

И.П. Братухин

Автожиры
Теория и расчёт

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621
ББК 34.4
И11

И11 **И.П. Братухин**
Автожиры: Теория и расчёт / И.П. Братухин – М.: Книга по Требованию, 2023. – 112 с.

ISBN 978-5-458-24707-8

Содержится теория и расчёт автожира. Помимо этого в первой главе имеется исторический очерк.

ISBN 978-5-458-24707-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ΔC_{x_k} — коэффициент лобового сопротивления неподвижного крыла, отнесенный к $\rho \pi R^2 V^2$.

C_{y_p+k} — коэффициент подъемной силы ротора и крыла.

C_{r_p+k} — коэффициент лобового сопротивления ротора и крыла.

$C'_x = 0,64 \frac{\sigma}{\pi R^2}$ — коэффициент вредного сопротивления.

$\Delta C_{y_{mod}}$ — коэффициент подъемной силы модели автожира (без ротора), отнесенный к $\rho \pi R^2 V^2$.

$\Delta C_{x_{mod}}$ — коэффициент лобового сопротивления модели автожира (без ротора), отнесенный к $\rho \pi R^2 V^2$.

Φ — потребная тяга пропеллера.

w — нагрузка на единицу ометаемой поверхности.

C_{x_n} — коэффициент сопротивления ротора при парашютировании.

m_z — момент на головке ротора относительно оси zz .

m — момент на головке ротора относительно оси xx .

C_m — коэффициент момента тангажа автожира.

C_{m_p} — коэффициент момента ротора относительно ц. т.

C_{m_k} — коэффициент момента крыла относительно ц. т.

C_{m_ϕ} — коэффициент момента тяги пропеллера относительно ц. т.

$C_{m_{xv}}$ — коэффициент момента от хвоста относительно ц. т.

$C_{m_{mod}}$ — коэффициент момента модели автожира (без ротора) относительно ц. т.

M_{n_p} — реактивный момент пропеллера.

C'_{m_x} — коэффициент момента крена при планировании автожира.

C''_{m_x} — коэффициент момента крена при моторном полете.

$$f_z = \frac{m_z}{\kappa \rho \pi R^2 (\Omega R)^2 e}$$

$$f_x = \frac{m_x}{\kappa \rho \pi R^2 (\Omega R)^2 e}$$

	Строка снизу сверху	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
1	1	в табл. 1 (стр. 34 — 45).	в табл. 1 (стр. 34 — 35).	тип.
1	16	... углы атаки лопастей	углы атаки сечения лопастей	ред.
3	9	... инерции вращения и момента	и момента	ред.
3	чертеж 54	ΩR	$\mu \Omega R$	ред.
3	в формуле для U_y	пропущен порядковый номер II		ред.
3	фиг. 53	$V \sin \psi$ $V \cos \psi$	$U \sin \psi$ $U \cos \psi$	авт.
1	фиг. 57	то же самое		авт.
1	10	$dM_1 = (\delta - C_y \phi) \rho c R^2 \bar{r} d\bar{r} U^2 =$ $= \rho c R^2 \bar{r} d\bar{r} (\delta U^2 - A \Theta \phi)$	$dM_1 = (\delta - C_y \phi) \rho c R^2 \bar{r} d\bar{r} U^2 =$ $= c R^2 \bar{r} d\bar{r} (\delta U^2 - A \Theta \phi U^2 -$ $- A \phi^2 U^2)$	ред.
2	формула 22	$x_1 \mu$	$x \mu$	авт.
7	2	членом $\frac{G_1}{I \Omega^2}$	$\left(\text{членом } \frac{G_1}{I \Omega^2} \right)$	корр.
7	15	$C_2 = \{ \mu^2 \dots$	$C_2 = \mu^2 \dots$	ред.
30	5	плоскости и вращения	плоскости вращения	ред.
31	в формуле	$\operatorname{tg} i$	$\frac{\frac{1}{2} T}{V \cos i \pi R^2 V'}$	тип.
31	17	C_{y_p} и C_{y_p}	C_{y_p} и C_{x_p}	корр.
62	формула (45)	K	k	авт.
	6	$\delta = \frac{4\Pi}{1 + 3\mu^2}$	$\delta = \frac{4\Pi}{1 + 3\mu} \quad (46)$	корр.
75	6	изменить распределением	изменит распределение	ред.
78	6	множитель 8 уравнения (50)	множитель в уравнении	ред.
81	сверху	расчета авто липа 9 жира	Таблица 9 расчета автожира	тип.
91	30	при этом условии площадь	т. е. площадь	ред.
99	2	ΔC_{y_k} и Δx_k	ΔC_{y_k} и ΔC_{x_k}	ред.
100	7	$\Delta i''_{x_b} = 5,73 \cdot 3$	$\Delta i''_{x_b} = 57,33$	ред.

