

В. Пышнов

Аэродинамика самолета

Часть вторая

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
В11

В11 **В. Пышнов**
Аэродинамика самолета: Часть вторая / В. Пышнов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 178 с.

ISBN 978-5-458-37858-1

Равновесие в прямолинейном полете и статическая устойчивость.

ISBN 978-5-458-37858-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

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.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Аэродинамика самолета часть вторая является продолжением первой части и рассматривает вопросы равновесия моментов и статической устойчивости.

Вопросы равновесия изложены применительно к прямолинейному движению. Равновесие моментов в криволинейном движении будет рассмотрено в третьей части.

К сожалению, мы не успели подготовить материала по равновесию поперечному и пути. Не желая задерживать издания книги мы решили этот вопрос перенести в третью часть.

Одновременно можно считать недостаточно освещенными вопросы о моноплане произвольной формы и биплане с деградацией. Соответствующие дополнения будут помещены в третьей части.

В. Пышков

ЛИТЕРАТУРА ПО ПРОДОЛЬНОМУ РАВНОВЕСИЮ И СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

- Б. Н. Юрьев, *Индуктивное сопротивление крыльев аэроплана*, „Труды ЦАГИ“, вып. 20, 1926. Книга содержит основные сведения о продольном равновесии и устойчивости.
- Р. Фукс и Л. Хопф, *Аэродинамика*, ч. 2, перевод с немецкого В. В. Калинина, под ред. Б. Н. Юрьева, изд. ВВА, 1925. Книга представляет собой курс продольного равновесия и устойчивости, легший в основу современного курса.
- Я. М. Курицкес, *Продольная устойчивость самолета*, ч. I, ОНТИ, 1932. Книга представляет собой курс равновесия и продольной устойчивости.
- Фр. Ш. Гос, *Устойчивость и управляемость самолетов*, ОНТИ, 1934. Книга представляет собой наиболее полный курс устойчивости статической, динамической, штопора и автоматического управления.
- Б. Т. Горощенко, *Продольная устойчивость самолета*, „Техника воздушного флота“ № 7—8, 1929. Статья излагает аналитический расчет равновесия и устойчивости по методу Бреге.
- Самолетостроение*, Сборник, изд. ГНТИ, 1931; В. С. Ведров, *Балансировка самолета и расчет статической устойчивости*; Б. Т. Горощенко, *Расчет продольной статической устойчивости и балансировки самолета аналитическим методом*.
- В. С. Ведров, *Скос потока у стабилизатора*; Ю. А. Победоносцев, *Балансировка самолетов и расчет продольной статической устойчивости по методу В. П. Ветчинкина*, „Труды ЦАГИ“, вып. 42.
- Аэродинамические исследования по оперению самолета*, „Труды ЦАГИ“, вып. 49.
- М. П. Могилевский и И. В. Остославский, *Исследование скоса потока у оперения*, „Техника воздушного флота“ № 10, 1930.
- С. М. Тарг, *О влиянии крыла на продольную статическую устойчивость самолета*, „Техника воздушного флота“ № 9, 1933.
- „Технический бюллетень ЦАГИ“ № 1, В. Горский, *Влияние обдувки на фюзеляж и хвостовое оперение самолета У-2*; Е. Румянцева, *Аэродинамические исследования изолированных горизонтальных оперений*.
- В. П. Горский, *Исследование влияния частей самолета на горизонтальное оперение в условиях моторного полета и планирования*, „Труды ЦАГИ“, вып. 131.
- А. Н. Журавченко и А. И. Никитюк, *О мере статической продольной устойчивости самолета*, „Труды ЦАГИ“, вып. 94.
- М. М. Девкин, *Влияние поплавков на продольную статическую устойчивость гидросамолета*, „Техника воздушного флота“ № 2, 1932.
- В. С. Ведров, В. П. Горский и М. А. Тайц, *Сравнение результатов испытания пяти самолетов в трубе и в полете*, „Техника воздушного флота“ № 5, 1934.
- Б. Раушенбах, *Продольная устойчивость бесхвостых самолетов*, „Самолет“ № 10, 1934.
- А. К. Аузан, *Летные испытания самолетов*, Госмашметиздат, 1933.
- М. П. Могилевский, *О предварительном расчете продольной статической устойчивости самолета*, Научно-техническое управление Аэрофлота, „Сборник трудов“ № 1.
-

ВВЕДЕНИЕ

В первой части мы рассмотрели установившийся полет самолета, разбирая вопросы скоростей полета под разными углами наклона траектории. Все это мы сделали, налагая условие равновесия сил, действующих на самолет. Из механики известно, что для установившегося движения необходимо еще равновесие моментов. Это условие нами, конечно, подразумевалось. Мы считали, что самолет имеет тот угол атаки, который нам желательно, — полет происходит без скольжения и без крена. Теперь мы все эти вопросы должны рассмотреть подробно путем анализа моментов, действующих на самолет.

