

О работе винта, помещенного в кольцо. Кольцевое крыло.

Введение

Механизм работы идеального пропеллера представляется нам следующим образом: работающий пропеллер, подсасывая воздух, понижает давление перед собой по сравнению с атмосферным. Благодаря наличию силы тяги, непосредственно за плоскостью диска пропеллера давление возрастает скачком до величины, большей атмосферного давления. Далее - из условия равновесия - скорости нарастают до тех пор, пока давление не станет атмосферным. При этом, в силу постоянства расхода воздуха, сечение струи непрерывно убывает вместе с давлением и, начиная с сечения, где давление стало равным атмосферному, остается постоянным (теоретически). Струя далее идет цилиндрической колонной.

Как известно, идеальный к. п. д. пропеллера выражается с помощью формулы:

$$\eta_i = \frac{2V}{V_2 + V}$$

где через V обозначена скорость полета, через V_2 - скорость в струе пропеллера далеко за пропеллером. Отсюда видно, что с точки зрения наибольшего к. п. д. желательно иметь минимальную скорость в струе за винтом V_2 .

В 1927 г. проф. Стечкиным была высказана мысль о возможности уменьшения скорости V_2 путем заключения винта в кольцо, которое препятствовало бы сужению струи за кольцом и тем самым

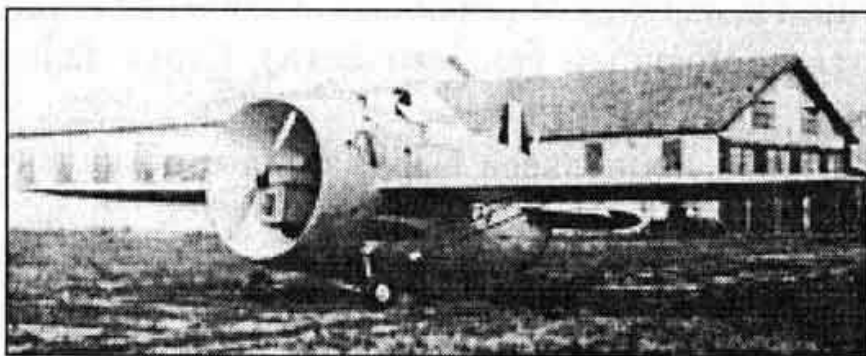
повышало бы к. п. д., снижая V_2 . При этом, так как для суммарной силы тяги комбинации "винт-кольцо" по условию количества движения имеем выражение:

$$\Phi_{\text{сум}} = \rho F V_1 (V_2 - V)$$

то для создания при заданной скорости заданной силы тяги кольцо, очевидно, должно увеличивать скорость протекания воздуха через винт V_1

В 1930 г. ЦАГИ для экспериментального подтверждения предположения проф. Стечкина были поставлены опыты в аэродинамической трубе. Винты в этих опытах применялись вентиляторного типа, профиль кольца варьировался. Выигрыш в этой серии опытов получен не был, винты во всех случаях устанавливались впереди кольца.

В 1931 г. были опубликованы некоторые соображения итальянского инженера Л. Стипа по вопросу о целесообразности применения винтов, работающих впереди широкого колца - трубы. Тогда же появилась работа проф. Пистолези, в которой им было дано теоретическое рассмотрение задачи о винте, работающем в кольце, построенное на базе теории идеального пропеллера, приводившее к качественным выводам о возможного получения выигрыша при работе винта в кольце. Начиная с 1931 г. инж. Стипа в разное время были опубликованы работы, освещавшие результаты последующих экспериментов, им проведенных. При работе на месте Стипа получил несомненный выигрыш по сравнению с изолированным винтом, однако, при наличии поступательного потока выигрыш этот быстро терялся и переходил даже в проигрыш.



Самолет Л. Стипа.

В 1933 г. им был построен самолет, в котором роль фюзеляжа играла труба, впереди которой был установлен винт и к бокам которой крепились крылья.

В СССР практическим применением идеи винта, работающего в кольце, занимался инж. Р.Л. Бартини, предложивший новую комбинацию - кольцевое крыло. С 1932 по 1934 гг. в ЦАГИ ставились опыты по винту- кольцу с несколько иными объектами, чем в первой серии опытов.

Задача настоящей работы - подвести итог проделанной в ЦАГИ экспериментальной работы и суммировать полученные результаты.

Опыты ЦАГИ по исследованию работы винта в кольце

В настоящей работе приведены результаты обработки опытов, проводимых в ЦАГИ в 1932-34 гг. Обе серии опытов проводились в аэродинамической трубе Т-2 на приборе В-II.

В 1932-33 гг. опыты велись с кольцом-трубой, хорда кольца была взята в 5 м, диаметр входного и выходного отверстий равнялся 2 м. Профиль кольца - лекальный, с относительной толщиной 6,4%, причем внутренняя носовая часть профиля могла изменяться путем добавления или снятия особой кольцевой вставки. Испытывались три

винта: винт №1 и №2, диаметром 2 м. и с различными коэффициентами покрытия (с различной шириной лопастей), относительный шаг винта №1 был 0,978, винта №2 - 0,71 и винт №3 диаметром 1,59 м и относительного шага 1,48 м. Винты №1 и №2 устанавливались впереди кольца, винт №3 - в месте наибольшего сужения кольца на расстоянии 1,6 м от передней кромки, что составляет 32% длины кольца. Кольцо расчаливалось в трубе независимо от винта, так что можно было замерять силу лобового сопротивления (тяги) кольца, силу тяги и момент на валу винта.

Винты №1 и №2 испытывались при 1000 об/мин, а винт №3 при 1100 об/мин, выдерживавшихся постоянными при всех λ , так что характеристика опыта для винтов №1 и №2 была $n_s D = 33,3$, и для винта №3 $n_s D = 29,2$.



Опыты ЦАГИ в 1934 г. проводились в той же аэродинамической трубе Т-2 с двумя кольцами. Диаметр обоих колец по месту наибольшего сужения равнялся 2,4 м, причем входное отверстие равнялось выходному. Диаметр винтов был взят $D = 2$ м. Хорда кольца №1 была выбрана $b = 500$ мм и кольца №2 $b = 250$ мм. Отношение хорды кольца к диаметру винта, таким образом,

составляло для кольца №1 0,25 и для кольца №2 0,125.

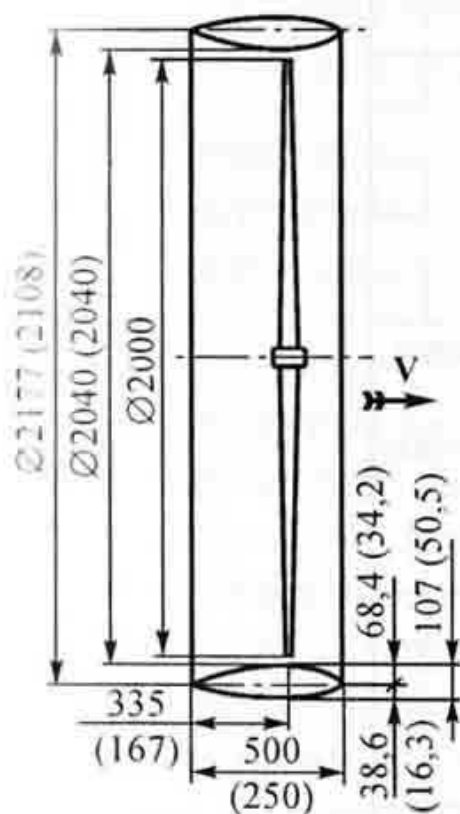


Схема кольца № 1
(в скобках приведены
размеры кольца № 2).

Профиль обоих колец был взят одинаковым: модификация Clark-Y с относительной толщиной 21%, угол установки профилей кольца $\alpha = 0$. Опыты велись с тремя винтами одинакового диаметра 2 м, но с различной формой лопастей разным шагом. Были проведены опыты с винтами №1 и №2, применявшимися при старых опытах 1932-33 гг, и с винтом №76, деревянные лопасти которого были укреплены в металлической втулке и перед началом опыта могли быть установлены под желаемым углом. С этим винтом опыты проводились при углах установки лопастей на относительном радиусе $\bar{r} = 0,75$ $\Phi_n = 12 \circ 50'$, $20 \circ 20'$, $26 \circ 15'$. Во всех опытах винты устанавливались в месте наибольшего сужения кольца.

Как и ранее, осуществлялась такая подвеска кольца и мотора в трубе, которая позволяла замерять отдельно силу тяги и момент винта, и силу лобового сопротивления (тягу) кольца. Винты и кольца, кроме того, были испытаны, как изолированные.

Результаты опытов с винтами №1 и №2, установленными впереди кольца-трубы с первоначальным профилем, контур внутренней части которого образован двумя прямыми линиями и с профилем модифицированным, так, что внутренняя носовая часть его представляла плавную кривую (путем установки кольцевой вставки), дана на следующих диаграммах



Испытание винта № 1.



Испытание винта № 2.

На этих диаграммах нанесены кривые коэффициента мощности винта $\beta = f(\lambda)$, кривые коэффициента тяги, получающейся на валу винта $\alpha = f(\lambda)$, кривые коэффициента эффективной тяги винта $\alpha_{\text{э}} = f(\lambda)$ и наконец кривые коэффициента чистой тяги винта $\alpha_{\text{ч}} = f(\lambda)$. При этом под эффективной тягой винта $\Phi_{\text{э}}$ понимается тяга на валу винта, уменьшенная на величину дополнительного, возникающего за счет работающего винта, лобового сопротивления кольца (в случае, когда кольцо при работающем винте давало тягу вперед - увеличенная на величину этой дополнительной тяги кольца)

$$\Phi_{\text{э}} = \Phi - (Q - Q_0)$$

где Q - сила, действующая на кольцо при работающем винте (принимается положительной, если это сила лобового сопротивления)

