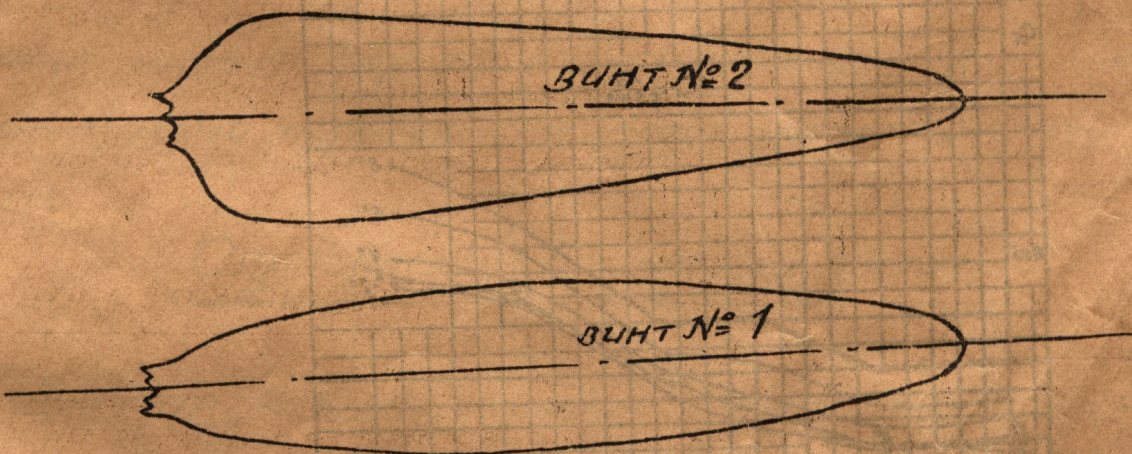
Однако, летные испытания и лабораторные исследования по этому вопросу показали что форма лопасти как у винта № 1 (фиг. 4) является более эффективной чем представленные на фиг. 3.

Форма лопасти винта № 1 представляет собою стандартный металлический винт, который обладает

к. п. д., с учетом интерференции в пределах $0,8 \div 0,83$.



фиг. 3



фиг. 4

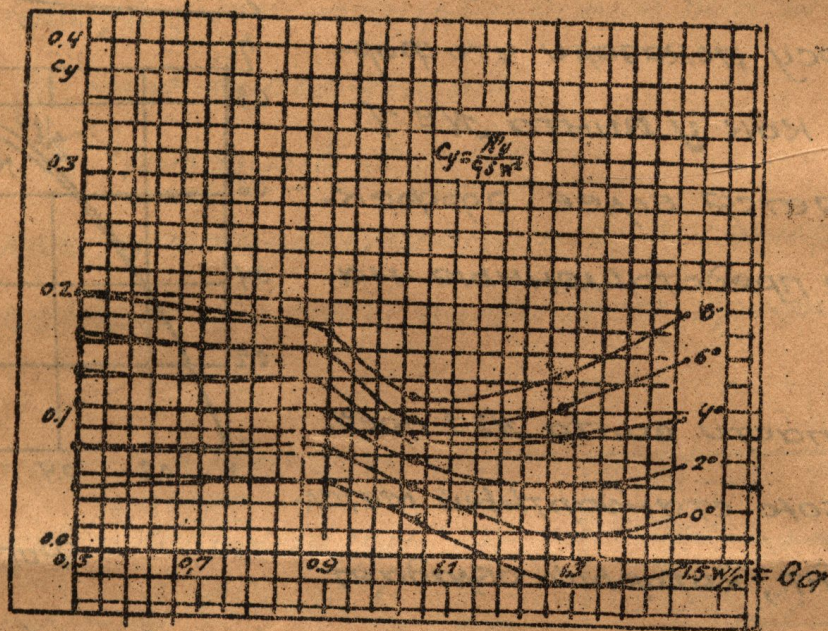
Более современные исследования по винтам на моделях и в натуре^{*)} показывают, что форма лопасти винта № 2 (фиг. 4) имеет более высокий КПД на $3 \div 4\%$ чем винт № 1.

*) 1. Я. Траченко. Труды I^ю конференции по воздушным винтам. Изд. ЦАГИ. 1934 г.

