

Ю. Сироткин

**В воздухе пилотажные
модели**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
Ю11

Ю11 **Ю. Сироткин**
В воздухе пилотажные модели / Ю. Сироткин – М.: Книга по Требованию, 2013. – 154 с.

ISBN 978-5-458-38847-4

В книге рассказывается о конструировании пилотажных моделей самолетов, их устойчивости, управляемости, а также о применении различных материалов. Приведено несколько схем лучших моделей самолетов последних лет, подробно разобран пилотажный комплекс и описана методика обучения пилотажу. Книга предназначена для инструкторов, руководителей авиамodelьных кружков, авиамodelистов-спортсменов.

ISBN 978-5-458-38847-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

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 первозданном 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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

5. Перевернутый полет	2
6. Обратная петля	
1-я	1
2-я	2
3-я	3
7. Квадратная петля	
1-я	5
2-я	7
8. Обратная квадратная петля	
1-я	5
2-я	7
9. Треугольная петля	
1-я	6
2-я	8
10. Горизонтальная восьмерка	
1-я	3
2-я	4
11. Горизонтальная квадратная восьмерка	
1-я	8
2-я	10
12. Вертикальная восьмерка	
1-я	4
2-я	6
13. «Песочные часы»	10
14. Восьмерка над головой	
1-я	4
2-я	6
15. Две перекрещивающиеся восьмерки	8
16. Посадка	5

На рис. 1. показаны фигуры пилотажного комплекса. Техника и особенности выполнения каждой фигуры подробно рассмотрены в разделе «Пилотажный комплекс».

При всем многообразии форм все пилотажные модели самолетов можно разделить на два типа: трениро-

Рис. 1. Фигуры пилотажного комплекса:
1 — взлет и горизонтальный полет; 2 — двойной поворот на горке; 3 — нормальная петля; 4 — полет на спине; 5 — обратная петля; 6 — квадратная петля; 7 — обратная квадратная петля; 8 — треугольная петля; 9 — горизонтальная восьмерка; 10 — восьмерка квадратная; 11 — вертикальная восьмерка; 12 — песочные часы; 13 — восьмерка над головой; 14 — две перекрещивающиеся восьмерки.

вочные и спортивные. Тренировочные модели, как правило, выполняют из не дефицитных материалов, они служат для приобретения элементарных навыков пилотирования. Основная цель, которую преследует спортсмен, используя тренировочную модель, — овладение перевернутым полетом. Задача эта сложная, но совершенно необходимая, поскольку перевернутый полет является элементом, входящим во все фигуры, за исключением взлета, горизонтального полета и посадки. Спортивные модели — более сложные. Их выполняют в соответствии с требованиями, предъявляемыми к пилотажным моделям, и они могут быть самых различных схем и размеров, с двигателем с рабочим объемом от 2,5 до 10 см³. В последнее время модели с двигателем с рабочим объемом от 5 см³ и выше практически вытеснили модели с двигателем меньшей кубатуры.

ТЕОРИЯ ПОЛЕТА ПИЛОТАЖНОЙ МОДЕЛИ САМОЛЕТА

Пилотажная модель подчиняется всем законам аэродинамики и физики, поэтому рассмотрим, как их можно учесть при ее проектировании.

СИЛЫ И МОМЕНТЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА МОДЕЛЬ В ПОЛЕТЕ

В полете на модель действуют силы (рис. 2,а): V — подъемная сила; G — вес модели; P — тяга; X — сила полного лобового сопротивления; F — центробежная сила; T — сила натяжения корды.

Эту систему сил можно привести к одной результирующей силе R , приложенной в центре тяжести (ц. т.) модели, и к моменту $M_{ц.т.}$ относительно ц. т. модели (рис. 2,б).

Если спроектировать силу R и момент $M_{ц.т.}$ на оси, совпадающие с осями модели (т. е. в связанной системе координат), получим три силы $N = P - X$; $V = Y - G$; $T = F$. Эти силы, а также три момента M_x , M_y , M_z принято рассматривать относительно осей с началом координат в ц. т., так как траектория движения ц. т. определяет траекторию движения модели.