Q_0 - лобовое сопротивление кольца без винта при той же скорости

потока

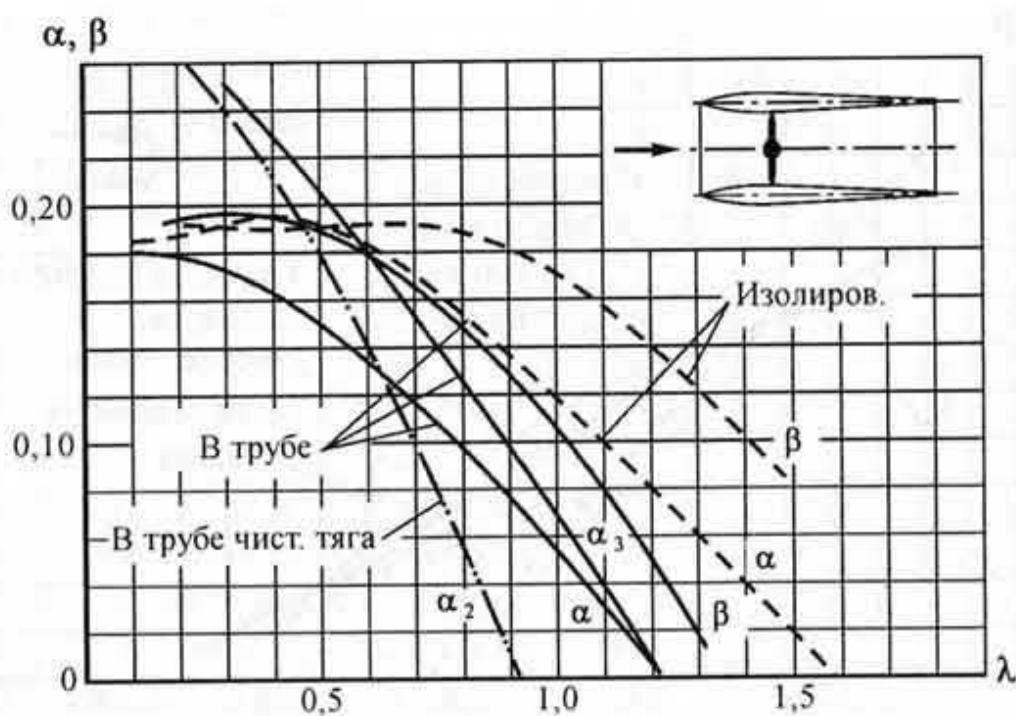
в

трубе.

Под чистой тягой понимается результирующая осевая сила, получающаяся в системе винт-кольцо, т. е. эффективная тяга, уменьшенная на величину лобового сопротивления кольца без винта, при той же скорости потока:

$$\Phi_{\text{ч}} = \Phi - Q = \Phi_{\text{э}} - Q_0$$

Аналогичные кривые для винта №3, испытанного внутри кольца с модифицированным профилем (со вставкой) представлены на следующем графике



Испытание винта №3

При установке винта впереди кольца-трубы (случай, которым занимался Л. Стипа) эффективная сила тяги на значительном диапазоне режимов работы винта оказывается меньше тяги винта, т. е. винт увеличивает лобовое сопротивление кольца и только при малых значениях λ превышает тягу винта.

Более плавная форма носа профиля кольца оказывается выгодной. В кольце без вставки превышение эффективной тяги над тягой на валу винта наступает при меньших значениях λ , чем в кольце со вставкой (с более плавной формой носа профиля). При расположении винта внутри кольца - трубы в месте наибольшего ее сужения, эффективная тяга всюду выше тяги на валу винта.

Правильней, однако, оценивать достоинства той или иной комбинации винта и кольца путем сравнения не эффективной тяги, а той чистой тяги, которую эта комбинация дает. Чистая тяга всюду, кроме самых малых λ , оказывается меньше тяги винта, причем на диаграммах испытания винтов №1 и №2 отчетливо виден благоприятный эффект более плавной формы носа профиля. Здесь следует заметить, что Л. Стипа, экспериментировавший главным образом с профилями колец, контур внутренней части которых был образован двумя прямыми, пришел к заключению, что наиболее рационален именно такой тип профиля с линейным внутренним контуром.

На следующем графике даны кривые чистого к. п. д.

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\Phi_{\text{ч}} V}{75N}$$

а также кривые к. п. д. изолированных винтов. Здесь также видна целесообразность применения профилей с плавным криволинейным контуром. Любое сопротивление кольца-трубы оценивается полученной при опытах величиной

$$\frac{Q_0}{\rho V^2} = 0,35$$

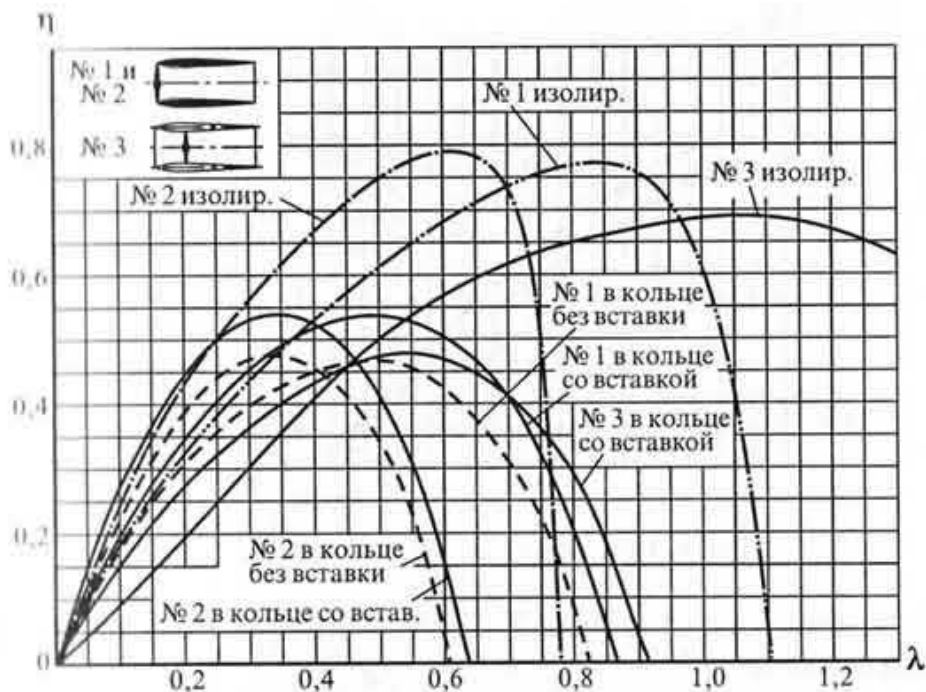


Диаграмма чистых к.п.д. винтов в кольце-трубе.

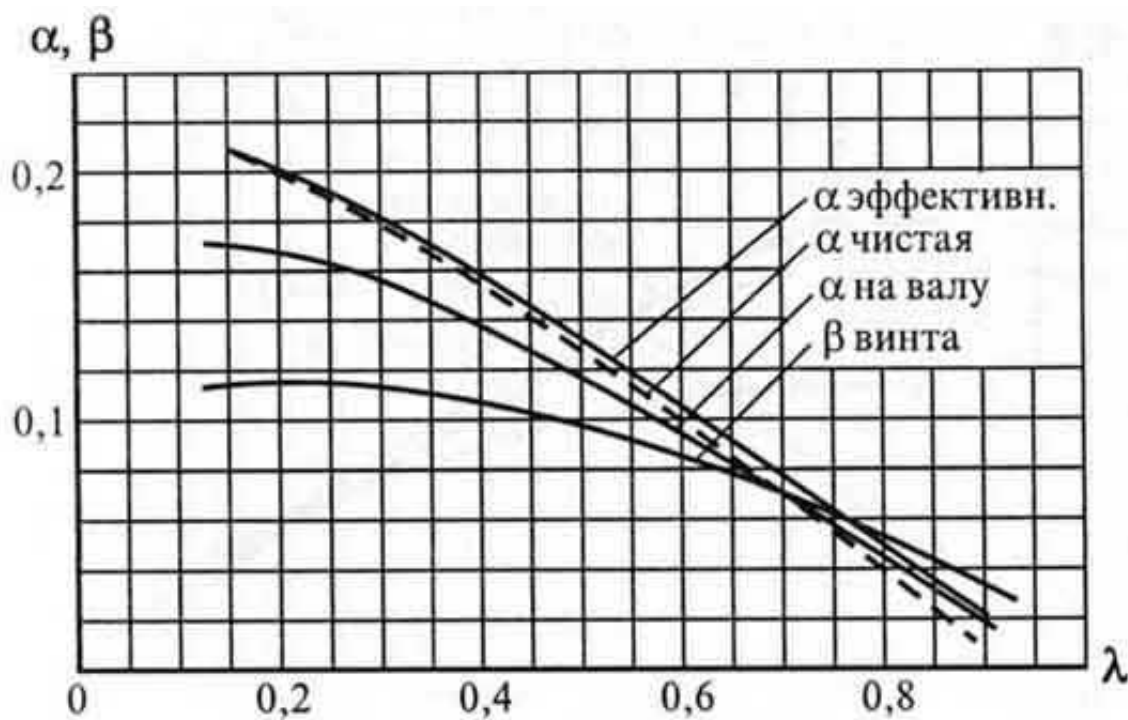
Для того, чтобы иметь представление о порядке этой цифры, подсчитаем величину лобового сопротивления фюзеляжа нормального типа. Если принять, что в среднем эквивалентный диаметр миделя фюзеляжа равен $d = 0,5D$ и взять коэффициент лобового сопротивления для нормального фюзеляжа $C_x = 0,1$, то для масштаба испытывавшейся модели ($D = 2$ м) получим

$$\frac{Q_{0\text{норм}}}{\rho V^2} \approx 0,08$$

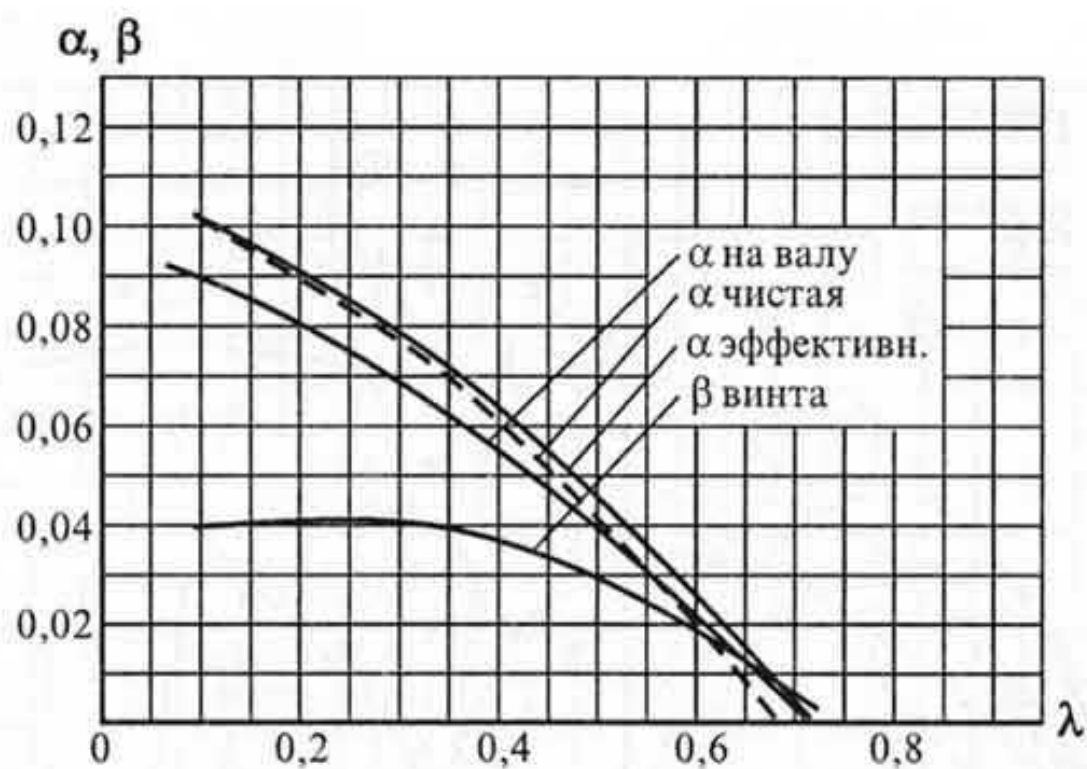
Другими словами, лобовое сопротивление нормального фюзеляжа примерно в четыре раза меньше сопротивления фюзеляжа-трубы. Даже учитывая добавочную подъемную силу фюзеляжа-трубы,

можно сказать, что замена обычного фюзеляжа фюзеляжем-трубой приведет к проигрышу в максимальной скорости и, по видимому, к проигрышу на всем летном диапазоне скоростей.