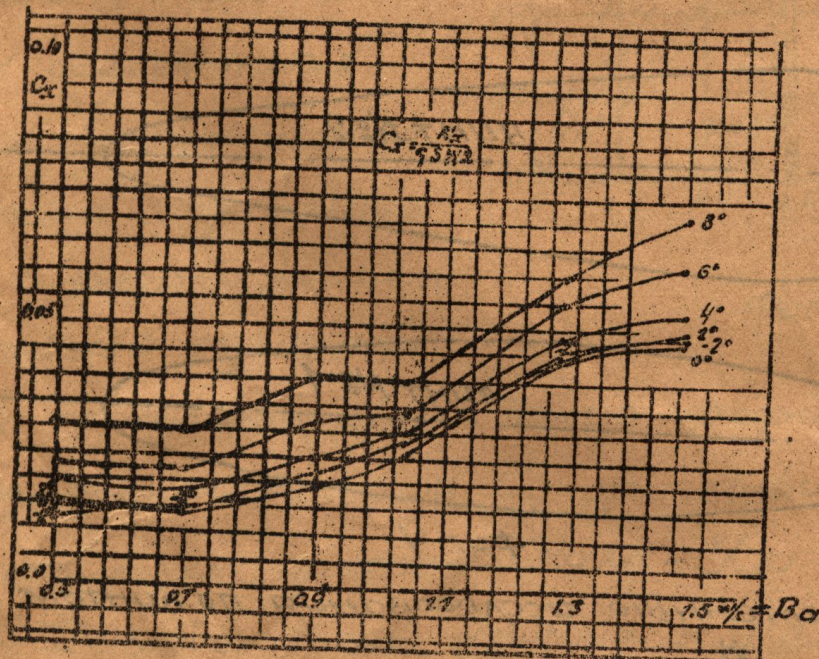
2. Report NASA № 639 и 642, и др. 1938 г. 643

2) Окружная скорость концевых сечений лопасти

При большой окружной скорости близкой к критической / скорость звука в воздухе / эффективность винта падает, вследствие изменения аэродинамических характеристик концевых профилей. На фиг. 5 и 6 изображены кривые коэффициентов C_y и C_x в функции числа Бернстона - Ва для различных углов атаки α° .



фиг. 5



фиг. 6

Металлические винты могут работать при окружной скорости до 300 и 335 м/сек, не теряя своей эффективности. **)

**/ К. Вуд. Техническая аэродинамика.

Поправочные коэффициенты в к.п.д. для обычных металлических винтов могут быть получены по фиг. 7.

Деревянные винты могут применяться для окружных скоростей не свыше 275 м/сек.

Если двухлопастной винт будет иметь

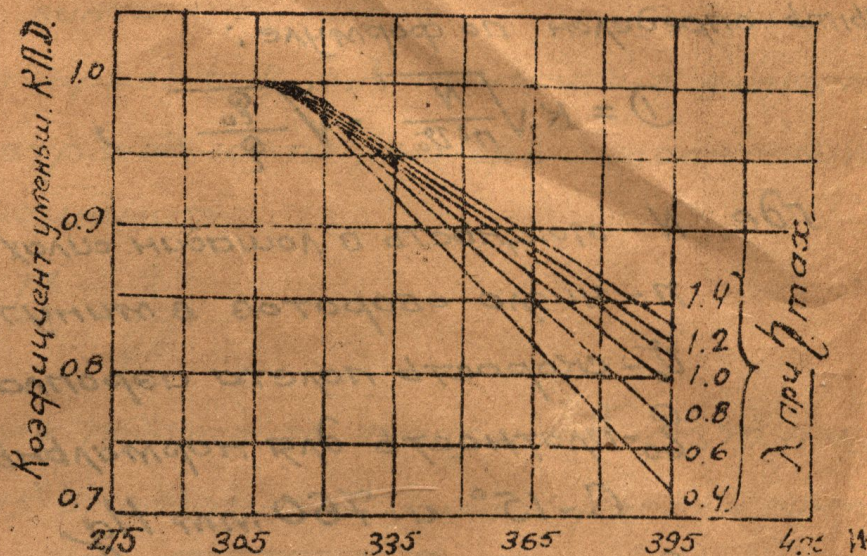
потери в к.п.д. из-за

большой окружной скорости, то необходимо перейти к трехлопастному или уменьшить число оборотов при помощи редуктора.