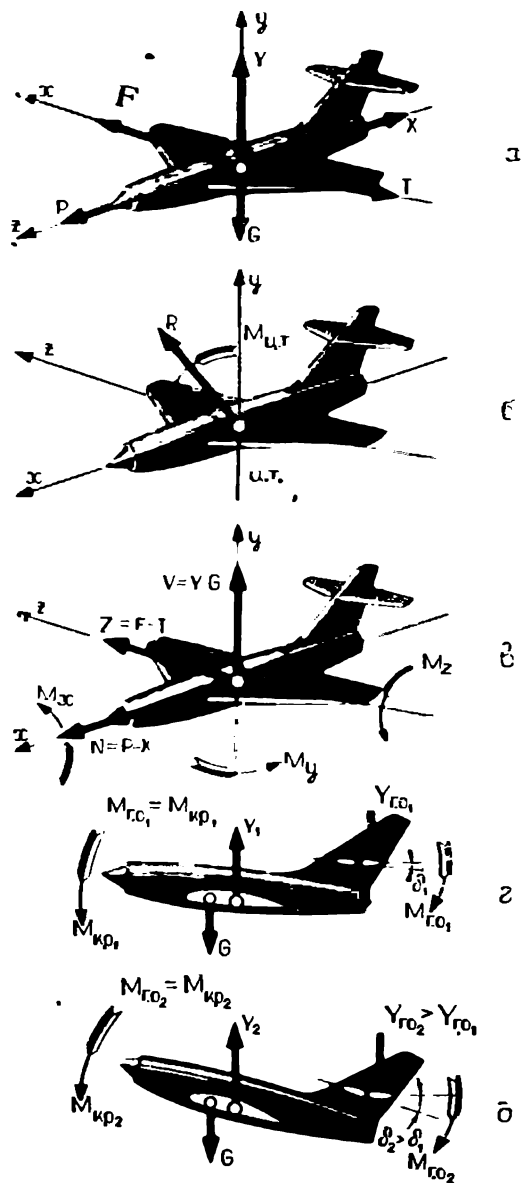


Рис. 2. Силы, действующие на модель в полете:

Y — подъемная сила; G — вес модели; P — тяга; X — сила полного лобового сопротивления; F — центробежная сила; T — сила натяжения корды; R — результирующая сила; $M_{ц.т}$ — момент центра тяжести; N , V , Z — составляющие силы R ; M_y , M_z , M_x — составляющие момент $M_{ц.т}$; δ — угол отклонения руля высоты.

По первому закону механики, если равнодействующая всех сил равна 0, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. В нашем случае, если $R = 0$, то ц. т. модели движется равномерно и прямолинейно. В горизонтальном полете пилотажной модели сила тяги двигателя уравнивает силы лобового сопротивления, а подъемная сила крыла уравнивает ее вес.

$M_{ц.т}$ также может быть равен 0. В таком случае модель или не вращается вокруг своих осей, или вращается с постоянной скоростью.

По второму закону механики: если на тело действует некоторая сила, то она обязательно сообщит ему ускорение. Направление ускорения совпадает с направлением действующей силы. В нашем случае, если

$$R \neq 0, \text{ то } R = ma,$$

где m — масса модели;

a — ускорение.

Применительно к составляющим силам N , V , T (рис. 2, в) можно записать

$$N = ma_x; \quad V = ma_y; \quad T = ma_z.$$

У кордовой модели составляющая N вызывает изменение скорости модели по величине. Ускорение, вызванное этой силой, называется тангенциальным или касательным.

Составляющая V вызывает изменение направления скорости полета, не влияя на ее величину. Другими словами, возникновение сил N и V вызывает изменение параметров движения модели. Изменение силы T постоянно парируется натяжением корды. Момент $M_{ц.т}$ в общем случае также не равен 0. Под действием $M_{ц.т}$ модель вращается вокруг своего центра тяжести с угловым ускорением E .

$$M_{ц.т} = I \cdot E,$$

где I — момент инерции модели.

$$I = \sum m_i r_i^2.$$

Момент инерции I — есть сумма произведений масс отдельных частей модели на квадрат расстояния от центра масс до оси вращения.

Из формулы момента инерции ясно, что чем больше масса тела и чем больше радиус вращения этой массы, тем труднее сообщить этому телу ускорение, т. е. во вращательном движении мерой инерции является момент инерции. Наличие корды исключает возможность вращения модели вокруг осей x и y . Поэтому в случае $M_{ц.т} \neq 0$ модель будет вращаться с некоторым угловым ускорением относительно оси z .