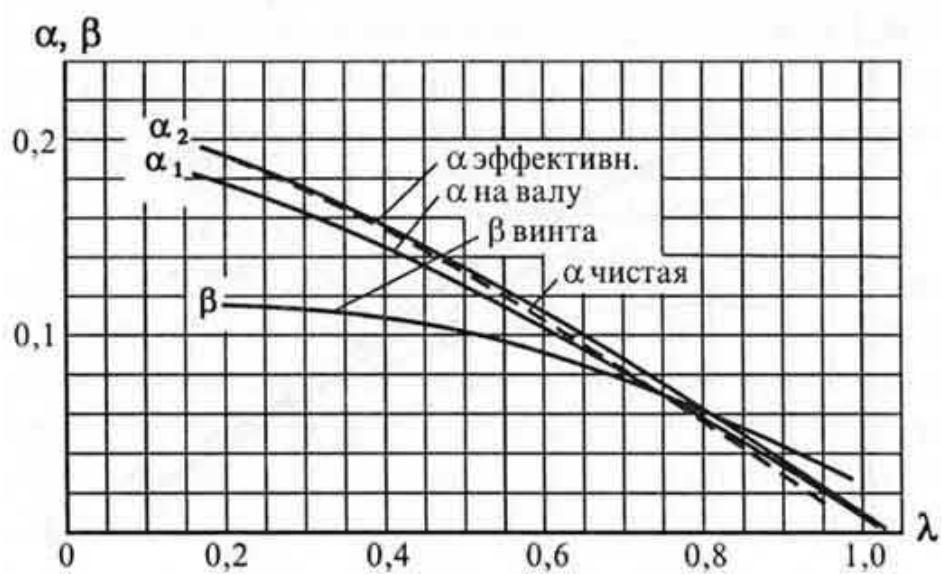
Результаты испытаний второй серии опытов ЦАГИ, проведенных в 1934 г. представлены для винтов №1 и №2 на следующих графиках:



Испытание винта № 1 в кольце № 1.



Испытание винта № 1 в кольце № 1.

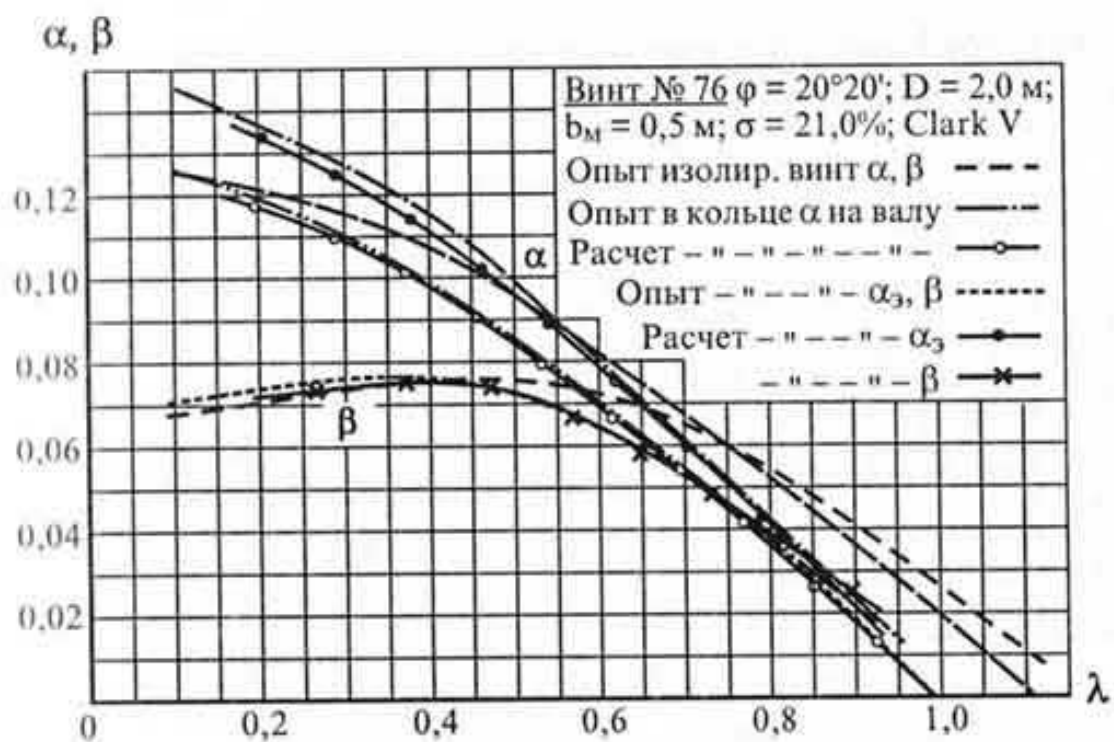


Испытание винта № 1 в кольце № 2.

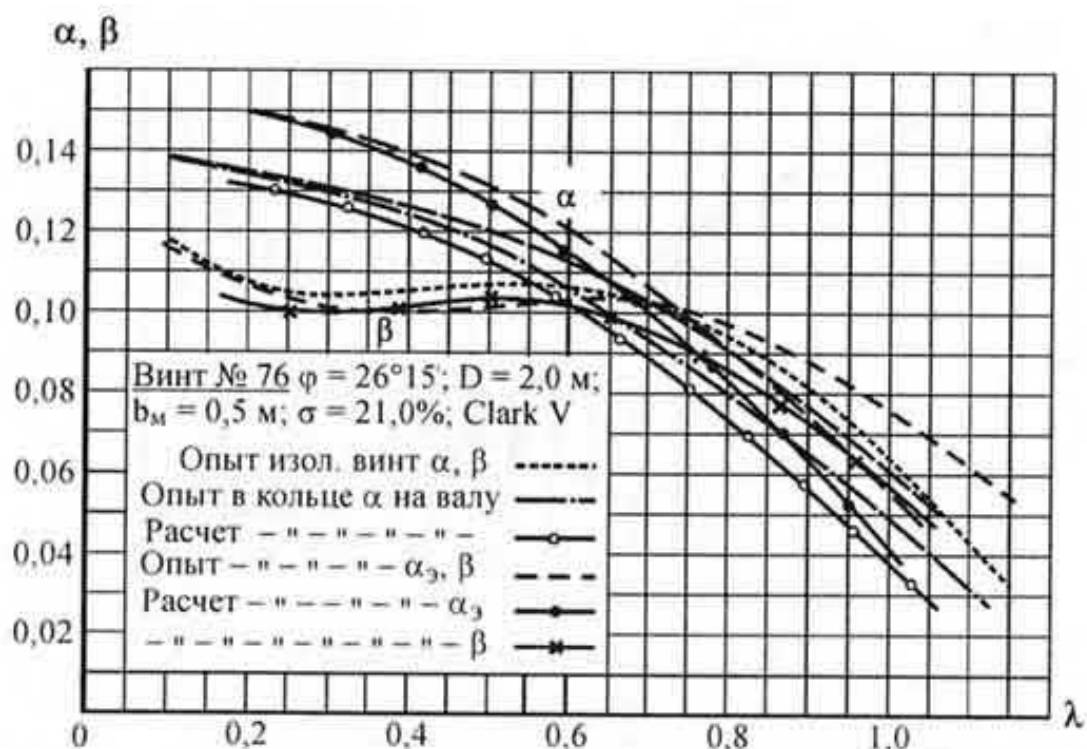


α, β
 Винт № 76 $\varphi = 12^\circ 50'$; $D = 2,0$ м;
 $b_m = 0,5$ м; $\sigma = 21,0\%$; Clark V
 Опыт изол. винт α, β -----
 Опыт в кольце α на валу — · —
 Расчет — — — — —
 Опыт — — — — — α_3, β
 Расчет — — — — — α_3
 — — — — — β
 $b = b_{\text{расч}} - 0,05$
 λ

Испытание винта № 76 в кольце № 1.



Испытание винта № 76 в кольце № 1.



Испытание винта № 76 в кольце № 1.