Предисловие автора

Отсутствие литературы на русском языке по вопросам теории и расчета автожира и значительный интерес к этим вопросам у работников авиации обусловили появление этой книги. Хотя основной темой ее являются вопросы теории и расчета автожира, но для полноты представления о нем мы сочли необходимым дать в первой главе краткий исторический обзор его развития.

Вторая глава содержит теорию автожира Глауэрта—Локка в той форме, которая удобна для применения ее при практических расчетах. В третьей и четвертой главах, включающих аэродинамический расчет и расчет продольной статической устойчивости автожира, те части расчета, которые аналогичны с расчетом самолета, опущены с соответствующей оговоркой, так как предполагается, что читатель знаком с этого рода расчетом.

Поскольку эта книга является первой, излагающей вопросы теории и расчета на русском языке, нам пришлось ввести в изложение ряд новых терминов и обозначений. Вместе с тем английские обозначения, относящиеся к теории ротора, за небольшим исключением нами сохранены.

Вопросы расчета автожира новы и еще не подвергались в достаточной мере экспериментальной проверке, поэтому не исключена возможность, что некоторые допущения и предположения, излагаемые в книге, могут не отвечать в полной мере существу дела. Возможно также, что книга не лишена недочетов как в своей компоновке, так и в введенной терминологии. Поэтому мы будем благодарны за все указания и замечания, которые найдут возможным сделать читатели. Корреспонденцию просьба направлять по адресу: Москва, Центральный аэродинамический институт, ЭАО, Секция особых конструкций.

В заключение выражаю благодарность инж. Лаписову за помощь, которую он оказал мне при составлении книги, предоставив в мое распоряжение записи моих лекций.

И. П. Братухин

1932 г.
Октябрь

Введение

Автожир представляет собой летательную машину тяжелее воздуха. С точки зрения конструкции автожир можно назвать самолетом с вращающейся несущей поверхностью, так как последней является авторотирующий (свободно вращающийся) винт-ротор большого диаметра и малого геометрического шага, расположенный над фюзеляжем так, что ось его нормальна (или близка к нормали) оси фюзеляжа. Авторотирует винт-ротор от воздействия потока воздуха, возникающего при движении машины. Необходимая тяга для сообщения автожиру поступательного движения создается винтомоторной группой, ничем не отличающейся от винтомоторной группы самолета. Авторотирующий винт-ротор, как несущая поверхность, выгодно отличается от неподвижного крыла прежде всего тем, что он не имеет на больших углах атаки критического состояния, обусловленного у неподвижного крыла нарушением обтекания профиля (срыв струй). Это обстоятельство делает автожир гораздо безопаснее самолета. Так, если при потере скорости самолет, теряя подъемную силу и управляемость, беспорядочно падает или переходит в штопор, то у автожира его несущая поверхность—ротор—при потере скорости не сразу перестает вращаться в силу инерции; уменьшение же подъемной силы ротора, вызванное потерей скорости и оборотов, заставит автожир перейти в парашютирующий спуск, при котором восстановятся и обороты и подъемная сила ротора. Так как ротор автожира в полете все время находится в состоянии вращения, то наиболее эффективные сечения его лопастей даже при малых поступательных скоростях автожира имеют относительные скорости, достаточные по величине для того, чтобы ротор развивал подъемную силу, равную весу машины.