Следовательно, при проектировании винта все перечисленные факторы должны быть учтены в начале расчета за исключением влияния формы лопасти на к.п.д., влияние которой окончательно определится после расчета лопасти на прочность.

Определение диаметра винта

Диаметр, как мы отмечали раньше, является главной характеристикой винта. При определении диаметра винта необходимо учитывать габаритные требования технической схемы аэроплана. Для получения диаметра винта существует много различных способов, формул и графиков. Остановимся на некоторых из них.



Фиг. 7

Диаметр винта для предварительного расчета может быть определен по формуле:

$$D = K \sqrt{\frac{N}{n^2 v_0}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} \quad \dots (1)$$

где: N - мощность в лошадиных силах

n - число оборотов в минуту

v_0 - скорость полета самолета километров в час

ρ_0 - плотность для нормальных условий при $C - 15^\circ$ и 760 мм Hg

ρ - плотность на данном потоке

K - коэффициент учитывающий различные факторы.

Таблица значений коэффициента K

число лопастей коэф- фициент	2	3	4	Назначен. винта	Материал винта
K	97,5	87,5	82,0	скоростной	Деревянные
	109	99,0	92,5	скоропод- емный	
	104	94,0	89,0	компро- мисный	
	96,0	89,0	-	скоростной	Металли- ческие
	107,5	102,5	-	скоропод- емный	
	102,0	99,0	-	компро- мисный	

Для определения диаметра винта, коэффициента полезного действия и др. величин можно пользоваться логарифмическими диаграммами для деревянных винтов с постоянным шагом. *) Диаграммы даны без учета интерференции.

При расчете металлических винтов можно пользоваться диаграммами Уэйка **) для двухлопастных винтов.

3. Для вычисленного значения C_s находят угол установки лопасти, режим работы винта λ и коэффициент полезного действия винта η .

В зависимости от назначения винта / скоростной, высотный / расчет осуществляется следующим образом.

Если требуется скоростной винт - необходимо исходить из максимального возможного η для данного C_s . Поэтому на диаграмме нанесены пунктиром η_{max} . При пользовании диаграммой выбирают тот угол установки, который получится в точке пересечения прямой вычисленного значения C_s с линией η_{max} .

В случае подбора высотного винта целесообразно, подсчитав C_s по $V_{тах}$, выбрать среди кривых к.п.д. такую, которая при данном C_s имеет свой максимум. В этом случае ^{выбирают} выбирают винт с углом установки лопастей, соответствующем точке пересечения C_s с линией максимумов η .

4. Определив λ и имея заданные величины V_0 и $n_{сек}$, определяют диаметр винта:

$$D = \frac{V_0}{\lambda n_{сек}}$$

Определение углов атаки сечений

При определении углов атаки можно так же как и при выборе угла атаки крыла самолета, исходить из угла соответствующего максимальному качеству профиля.

Но, при этом необходимо потом учесть скас потока вызванный индуцированными скоростями ΔV_i и $\eta \frac{\omega}{2}$. Учет скаса и последовательное определение действительного угла атаки очень подробно изложено в упомянутой раньше книге Чэика.

Здесь, изложим способ, дающий хорошие совпадения с

Узунком, который позволяет найти углы атаки через скорость протекания к ометаемому диску, окружную скорость лопастного элемента и индуктивный к.п.д. винта.

Рассмотрим треугольник индуцированных скоростей [фиг. 9] и найдем зависимость между v_0, v_i, u и v' .

Отрезок v' будет состоять:

$$v' = v_0 + \frac{\Delta v_2}{2} + a \quad \dots (3)$$

отрезок, a выразим через известные нам величины, а именно:

$$a = \frac{r\omega''}{2} \operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta v_2}{2} \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \beta_0, \quad \dots (4)$$

Заменяя значения $\operatorname{tg} \beta$ и $\operatorname{tg} \beta_0$ через коэффициенты пропорциональные поступи получим:

$$a = \frac{\Delta v_2}{2} \lambda_z \cdot \frac{\lambda_z}{\eta_i} = \frac{\lambda_z^2}{\eta_i} \frac{\Delta v_2}{2}, \quad \dots (4')$$

И формулу 3 перепишем в следующем виде:

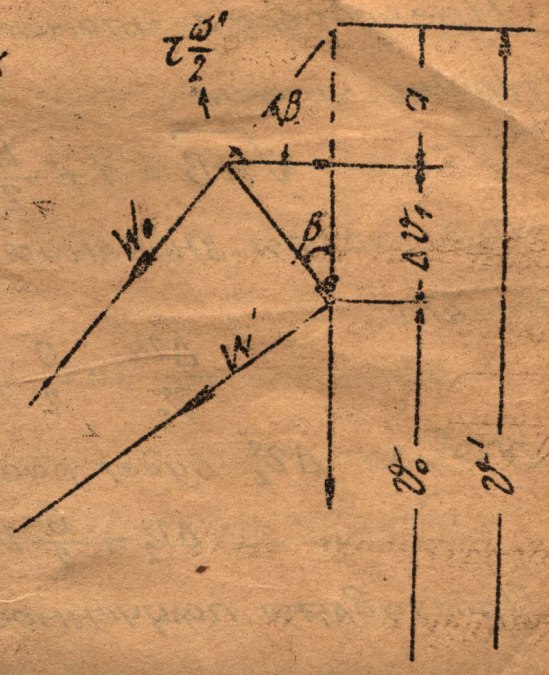
$$v' = v_0 + \frac{\Delta v_2}{2} + \frac{\Delta v_2}{2} \frac{\lambda_z^2}{\eta_i}, \quad (3')$$

Но, нам известно, что величина приращения скорости $\Delta v'$ равна:

$$\Delta v' = \frac{v_0}{2} (\sqrt{1+B} - 1)$$

а величина Δv_2 будет равна:

$$\frac{\Delta v_2}{v_0} = \sqrt{1+B} - 1, \quad \dots (5)$$



Подкоренное выражение формулы 5 может быть представлено в следующем виде:

$$\sqrt{1+B} = 1 + \frac{1}{2}B - \frac{1}{8}B^2 + \frac{3}{48}B^3 - \dots$$

Пренебрегая членами ряда, имеющими π^{10} и выше степени, имеем:

$$\sqrt{1+B} = 1 + \frac{B}{2} \dots (6)$$

Подставляя значения формулы 6 в формулу 5 имеем:

$$\frac{\Delta v_0}{v_0} = \frac{B}{2}$$

Отсюда Δv_0 будет равно:

$$\Delta v_0 = \frac{B}{2} v_0 \dots (7)$$

Подставляя полученное значение Δv_0 в формулу 3' имеем:

$$v' = v_0 + \frac{B}{4} v_0 + \frac{B}{4} v_0 \frac{\lambda_z^2}{\eta_i} = v_0 \left(1 + \frac{B}{4} + \frac{B}{4} \frac{\lambda_z^2}{\eta_i} \right) \dots (5')$$

Воспользуемся значением η_i , пренебрегая вторым множителем, как мало влияющим на η_i , имеем:

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{1+B}} = \frac{2}{2 + \frac{B}{2}} = \frac{1}{1 + \frac{B}{4}}$$

Отсюда определим значение $\frac{B}{4}$, равное:

$$\frac{B}{4} = \frac{1}{\eta_i} - 1 \dots (8)$$

Подставим значение полученное по формуле 8 в формулу 3'' и имеем:

$$v' = v_0 \left(\frac{1}{\eta_i} + \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \cdot \frac{\lambda_z^2}{\eta_i} \right)$$

Величина второго члена в скобке будет чрезвычайно мала, поэтому его можем пренебречь. И в окончательном виде получаем:

$$v' = \frac{v_0}{\eta_i} \dots (9)$$

По формуле 9 коэффициент, пропорциональный действительной поступи, может быть написан, как:

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{v'}{u} = \frac{v_0}{z_i 2\pi r c}, \quad \dots (10)$$

Зная, для металлических винтов изменение кривой шага по лопасти, или определяя шаг можем знать для каждого сечения углы установки β . Следовательно, угол атаки может быть получен как разность углов:

$$\alpha = \beta - \beta_0, \quad \dots (11)$$

Определив для каждого сечения α по графикам C_y и C_x находим соответствующие коэффициенты.