Какое же условие необходимо для того, чтобы модель летела в горизонтальной плоскости, проходящей через ручку управления? Очевидно, равенство $Y = G$. В случае неравенства этих сил имеет место составляющая, которая выведет модель из горизонтальной плоскости.

Движение пилотажной модели в горизонтальном полете должно быть равномерным. Для этого необходимо, чтобы силы, действующие на модель в плоскости касательной к траектории полета, были взаимно уравновешены, т. е. $P = X$. Несоблюдение этого условия приводит к тому, что модель движется ускоренно или замедленно.

ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ

Известно, что существуют три формы равновесия тела: устойчивое, безразличное и неустойчивое. При устойчивом равновесии тело, выведенное из нормального состояния кратковременным возмущением, стремится вернуться к исходному состоянию после прекращения действия возмущения (например, шарик в лунке). При безразличном равновесии тело не возвращается в исходное положение после внешнего воздействия (шарик на ровной плоскости). В случае неустойчивого равновесия после внешнего воздействия тело стремится еще больше отклониться от исходного положения (шарик на выпуклой поверхности).

Модель, будучи в полете, может точно также находиться в любом из этих трех видов равновесия. Поскольку кордовая модель летает по кругу, центробежная сила практически полностью уравновешивает как реактивный момент винта, так и моменты, возникающие относительно осей y и x . Поэтому продольная

устойчивость является единственно необходимым условием для нормального полета модели. В полете на модель могут действовать атмосферные возмущения, иногда в несколько раз превосходящие силы, действующие на модель в нормальном полете, например порыв ветра. Если модель обладает достаточной устойчивостью, она вернется к исходному положению после прекращения действия порыва ветра. Степень продольной устойчивости для пилотажной модели имеет первостепенное значение. Кроме того, устойчивость теснейшим образом связана с управляемостью модели. Для пилотажной модели стремятся обойтись минимальной степенью собственной устойчивости, чтобы сделать модель более маневренной, послушной рулям. В то же время режим полета пилотажной модели не должен требовать от пилота напряженного внимания; равновесие сил, действующих на модель, должно сохраниться само собой без постоянного вмешательства спортсмена.

Выясним физическую сущность продольной устойчивости модели.

На линии хорды крыла имеется такая точка, относительно которой суммарный момент аэродинамических сил не изменяется при изменении угла атаки α . Например, при угле атаки α_1 подъемная сила Y_1 создает относительно некоторой точки Φ момент (рис. 3,6). С увеличением угла атаки до значения α_2 подъемная сила увеличивается (Y_2), а точка ее приложения (ц. д. — центр давления) перемещается вперед, т. е. плечо уменьшается. Величина нового момента зависит от того, как изменяется соотношение между плечом и подъемной силой. Очевидно на хорде крыла можно подобрать такую точку Φ , относительно которой момент не будет изменяться при увеличении или уменьшении угла атаки.

Такая точка называется фокусом. Именно в фокусе приложены дополнительные составляющие, возникшие при изменении угла атаки α . Разложим силу Y_2 , приложенную в ц. д., на первоначальную силу Y_1 , приложенную в ц. д., и силу ΔY , приложенную в фокусе Φ , т. е. $Y_2 = Y_1 + \Delta Y$. Момент от силы ΔY , приложенной в фокусе, равен 0, а раз так, то момент крыла при угле атаки α_2 будет таким же, как и при угле атаки α_1 .