Благодаря этому, а также указанному выше отсутствию критического состояния для всего ротора на больших углах атаки автожир приобретает такие летные качества, которых лишен обычный самолет с неподвижными крыльями. Эти качества следующие:

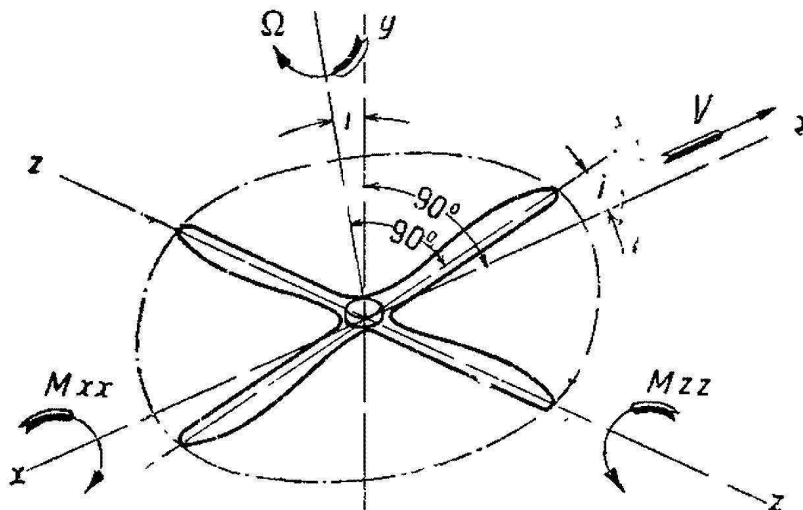
1. Малая посадочная горизонтальная скорость, которую при соответствующем управлении в момент посадки можно свести к нулю.
 2. Возможность крутых спусков с пробегом после посадки в 2—5 м.
 3. Малый разбег перед взлетом. При наличии приспособления для предварительного раскручивания ротора разбег у существующих автожиров уменьшается до 30—50 м.
 4. Большой диапазон горизонтальных скоростей без потери высоты. При правильно выбранном роторе отношение максимальной скорости к минимальной у автожира может достигать 4,5—5,0, тогда как у самолетов при мерно той же нагрузки на 1 л. с. это отношение бывает порядка 2,5—3.
-

Глава первая

Краткий обзор развития автожира

Идея применения авторотирующего винта в качестве несущей поверхности и ее блестящее практическое осуществление, несмотря на ряд больших трудностей, принадлежат испанскому инж. Де-ля-Сиерва.

Главная трудность при использовании авторотирующего винта как несущей поверхности заключалась в том, что в полете, когда плоскость



Фиг. 1.

вращения винта совпадает с направлением поступательной скорости или наклонна к нему под некоторым углом i (фиг. 1), при винте с жестким креплением лопастей появляются значительные по величине опрокидывающие моменты—поперечный, относительно оси xx , и продольный, относительно оси zz , стремящиеся опрокинуть аппарат набок и назад.

Существование поперечного момента объясняется тем, что две противоположные лопасти винта, при их перпендикулярном положении к поступательной скорости, находятся в разных относительных скоростях потока, т. е. лопасть, идущая по движению машины, имеет на радиусе r в плоскости вращения относительную скорость $\Omega r + V \cos i$, а лопасть, идущая попятно,— $\Omega r - V \cos i$; поэтому и аэродинамическая сила лопасти, работающей в сумме скоростей $(\Omega r + V \cos i)$, и момент ее относительно оси xx больше, чем таковые же у лопасти, находящейся в разности скоростей. В результате

возникает указанный поперечный момент, стремящийся опрокинуть винт в сторону лопасти, идущей попятно

Продольный момент появляется за счет того, что вызванный самим авторотирующим винтом скос потока неодинаков по всему ометаемому винтом

Фиг. 2

диску В передней части диска (по полету) он меньше, чем в задней, так как, отклонившись в передней части диска, поток, следуя далее, отклоняется дополнительно, поэтому сечения на радиусе r двух противоположных лопастей, расположенных, например, по направлению поступательной скорости, работая равных почти относительных скоростях, имеют разные углы атаки У сечения передней лопасти угол атаки больше, чем у сечения задней и, следовательно, больше и аэродинамические силы. Отсюда момент полной аэродинамической силы относительно оси z передней лопасти больше, чем задней, разность между ними и представляет собой продольный момент, стремящийся запрокинуть винт назад

Существование M_{xc} и M_{xz} , в особенности первого (поперечного), делает полет автожира с жестко прикрепленными лопастями ротора неустойчивым. Для устранения этого в первом своем автожире, построенном в начале 1920 г., Сиерва применяет в качестве несущей поверхности не один ротор, а два, монтированные на одной вертикальной оси и вращающиеся в противоположные стороны (фиг. 2).

Лопастей роторов у этого аппарата были деревянные пустотелые. Каждый ротор имел 4 лопасти диаметром 6 м и шириной 0,3 м. Профиль лопасти был слегка вогнутый. Для автожира был использован старый фюзеляж самолета Дюпердюссен с мотором Рон в 60 л с. Вес аппарата равнялся приблизительно 360 кг.