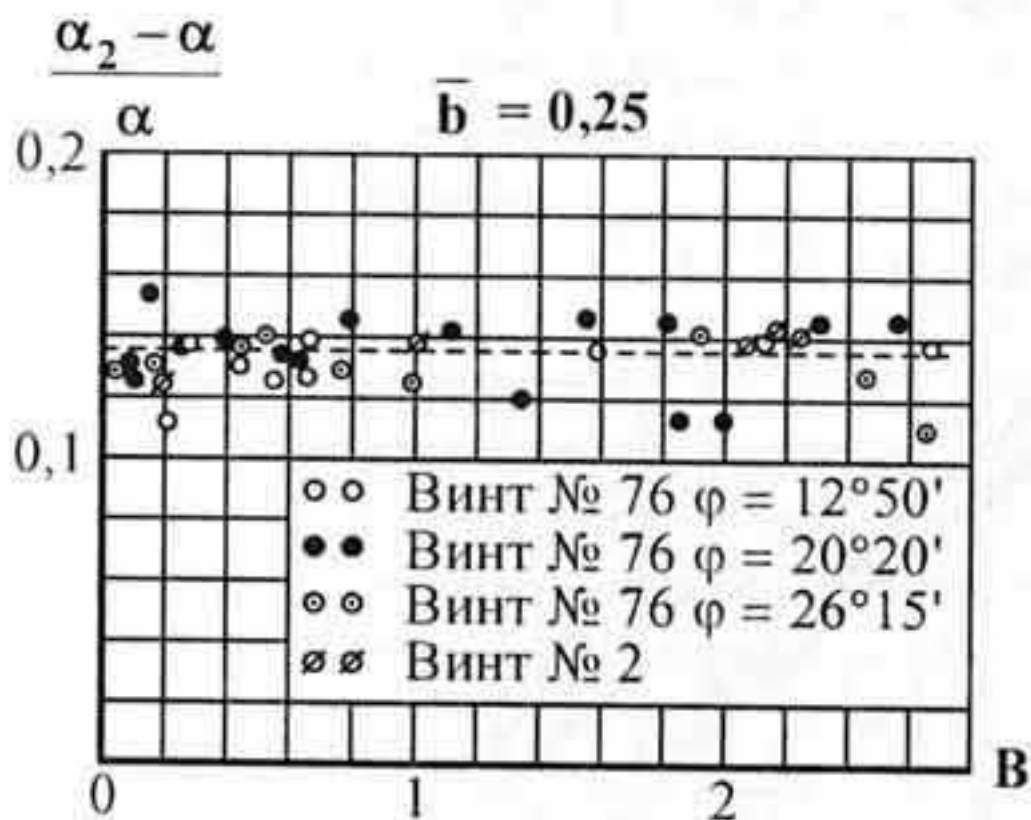
Рассматривая эти диаграммы можно видеть, что эффективная тяга на

всем диапазоне режимов работы винта оказывается выше тяги на валу винта. Другими словами, в присутствии работающего винта кольцо вместо лобового сопротивления дает тягу, возрастающую с уменьшением λ (с увеличением коэффициента нагрузки винта). Очевидно, силы трения, действующие на кольцо при больших его размерах (как в первой серии опытов) настолько велики, что могут полностью компенсировать индуцированную винтом тягу кольца. При малой же глубине кольца удельный вес сил трения оказывается значительно меньше. Вследствие малой глубины кольца чистая тяга уже меньше отличается от эффективной тяги и на значительном диапазоне λ превышает тягу на валу винта.

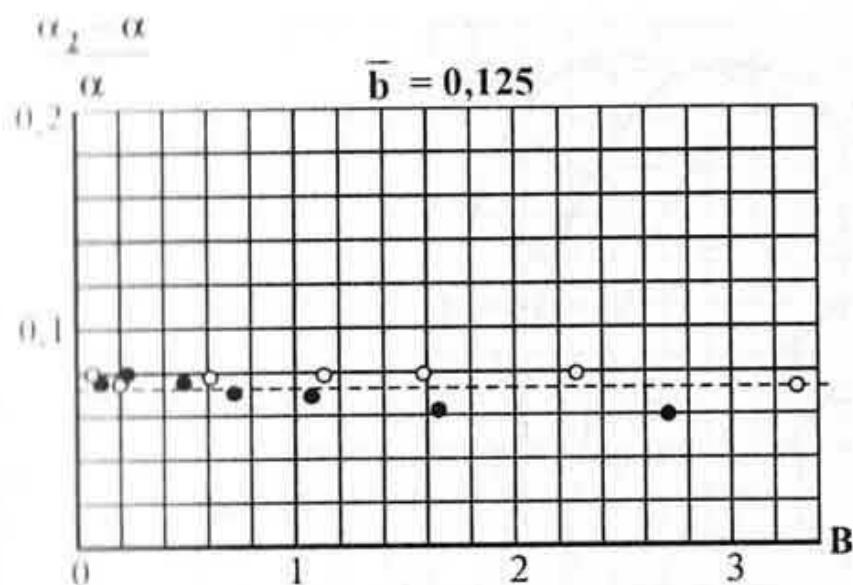
Далее, как показывают последние графики, кривые $\alpha = f(\lambda)$ и $\beta = f(\lambda)$ при работе винта в кольце сдвигаются по сравнению с кривыми изолированного винта влево, что означает наличие ускорения потока в плоскости винта в том случае, когда он помещен внутри кольца. Этого следовало ожидать, имея ввиду направление циркуляции скорости вокруг профиля кольца.

Анализ	результатов	опытов	с	кольцами.
Оценка	преимуществ	комбинации		винт-кольцо

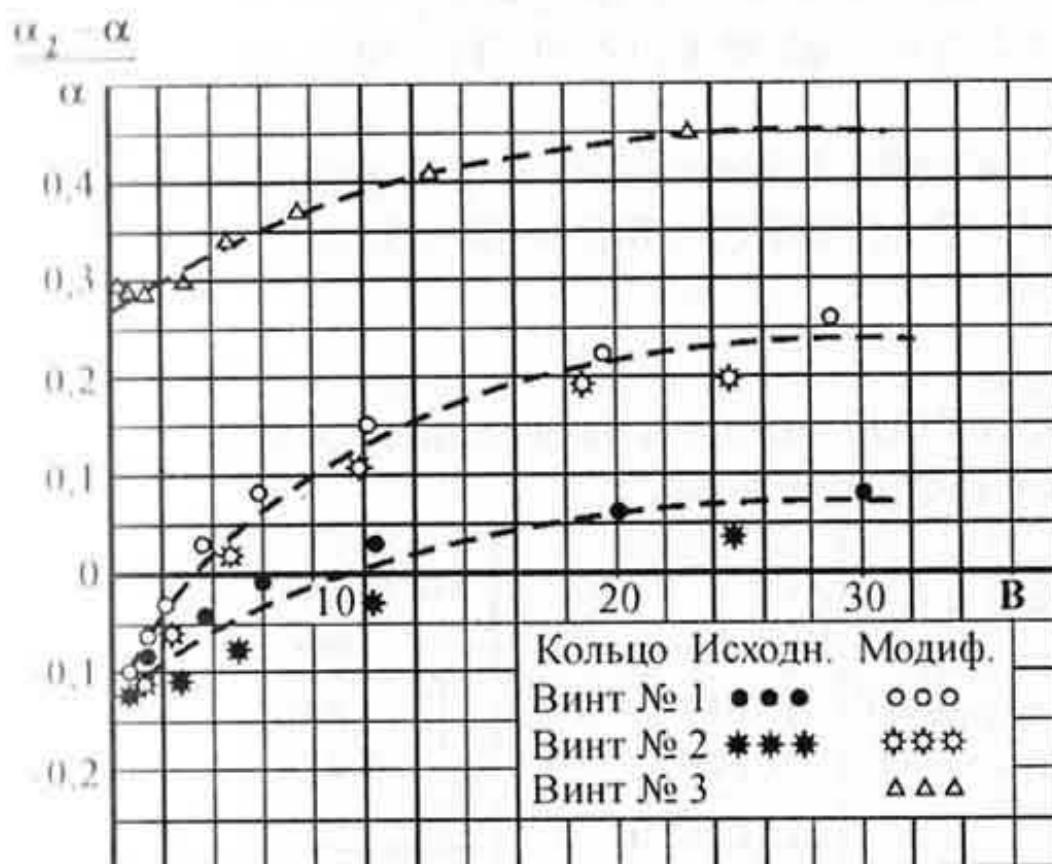
Для установления зависимости между тягой, развиваемой кольцом, и тягой на валу винта были построены для различных типов кольца зависимости тяги кольца от тяги на валу винта в функции от режима работы винта:



Зависимость тяги
кольца от тяги винта.
Кольцо № 1 $\bar{b} = 0,25$.



Зависимость тяги кольца от тяги винта.
Кольцо № 2 $\bar{b} = 0,125$.



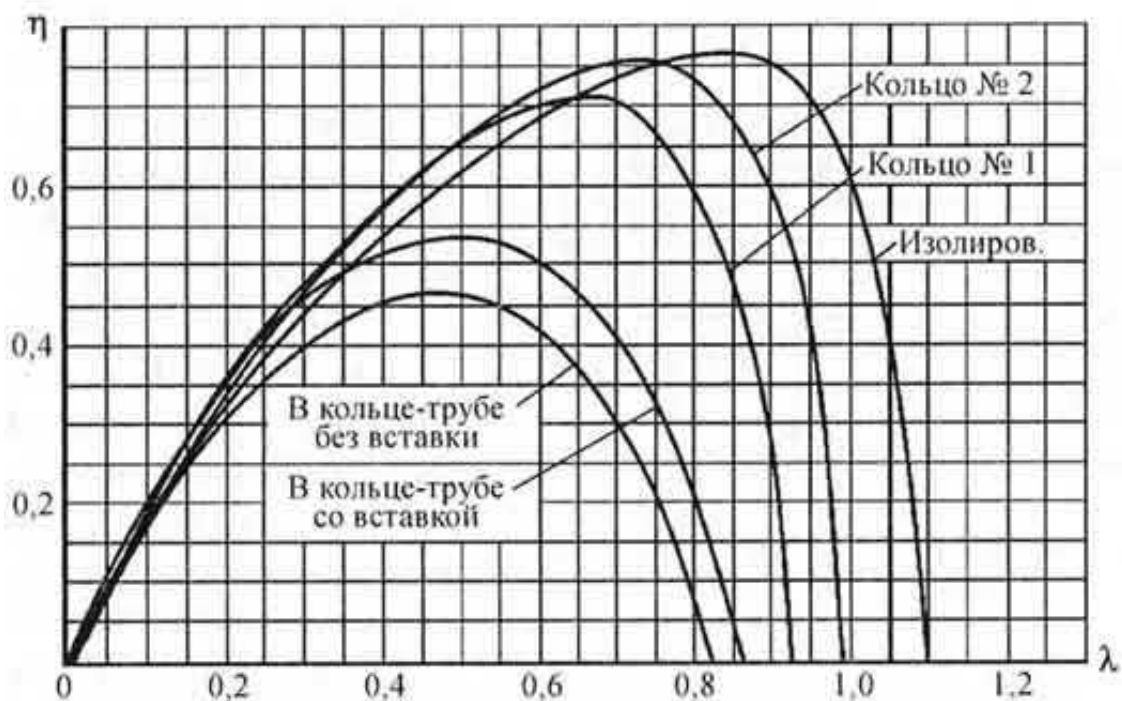
Зависимость тяги кольца от тяги винта.
Труба-кольцо $b = 5$ м.