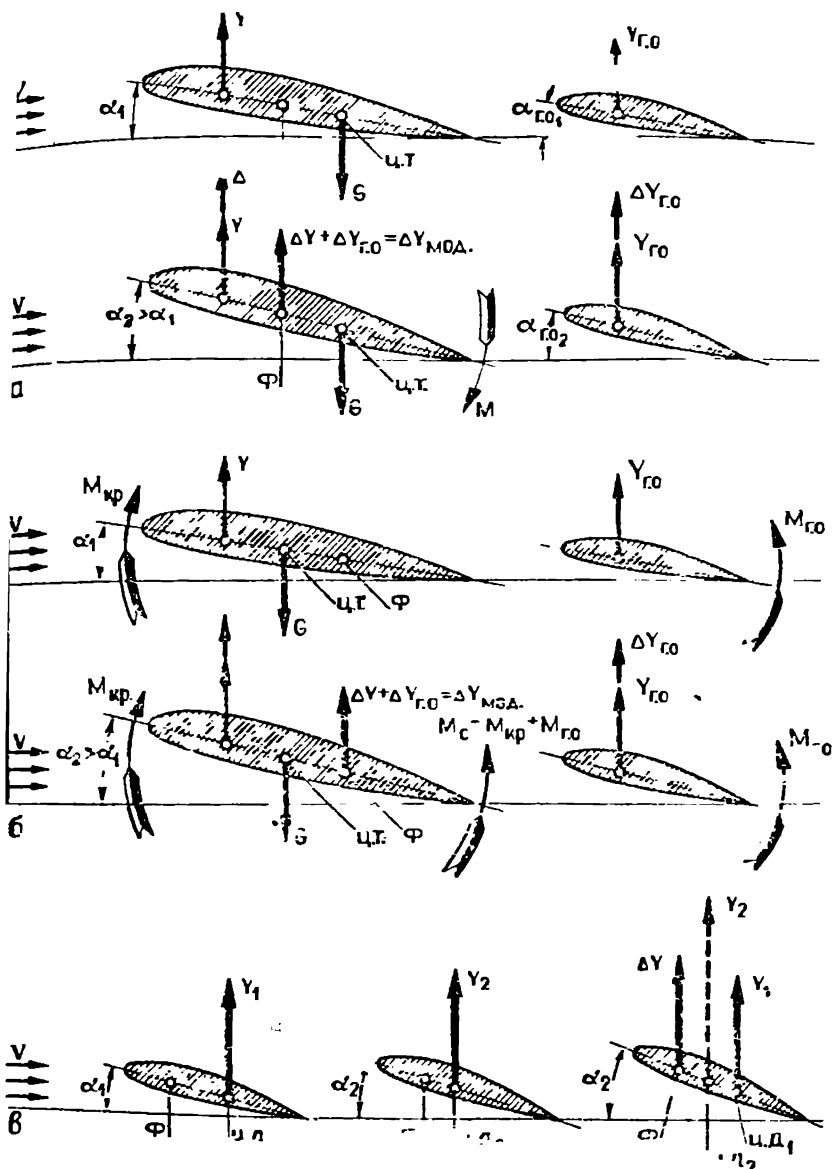


Рис. 3. Взаимное расположение фокуса (Ф) и центра давления (ц. д.) крыла, фокуса (Ф) и центра тяжести (ц. т.) модели:

α — угол атаки; a — Φ перед ц. т. модели; б — Φ сзади ц. т. модели; в — Φ перед ц. д. крыла.

У горизонтального оперения также имеется свой фокус, в котором приложены дополнительные силы, возникающие при изменении угла атаки.

Равнодействующая дополнительных сил крыла и горизонтального оперения — $\Delta Y + \Delta Y_{г.о}$ приложена в фокусе модели. Следовательно, момент дополнительных сил относительно фокуса модели равен 0 и продольный момент модели относительно ее фокуса не изменится при изменении угла атаки.

Теперь можно определить необходимое условие продольной устойчивости.

Допустим, порыв ветра нарушил состояние равновесия, увеличив угол атаки α_1 на величину $\Delta\alpha$ (рис. 3,а). В результате подъемная сила модели также увеличится на величину $\Delta Y_{\text{мод}} = \Delta Y + \Delta Y_{г.о}$ и приложенную в фокусе моделей. Нетрудно заметить, что если фокус расположен перед ц. т. модели, то сила $\Delta Y_{\text{м.}}$ относительно ц. т. создаст момент, который будет стремиться еще больше увеличить угол атаки α . В случае уменьшения угла атаки сила $\Delta Y_{\text{мод}}$ также создаст дестабилизирующий момент.

На рис. 3,б показан вариант, когда ц. т. находится перед фокусом модели. В данном случае при изменении угла атаки возникает момент, который стремится вернуть модель к исходному углу атаки, т. е. момент будет стабилизирующим. Значит, необходимым условием продольной устойчивости модели является расположение ц. т. модели перед фокусом. В случае, если ц. т. модели и фокус совпадают, модель находится в безразличном равновесии.