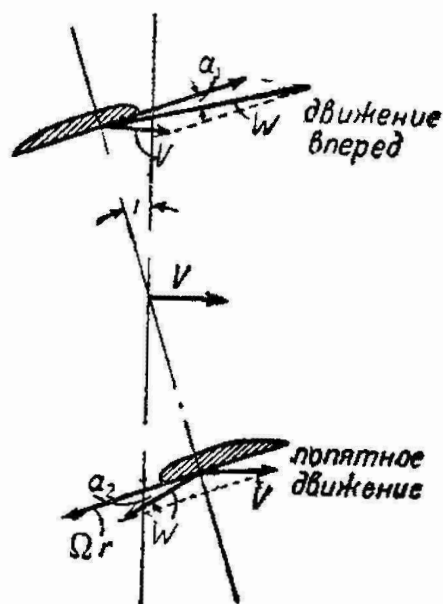
Предполагалось, что два ротора, поставленные соосно, при вращении в разные стороны исключат поперечный опрокидывающий момент; продольный же момент предполагалось уравновесить хвостовыми поверхностями. При испытании аппарат не смог оторваться от земли. Основной недостаток такой несущей системы заключался во взаимном влиянии роторов—нижний ротор

вращался со скоростью почти вдвое меньшей, чем верхний; благодаря этому полностью исключить поперечный момент не удалось. Кроме того, аппарат имел очень большое лобовое сопротивление.

В 1921 г Сперва пытается найти решение проблемы автожира с одним ротором, в связи с чем строит автожир № 2 (фиг 3).

В этой попытке он исходит из того соображения, что кажущийся угол атаки данного сечения лопасти, когда последняя идет вперед по движению машины, меньше, чем когда она движется назад (фиг. 4), т. е. $\alpha_2 > \alpha_1$ ¹. Коэффициент подъемной силы возрастает с возрастанием угла атаки (до критических углов), а так как угол атаки сечения лопасти изменяется противоположно изменению относительной скорости, то Сперва думает добиться для любого углового положения постоянства произведения $C_y W^2$, для чего делает 3-лопастный винт с сильно закрученными лопастями с плоским профилем. Каждая лопасть была выполнена, как обычное крыло, с лонжероном и нервюрами из дерева.

Для постройки автожира № 2 был использован фюзеляж самолета Зоммер с мотором Рон 80 л. с. Этот второй экспериментальный автожир оторвался от земли на несколько дециметров, но не дал ожидаемой боковой устойчивости. Сперва приписал эту неудачу не самому методу исключения поперечного



Фиг. 4.

¹ Это неравенство справедливо не при любом угле атаки ротора, например при $\alpha = 0$, $\alpha_1 = \alpha_2$.

момента, а деформации нерасчеленных лопастей. Поэтому вслед за вторым автожиром он проектирует автожир № 3, на котором ставится ротор с пятью расчеленными лопастями (фиг. 5). На нем был поставлен мотор Рон более мощный, чем на автожире № 2, а именно 110 л. с. Увеличить боковую устойчивость Сьерва предполагал у этого аппарата еще и созданием

Фиг. 5.

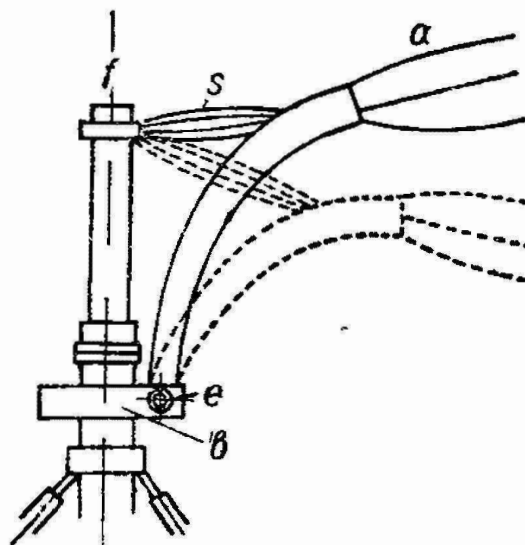
Фиг. 6.