Определение силы тяги и мощности потребной для винта

Сила тяги развиваемая каждым элементом определяется по известной, уже формуле:

$$d\Phi_{\text{эл}} = \rho C_y v dr \frac{W_0^2}{2} \cos \beta_0 (1 - \mu \lambda z_i) \quad \dots (12)$$

Сила тяги создаваемая всей лопастью, будет:

$$\Phi_{\Lambda} = \int_{z_i}^R d\Phi_{\text{эл}}; \quad \dots (13)$$

Представим формулу 12 в следующем виде:

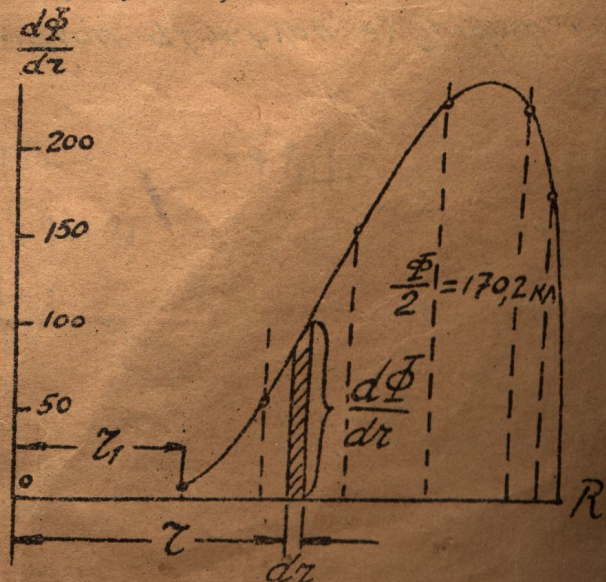
$$\frac{d\Phi_{\text{эл}}}{dr} = \rho C_y v \frac{W_0^2}{2} \cos \beta_0 (1 - \mu \lambda z_i) \quad \dots (12')$$

Уравнение 13 решаем графо-аналитическим способом представленное на фиг. 10.

Полная сила тяги, создаваемая винтом будет

$$\Phi_B = Z \Phi_{\Lambda}, \quad \dots (14)$$

где: Z - число лопастей.



Потребная для винта мощность может быть получена таким же способом.

Сила сопротивления вращению лопастного элемента равна:

$$dQ = \frac{dM_{эл}}{r} = \rho C_y v dz \frac{W_0^2}{2} \cos \beta_0 (\mu + \lambda' z), \quad \dots (15)$$

Элементарный момент будет:

$$dM_{эл} = \rho C_y v dz \frac{W_0^2}{2} \cos \beta_0 (\mu + \lambda' z) r, \quad \dots (16)$$

Преобразуем формулу 16 в следующий вид:

$$\frac{dM_{эл}}{dz} = \rho C_y v \frac{W_0^2}{2} \cos \beta_0 (\mu + \lambda' z) r, \quad \dots (16')$$

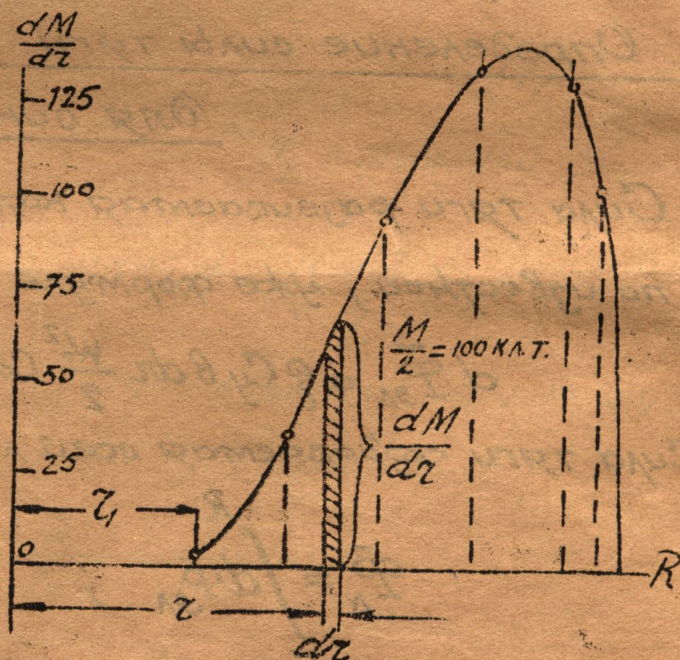
Подставляя известные нам величины для каждого сечения определим крутящий момент лопасти графо-аналитическим способом, фиг. 11.

Полный крутящий момент определится как:

$$M_v = Z M_L$$

где: Z - число лопастей

Зная крутящий момент, легко можем по известной формуле получить потребную для винта мощность.



Фиг. 11