Степень устойчивости определяется коэффициентом продольной устойчивости.

$$A_{г.о} = \frac{S_{г.о} \cdot L_{г.о}}{B_A \cdot S_{кр}},$$

где $A_{г.о}$ — коэффициент продольной устойчивости;
 $S_{г.о}$ — площадь горизонтального оперения, $м^2$;
 $L_{г.о}$ — плечо горизонтального оперения, $м$;
 B_A — средняя аэродинамическая хорда (САХ) крыла, $м$;
 $S_{кр}$ — площадь крыла, $м^2$;

Из формулы видно, что коэффициент продольной устойчивости прямо пропорционален площади горизон-

тального оперения и его плечу и обратно пропорционален площади крыла и величине САХ. Для кордовых пилотажных моделей коэффициент продольной устойчивости лежит в пределах от 0,3 до 0,5.

УПРАВЛЯЕМОСТЬ И МАНЕВРЕННОСТЬ МОДЕЛИ

С устойчивостью моделей тесно связана ее управляемость. Необходимо усвоить, что эти понятия прямо противоположны, т. е. трудно повысить устойчивость модели, не снижая ее управляемости. Под управляемостью будем понимать способность модели изменять траекторию полета по желанию пилота. Очевидно, если модель обладает высокой степенью продольной устойчивости, то переводить ее на другую траекторию полета с помощью управления трудно. Такая модель называется «вялой», а для пилотажных моделей это совершенно недопустимо.

Если модель совершает полет по какой-то траектории, находясь в состоянии продольного равновесия, т. е. $M_{г.о1} = M_{кр1}$ (см. рис. 2,з). Для того, чтобы изменить траекторию полета, необходимо отклонить руль высоты. Если руль высоты отклонится кверху — $\delta_2 > \delta_1$ (см. рис. 2,д), при этом увеличится $Y_{г.о}$, а следовательно, и момент горизонтального оперения до величины $M_{г.о2}$. Момент $M_{г.о2}$, вызовет вращение модели относительно оси и соответственно увеличение угла атаки.

С увеличением угла атаки возрастает подъемная сила крыла, а следовательно, и $M_{кр}$, который препятствует бесконечному увеличению угла атаки. При определенном значении угла атаки наступает равенство моментов $M_{г.о2}$ и $M_{кр2}$ и вращение модели относительно поперечной оси z прекратится. Модель вновь окажется в состоянии продольного равновесия, но уже на новом значении угла атаки и будет набирать высоту до тех пор, пока подъемная сила не уравнивается проекцией равнодействующей центробежной силы на вертикальную ось. Подобно тому как продольная устойчивость характеризуется степенью устойчивости, продольная управляемость характеризуется скоростью поворота модели относительно оси z . Другими словами, чем

больше угловое ускорение модели ϵ_z , тем быстрее она изменит траекторию полета.

Реакция модели на отклонение руля высоты находится в прямой зависимости от момента горизонтального оперения.

$$M_{г.о} = C_{yг.о} \frac{\rho V^2}{2} S_{г.о} L_{г.о},$$

где $M_{г.о}$ — момент горизонтального оперения, кгм;

$C_{yг.о}$ — коэффициент подъемной силы;

$\frac{\rho V^2}{2}$ — скоростной напор, кг/м².

При проектировании пилотажной модели эту формулу надо использовать очень осторожно. Дело в том, что кажущееся улучшение управляемости при увеличении допустим $L_{г.о}$ не совсем справедливо, так как с ростом плеча растет и момент инерции хвостовой части модели. Вполне возможно, что момент инерции возрастет больше, чем $M_{г.о2}$, и управляемость ухудшится.

Кроме того, с увеличением $L_{г.о}$ увеличивается демпфирующий момент горизонтального оперения, а он препятствует вращению. На всех без исключения современных пилотажных моделях для улучшения управляемости делают закрылки, которые отклоняются в сторону, противоположную рулям высоты. Возникающая при этом пара сил существенно улучшает управляемость модели.

Хорошая маневренность — одно из самых важных требований, предъявляемых к пилотажной модели. Причем это требование из года в год возрастает. На чемпионате мира в Бельгии (1970 год) судьи очень строго оценивали квадратные элементы комплекса, и надо отметить, что не все модели отвечали требованиям последнего чемпионата.

Что же такое маневренность модели?

За время нахождения в воздухе пилотажная модель многократно меняет траекторию и режим полета. Соответственно действия пилота, необходимые для управления моделью, также весьма многочисленны и разнообразны. Смысл совершаемых спортсменом операций заключается в том, чтобы определенным образом сориентировать модель в пространстве. Например, выполняя квадратную петлю, участник соревнований имеет целью