пары на хвосте, для чего руль глубины был сделан из двух независимых друг от друга частей, позволявших их перекашивание. Автожир № 3 был не более устойчив, чем первые два. Он поднялся на 2 м, опрокинулся и сломался.

В 1922 г. Сьерва находил, наконец, решение задачи уничтожения опрокидывающих моментов, возникающих у авторотирующего несущего винта. Это решение заключалось в креплении лопастей ротора к его втулке

не жестко, а шарнирно. причем лопасти получали свободу махового движения в плоскости, проходящей через ось ротора и продольную ось лопасти. В полете такие лопасти, удерживаемые центробежной силой почти в плоскости вращения под влиянием асимметричного относительного потока, делают периодические взмахи, чем автоматически достигается стабилизация на авторотирующем винте¹.

Автожир № 4, построенный в 1922 г. по этому принципу (фиг. 6), дал удовлетворительные результаты. Ротор его диаметром 8 м имел четыре лопасти. Фюзеляж—от самолета Зоммер, мотор Рон 80 л. с., полный вес 500 кг. На фиг. 7 показан способ присоединения лопасти α , укрепленной на кольце b болтом e (шарнир). Кольцо b свободно вращается вокруг оси f ; болт e позволяет осуществлять маховое движение; S — подтяжка для ограничения свеса лопасти.



Фиг. 7.

Автожир № 4 первоначально был снабжен приспособлением для бокового управления, позволяющим пилоту наклонять всю вращающуюся систему. Такое управление оказалось неудачным, и вместо него были поставлены по бокам фюзеляжа два несущие элерона, укрепленные на концах горизонтальной расчлененной балки (фиг. 8).

В январе 1923 г. летчик Спенсер на автожире № 4 сделал сначала несколько вылетов до 10 м высотой, а затем прямые полеты во всю длину аэродрома. 31 января ему удалось сделать замкнутый круг длиной в 4 км на высоте 25 м в течение 3,5 мин.

Этот автожир показал возможность крутых спусков и посадок почти без пробега.

В том же году Спенсер строит новый автожир № 5, сходный с № 4.

Однако он разбился во время рулежки по аэродрому. Авария показала, что взятый профиль лопастей неудовлетворителен ввиду того, что он давал боль-

Фиг. 8.

¹ Маховое движение лопастей и аэродинамический эффект его будут рассмотрены ниже.

шое перемещение по хорде центра аэродинамического давления; при некоторых углах атаки это могло вызывать опасное скручивание лопасти, что и имело место при аварии. После этого Сиерва применяет на последующих аппаратах симметричный двояковыпуклый профиль Геттинген 429, у которого центр давления практически почти не перемещается.

Фиг. 9

В конце 1923 г. военное ведомство Испании субсидирует работы Сиерва, причем проводятся исследования в аэродинамической трубе. После этих исследований Сиерва строит шестой по счету автожир С-6. Фюзеляж для С-6 был взят от школьного самолета Авро; мотор — Рон 110 л. с. Ротор имел $D = 10$ м. По конструкции аппарат этот был похож на № 4. 12 декабря 1924 г. на этом автожире был совершен перелет протяжением в 12 км при скорости полета около 100 км/час. Перелет происходил на высоте 40—60 м. По сообщениям прессы скорость его вертикального спуска равнялась в момент посадки 5 м/сек.

В 1925 г. Сиерва выпускает новую машину С-6 бис, имевшую некоторые конструктивные улучшения. Диаметр ротора был увеличен до 10,5 м, мощность оставлена прежняя. Для автожиров С-4, С-6, С-6 бис требовался очень длинный разбег (больше, чем требует самолет), прежде чем ротор достигал необходимого для взлета числа оборотов. Это обстоятельство выдвигало перед конструктором задачу — создать приспособление, позволяющее раскручивать ротор на месте.

У машин С-6 и С-6 бис Сиерва пытается довольно примитивно решить эту задачу. Каждая лопасть на расстоянии $\frac{1}{6} R$ от втулки была снабжена снизу стержнем, параллельным оси ротора. На такие четыре стержня наматывался трос, который после трех или четырех оборотов пропускался в кольцо, укрепленное сверху руля направления; далее трос прикреплялся посредством комбинации тяг к колышкам, вбитым в землю. Таким образом автожир, двигаясь вперед, сам раскручивал ротор, как волчок; разбег благодаря этому сильно сокращался. Ввиду неконструктивности этого приспособления оно на следующих аппаратах Сиерва не применяется.