Как видно из этих зависимостей, опыт дает приблизительно постоянные значения для отношения тяги кольца к тяге на валу винта, независимо от типа винта и режима его работы для колец сравнительно небольшой глубины (отношение глубины кольца к диаметру винта 0,125 и 0,25) и показывает тенденцию к возрастанию этого отношения с ростом коэффициента нагрузки в случае, когда винт установлен в месте наибольшего сужения кольца-трубы с большой глубиной (3,14). При установке винта впереди глубокого кольца-трубы (2,5) это отношение резко изменяется в зависимости от V , причем при небольших значениях V (область максимальной и крейсерской скорости полета), оно становится отрицательным, т. е. кольцо вместо тяги дает лобовое сопротивление. Тяга кольца заметно увеличивается за счет плавной формы носовой части кольца, но все

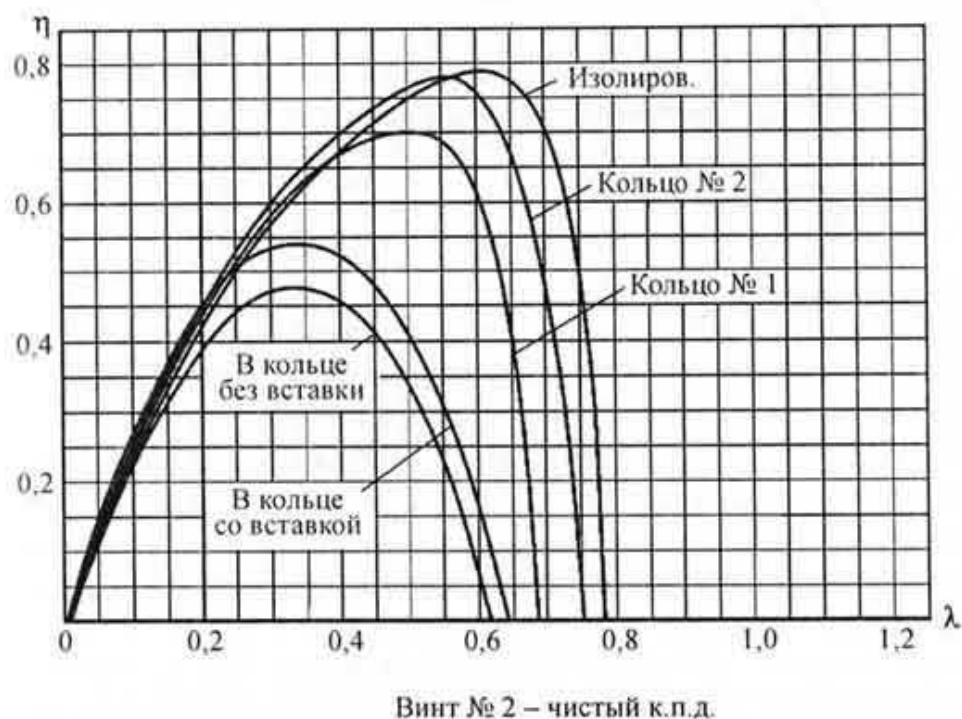
же остается отрицательной при малых B .

Результат тождественен с результатами опытов Стипа, исследовавшего глубокие кольца с установкой винта перед кольцом. Эти опыты показали значительную тягу кольца при работе винта на месте и лобовое сопротивление вместо тяги на режимах, близких к режиму максимальной скорости.

Рассматривая диаграммы изменения чистого к. п. д. одних и тех же винтов при помещении их в разных кольцах,

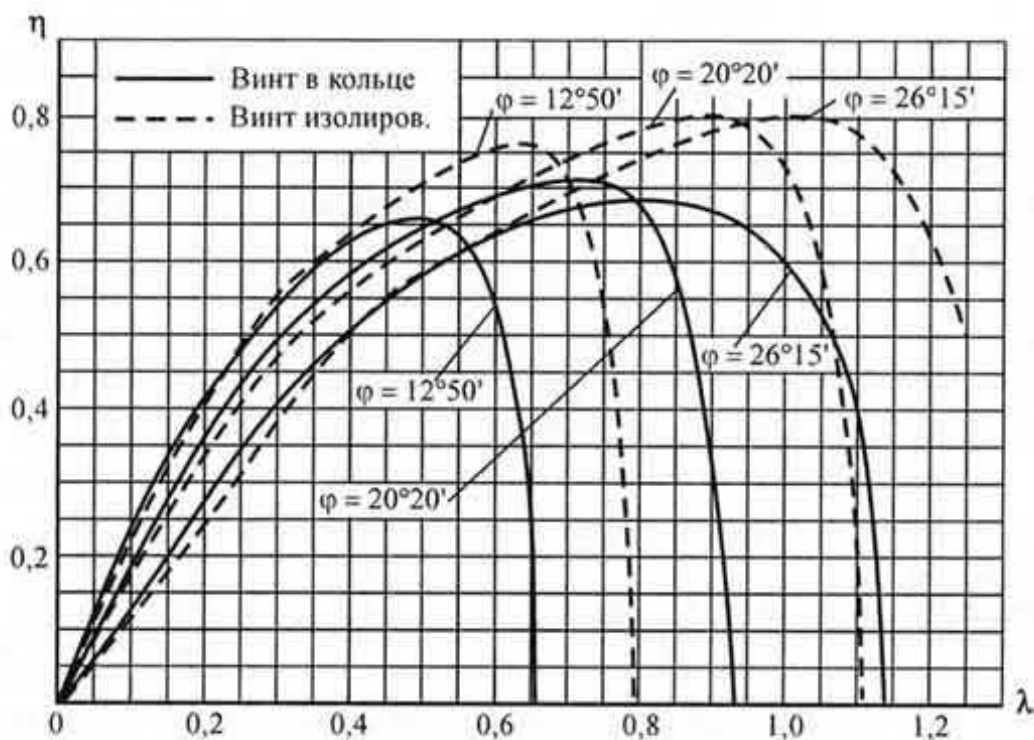


Винт № 1 – чистый к.п.д.



можно сделать заключение, что установка кольца всегда снижает максимальный к. п. д. и, следовательно, максимальную скорость. Кольцо-труба без вставки несомненно менее выгодно, чем то же кольцо со вставкой (с более плавными носками профиля). Увеличение глубины кольца очень резко снижает максимальный к. п. д., сдвигая его в то же время в сторону меньших λ и несколько повышает к. п. д. на малых λ (малых скоростях).

Следующий график иллюстрирует изменения в чистом к. п. д., вносимые кольцом небольшой глубины для одного и того же винта различного шага. Приведенные данные позволяют сделать предположение, что установка винтов очень большого шага в кольцо принесет меньшие выгоды, чем при нормальном среднем шаге винтов.



Испытание винта № 76 в кольце № 1.

Для наглядности в таблице приведены некоторые характеристики винтов, испытанных в различных кольцах. В первом столбце таблицы приведены значения

$$\lambda = \frac{V}{n_s D}$$

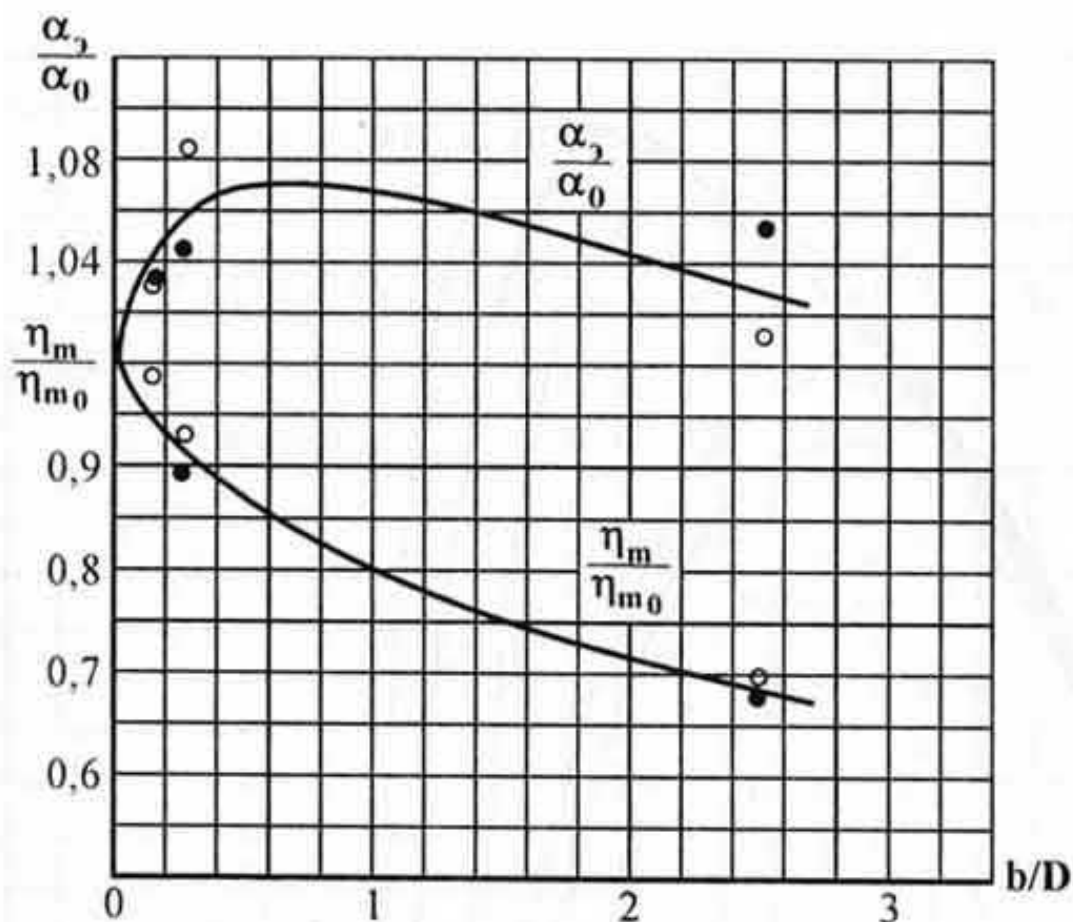
при которых имеет место максимум к. п. д. Второй столбец дает отношение этих λ к λ при $\eta = \eta_{\max}$ изолированного винта. В третьем столбце даны значения η_{\max} . В четвертом - отношения η_{\max} к η_{\max} изолированного винта.

Объект исследования		λ при η_{\max}	$\frac{\lambda}{\lambda_{\Sigma}}$	Чистый к.п.д. η_{\max}	$\frac{\eta_{\max}}{\eta_{0\max}}$
Исходное кольцо-труба (см. рис. 2)	Винт № 1 (впереди кольца)	0,490	0,59	0,460	0,601
	Винт № 2 (впереди кольца)	0,345	0,57	0,475	0,601
Кольцо-труба со вставкой (см. рис.2)	Винт № 1 (впереди кольца)	0,500	0,60	0,534	0,696
	Винт № 2 (впереди кольца)	0,345	0,57	0,538	0,680
	Винт № 3 (внутри кольца)	0,540	0,52	0,478	0,700
Кольцо № 1 (см. рис. 3)	Винт № 1	0,660	0,80	0,710	0,929
	Винт № 2	0,505	0,83	0,702	0,890
	Винт № 76 $\varphi = 12^{\circ}50'$	0,490	0,78	0,664	0,865
	Винт № 76 $\varphi = 20^{\circ}20'$	0,715	0,76	0,720	0,893
	Винт № 76 $\varphi = 26^{\circ}15'$	0,810	0,79	0,689	0,862
Кольцо № 2 (см. рис. 3)	Винт № 1	0,500	0,60	0,534	0,696
	Винт № 2	0,345	0,57	0,538	0,680

Наилучшими, как видно из следующей таблицы, является комбинация винтов с кольцами небольшой глубины. Глубокое кольцо-труба заведомо хуже, чем кольцо небольшой глубины.

Угол установки лопастей на $0,75R$ $\varphi_{\text{у}}$	Винт	λ при η_{\max}	$\frac{\lambda_{\text{изол}}}{\lambda}$	η_{\max}	$\frac{\eta_{\max}}{\eta_{\text{изол}}}$	$\left(\frac{\alpha}{\alpha_{\text{изол}}}\right)_{\lambda=0,1}$
$12^{\circ}50'$	В кольцо	0,495	0,778	0,661	0,866	1,066
	Изолир.	0,630		0,767		
$20^{\circ}20'$	В кольцо	0,715	0,799	0,720	0,892	1,156
	Изолир.	0,895		0,807		
$26^{\circ}15'$	В кольцо	0,810	0,793	0,687	0,859	1,108
	Изолир.	1,020		0,800		

Приближенное представление о характере влияния глубины кольца можно получить, рассматривая следующий график:



Влияние глубины кольца
на характеристики винта.

Для суждения об эффективности винта в кольце в зависимости от шага винта можно воспользоваться таблицей, построенной по данным опытов с винтом № 76. Согласно этих данных, наилучший эффект получится при угле установки лопастей $20^{\circ}20'$, что соответствует относительному шагу 0,87. Увеличение угла установки до $26^{\circ}15'$ (относительный шаг 1,16) приводит к ухудшению и в максимальном к. п. д. и в тяге на месте.

Выйгрыш в к. п. д. комбинации винта с кольцом может быть получен за счет следующих причин. Во-первых, как уже говорилось в начале этой работы, часть мощности двигателя, шедшая на увеличение скорости в струе за винтом, при установке винта в кольце идет на полезную работу. Во-вторых, благодаря изменению скорости потока

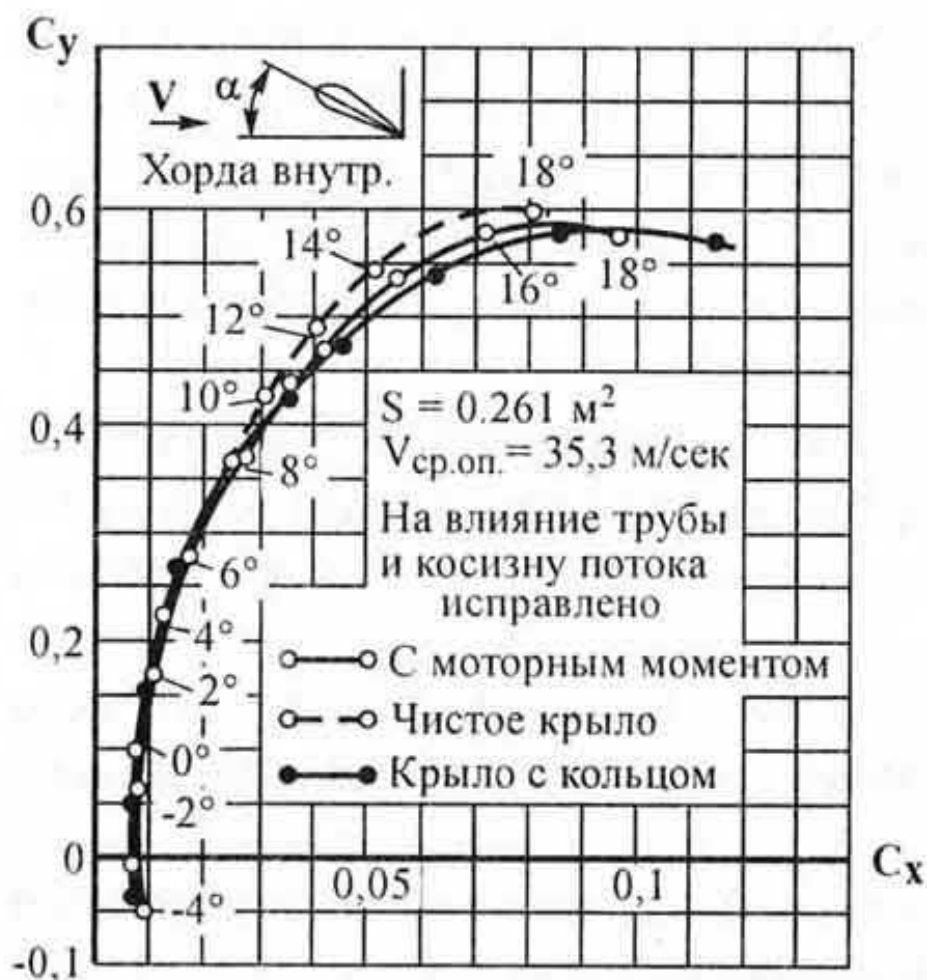
в плоскости диска винта, вызванному кольцом, для использования определенной мощности двигателя при определенной скорости полета необходимо изменить шаг винта против шага изолированного винта при тех же условиях.

При наличии ускорения потока в плоскости винта это изменение шага заключается в его увеличении, что при средних значениях относительного шага может увеличить механический к. п. д. винта в области максимального к. п. д. Наконец, третьей причиной выигрыша может быть снижение потерь из-за вращения струи, так как при менее суженной струе за винтом, соответствующей случаю винта в кольце, тангенциальные силы в струе будут меньше, чем у изолированного винта.

Приведенные материалы позволяют сделать следующие общие выводы:

- Необходимым условием для эффективной комбинации винт-кольцо является плавность формы профиля, образующего кольцо, особенно в носовой его части
- Наиболее рациональным положением винта в кольце является его положение в месте наибольшего сужения кольца. Расположение винта впереди кольца нецелесообразно.
- Глубина кольца не должна быть большой во избежание заметного снижения максимального чистого к. п. д. комбинации
- Эффективность кольцевой схемы возрастает с ростом коэффициента нагрузки. Наоборот, при малых B может получиться проигрыш в к. п. д. Это предопределяет область применения колец в самолетостроении - в случаях сильно нагруженных винтов при тихоходных самолетах или, когда в силу каких либо соображений необходимо уменьшить диаметр винта против наивыгоднейшего, и указывает на целесообразность применения колец на аэросанях и на судах.

Помимо опытов с симметричными кольцами постоянной глубины, был произведен ряд опытов с моделью кольцевого крыла самолета ДАР по заданиям Самолетного научно-исследовательского института Гражданского Воздушного Флота. Опыты велись с двумя моделями: первая модель небольшого размера, представлявшая собой в некотором масштабе крыло самолета ДАР, испытывалась в аэродинамической трубе Т-1 как без винта, так и в присутствии работающего винта. Вследствие малости масштаба (винт, ставившийся на модель имел диаметр 194 мм) и трудности производства точных замеров мощности, поглощаемой винтом, опыты эти с работающим винтом имели чисто качественный характер. Однако, эти опыты позволяют получить, например ответ на интересный вопрос об изменении поляры кольцевого крыла по сравнению с крылом обычного типа. Такая сравнительная диаграмма поляр без винта представлена на следующем графике:



Труба Т-1, прибор 4КГ-1. Сводная диаграмма испытания на полярю модели.

Как видно из этой диаграммы, поляр колцевого крыла очень близка к поляре нормального крыла. Это обстоятельство чрезвычайно важно, так как, следовательно, схема кольцевого крыла свободна от недостатка, которым обладают нормальные кольца: наличие в крыле колцевого участка, не увеличивает лобового сопротивления крыла при одних и тех же значениях коэффициента подъемной силы.

В исследованной модели крыла, представленной на следующем рисунке

видно,

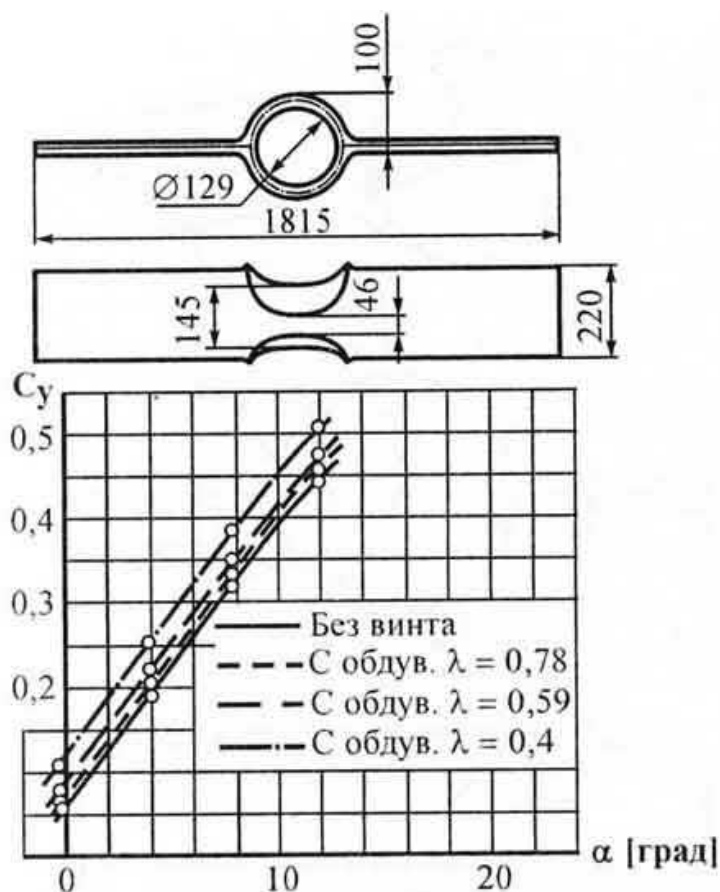
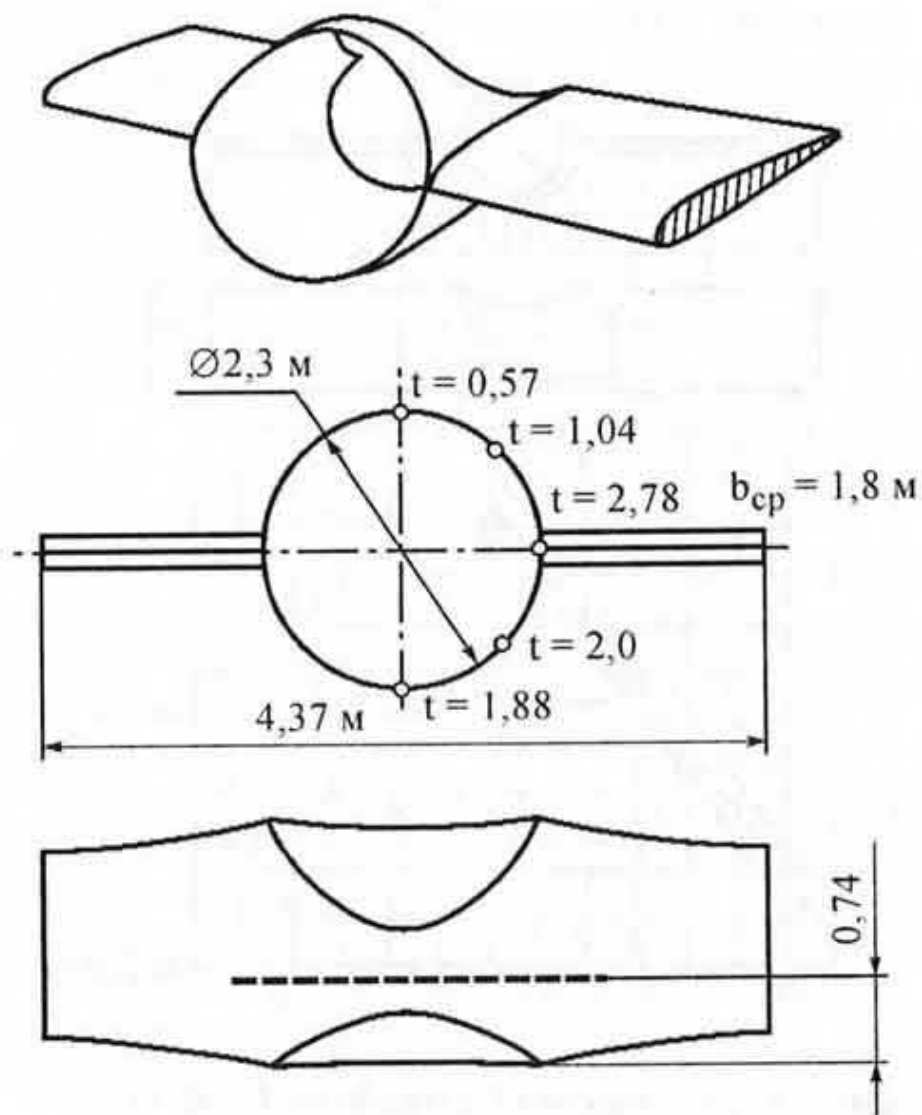


Диаграмма испытаний на C_y по α
крыла с кольцом. Винт двухлопастной
 $D = 0,194$ м, $h_B = 1,197$ м.

что глубина верхней части кольца меньше глубины нижней части. Такое распределение глубины кольца обуславливает возникновение добавочной подъемной силы крыла при работающем винте. На диаграмме представлены кривые зависимости коэффициента подъемной силы по углу атаки кольцевого крыла без винта и в присутствии работающего винта. Как видно, имеет место некоторый рост коэффициента подъемной силы при одном и том же угле атаки при возрастании коэффициента нагрузки на ометаемую площадь (при уменьшении λ винта).

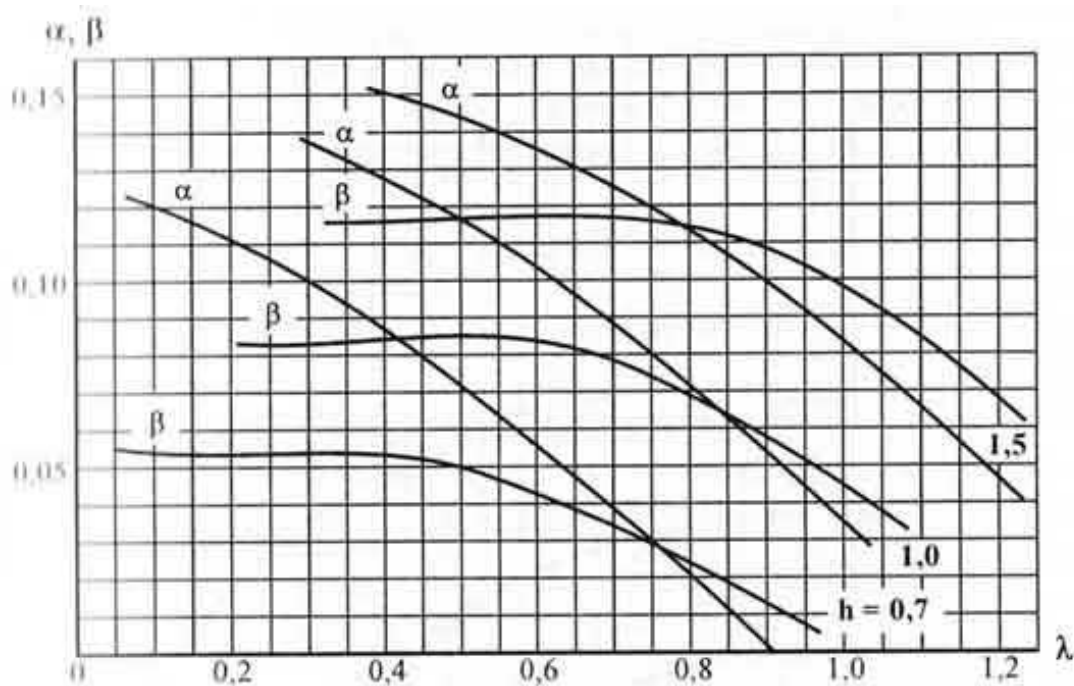
В настоящей работе будут рассмотрены, главным образом результаты опытов, проведенных со второй моделью в аэродинамической трубе Т-2. Вторая модель представляла собой центральный отсек крыла с кольцом, выполненный в достаточно большом масштабе.



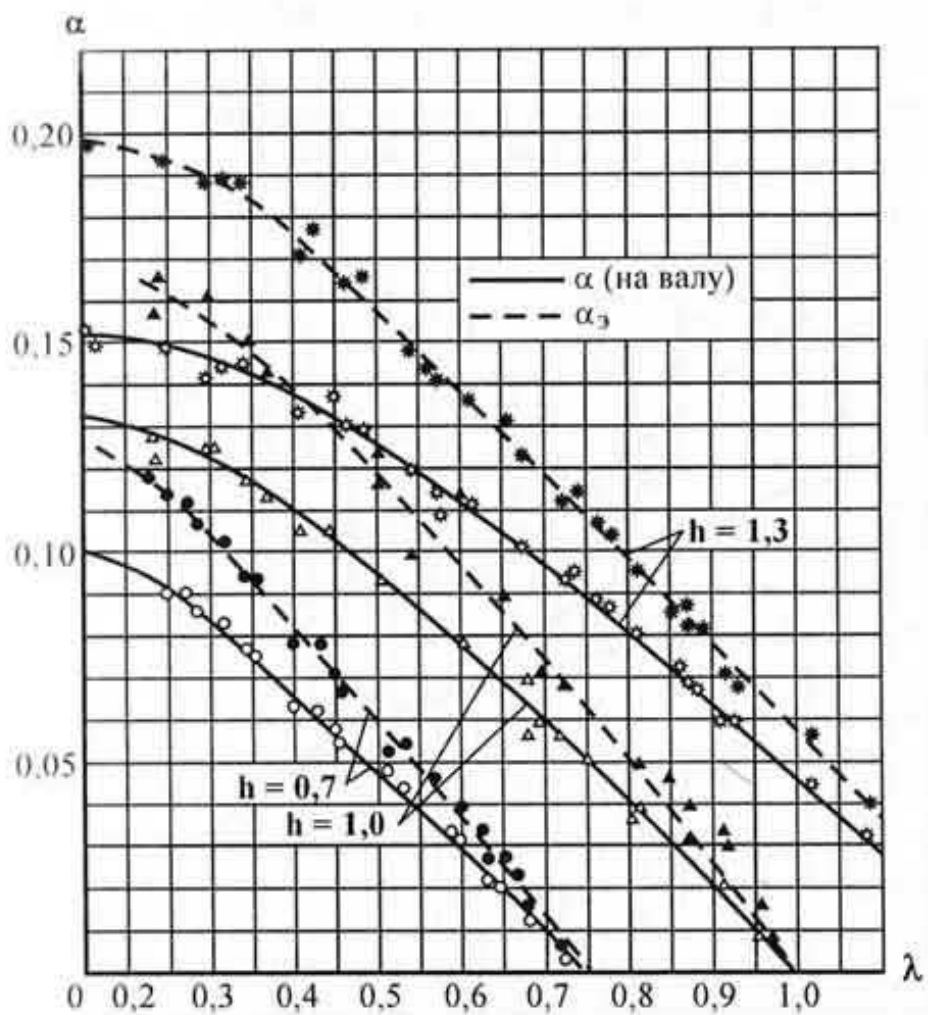
Общий вид модели кольца ДАР М 1:1,164.

Были проведены испытания по определению лобового сопротивления кольцевого центроплана как без винта, так и при работающем винте, причем тяга и мощность винта замерялись. Опыты велись с винтом диаметра 2,16 м, имевшем деревянные лопасти, укрепленные на металлической втулке. Испытания были проведены при трех углах установки лопастей во втулке $17^{\circ}15'$, 23° и 29° , соответствовавшим трем значениям относительного шага - 0,7, 1,0, и 1,3 как в кольце, так и без кольца (изолированные винты). В целях подобия действительности конструкции самолета, при опытах впереди винта, в кольце подвешивалось тело вращения, соответствующее моторной

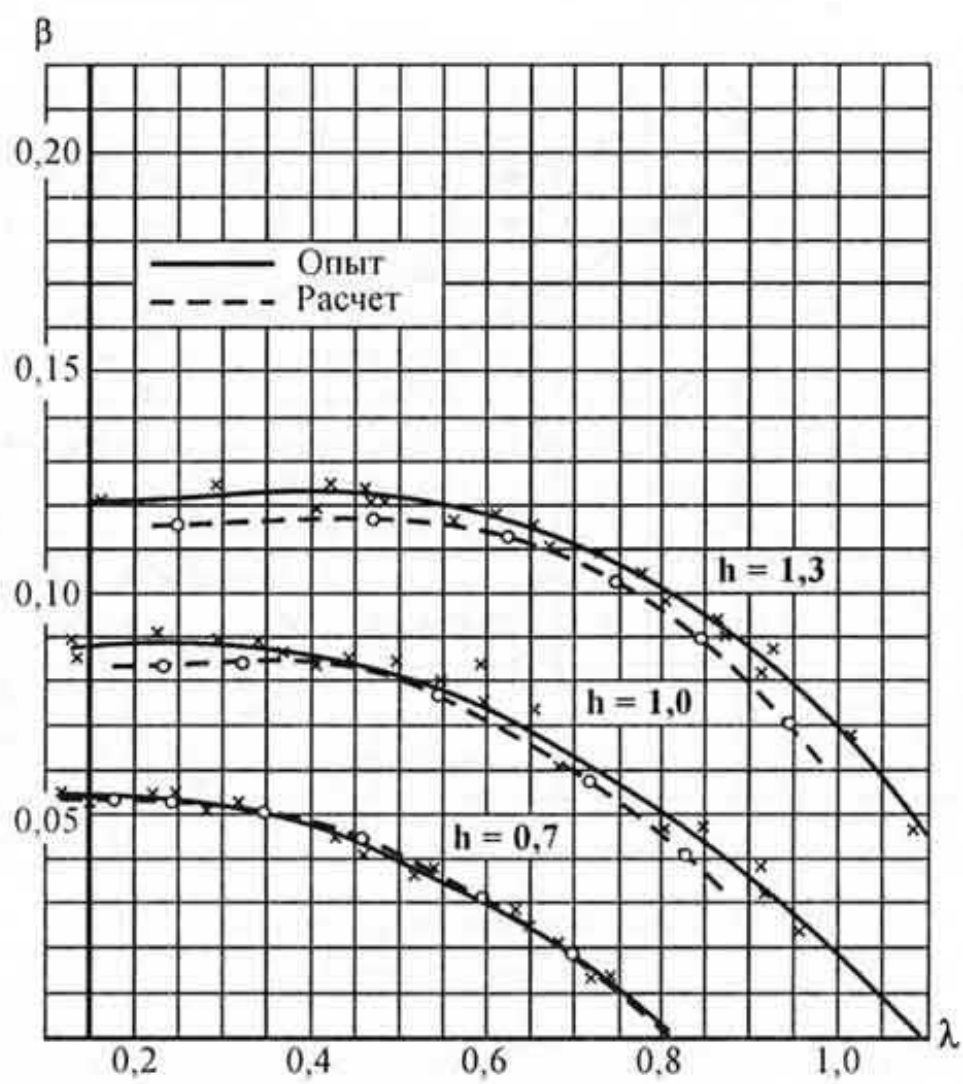
гондоле действительного самолета. Кроме того, для сравнения при шаге винта 1,0 были произведены опыты и без такого тела. Результаты всех этих испытаний изображены на следующих графиках:



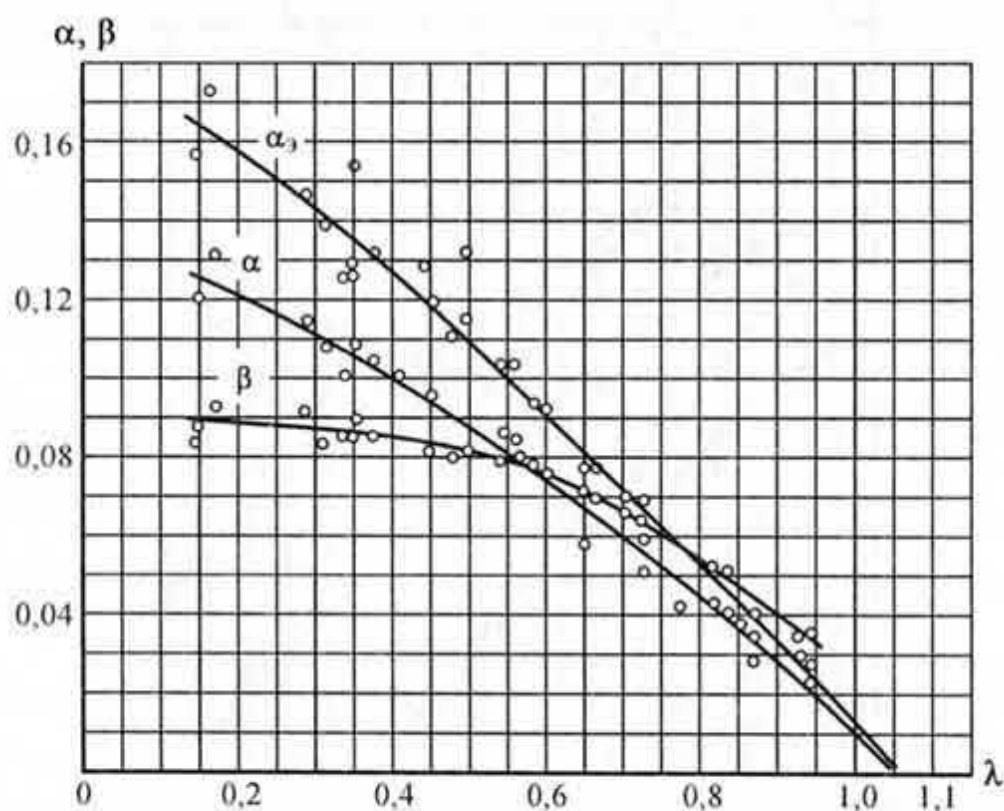
Испытания изолированных винтов ДАР.



Винты в кольце ДАР в присутствии тела перед винтом.
Коэффициенты тяги.



Винты в кольце ДАР в присутствии тела перед винтом.
Коэффициенты мощности.



Винт в кольце ДАР $h_v = 1,0$ без тела.

Приведенные диаграммы показывают, что эффективная тяга

$$\Phi_3 = \Phi - (Q - Q_0)$$

где Φ - тяга на валу винта, Q - сопротивление кольца в присутствии работающего винта при некоторой скорости потока в трубе V , Q_0 - сопротивление кольца винта при той же скорости потока в трубе V , т. е. оно на всех режимах работы винта больше тяги на валу винта, т. е. кольцо вместо лобового сопротивления дает тягу. Таким образом, эффект, получаемый с нормальными кольцами постоянной глубины, остается и при кольцевом крыле.

Количественное сравнение эффекта кольцевого крыла с эффектом кольца постоянной глубины может быть произведено при помощи графика влияния глубины кольца на характеристики винта. На этой диаграмме отложены средние значения превышения эффективной

силы тяги на валу винта в зависимости от величины $\bar{b} = b/D$,
 где b - средняя глубина кольца, D - диаметр винта.

Чем больше это отношение, тем больше должно быть и отношение
 тяги кольца к тяге на валу винта.

Если за критерий эффективности того или иного кольца принять
 отношение

$$\chi = \frac{\alpha_3 - \alpha}{\alpha} : \bar{b}$$

то для всех испытывавшихся моделей получаются следующие
 результаты:

Эффективность применения колец

Модель	Симметр. кольцо № 1	Симметр. кольцо № 2	Симметр. кольцо-труба	Кольцевое крыло ДАР
\bar{b}	0,250	0,125	3,140	0,835
$\frac{\alpha_3 - \alpha}{\alpha}$	0,134	0,074	0,340 (при $B = 0,5$)	0,260
χ	0,536	0,592	0,108	0,311

Из приведенной таблицы видно, что наилучший эффект дает
 симметричное кольцо №2 малой глубины. Однако такое сравнение,
 как будет видно дальше, оказывается неполным, так как не учитывает
 собственного лобового сопротивления кольца, а также создаваемую
 им подъемную силу.

Чрезвычайно интересен вопрос об эффективности полукольцевой
 схемы:

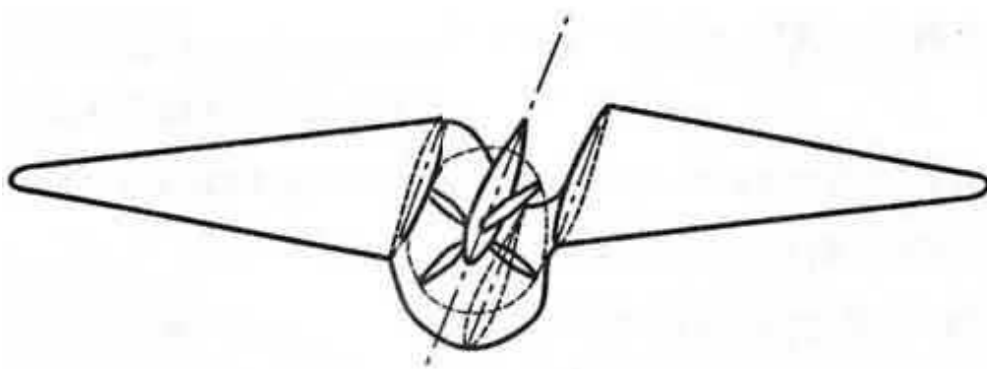


Схема полукольца.

т. е. схемы, в которой верхняя половина кольца отсутствует. Опыты непосредственно с такой схемой не проводились. Однако имеющийся опытный материал позволяет сделать некоторые заключения по этому вопросу.

Основная задача, которую себе ставят при установке винта в кольцо - получить добавочную тягу кольца за счет той части мощности двигателя, которая при винте без кольца шла на сжатие струи за винтом. Эта сила тяги может быть создана непосредственно на кольце, как это имеет место при симметричных кольцах постоянной глубины. Либо она может быть получена частично (благодаря возрастанию подъемной силы) вследствие специальной формы кольца. Если коэффициент подъемной силы кольцевого крыла при работающем винте возрастает против значения коэффициента подъемной силы без винта при том же угле атаки (в планировании), то для полета с одной и той же скоростью в обоих случаях, при работающем винте нам придется перейти на меньший угол атаки. Это приведет к уменьшению лобового сопротивления, другими словами к увеличению эффективной силы тяги. Отнятие верхней части кольца может несколько уменьшить силу тяги, создаваемую непосредственно кольцом. Это уменьшение эффективности кольца может быть компенсировано увеличением глубины его нижней части.

Следует иметь в виду, что наличие моторной гондолы над верхней

поверхностью полукольца-крыла может ухудшить посадочные свойства самолета, приводя к преждевременному срыву потока с крыла.

По материалам: И.В.Остославский В.Р. Матвеев Труды Центрального аэро- гидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского. Выпуск 248 (перепечатка издания ЦАГИ им. проф. Жуковского г. Москва 1935 г)