Вопрос о равновесии в полете чрезвычайно важен. Всем конструкторам первых самолетов этому вопросу пришлось уделить очень много внимания. Необеспеченное равновесие приводило к опрокидыванию аэроплана, как только он поднимался в воздух. Примеров такой технической неграмотности можно найти много в истории авиации. Однако и современный авиационный инженер, — как конструктор, так и эксплуатационник, — должен уверенно разбираться в вопросах равновесия. Дело в том, что на равновесие самолета влияет очень много факторов — и особенно нагрузка самолета. Неправильная нагрузка, громоздкие предметы оборудования, установленные снаружи, могут так изменить условия равновесия, что полет станет опасным, а полетные качества будут снижены.

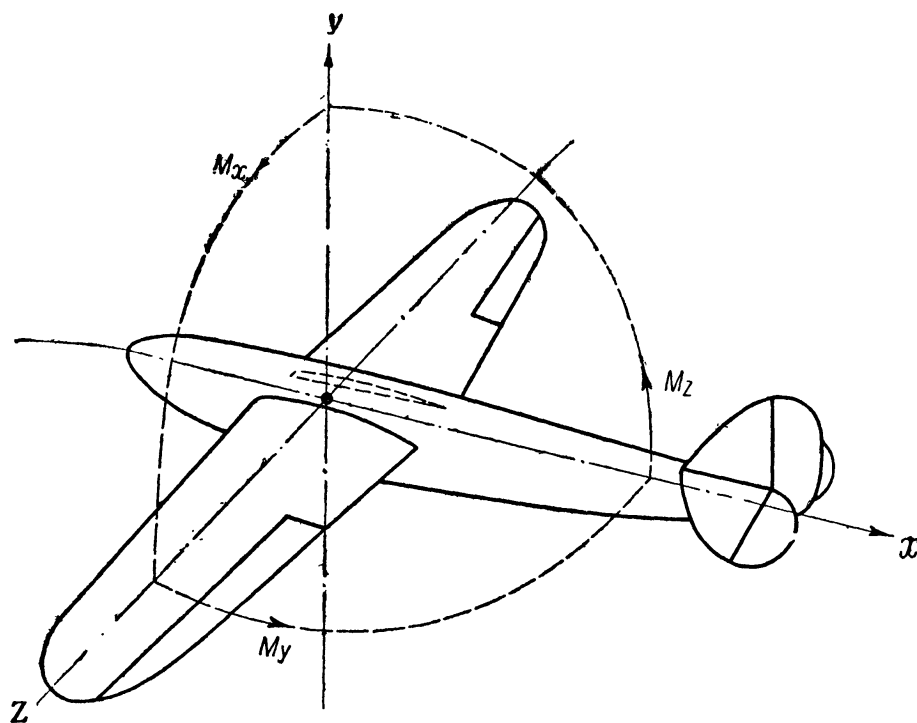
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАВНОВЕСИИ САМОЛЕТА

Всякое тело будет находиться в равновесии тогда, когда у него нет стремления повернуться ни в каком направлении. Отсутствие стремления повернуться требует или отсутствия момента в данном направлении, или равновесия моментов, когда несколько моментов, действуя в разные стороны, уничтожают друг друга.

Если мы будем иметь равновесие моментов около трех взаимно перпендикулярных осей, то этим мы обеспечим равновесие в любом направлении. Для рассмотрения равновесия самолета мы к нему прикрепляем систему из трех осей. Направление осей выбирается наиболее естественное для формы самолета, а именно: самолет имеет плоскость симметрии, которая разбивает все части на правые и левые; две оси располагаются в этой плоскости симметрии, а третья, естественно, будет перпендикулярна к плоскости симметрии и пойдет вдоль размаха крыльев. Одну из осей в пло-

скости симметрии ставят параллельно или строевой линии фюзеляжа, или оси мотора, или хорде крыла, или одной из ближайших главных осей инерции.

Из механики мы знаем, что если есть равновесие моментов относительно некоторой оси, то равновесие будет и относительно других параллельных осей. Однако техника подсчета моментов заставляет нас поставить оси в определенное место. Таким наиболее удобным местом является центр тяжести самолета. В самом деле, расположив оси в центре тяжести, мы избавляемся от моментов силы тяжести и сил инерции поступательного движения.



Фиг. 1. Оси координат самолета.

Последнее позволяет нам часто рассматривать равновесие моментов, отвлекаясь от рассмотрения равновесия сил.

В разных странах приняты различные обозначения и направления осей. На фиг. 1 дана система осей, которой мы будем пользоваться в дальнейшем.

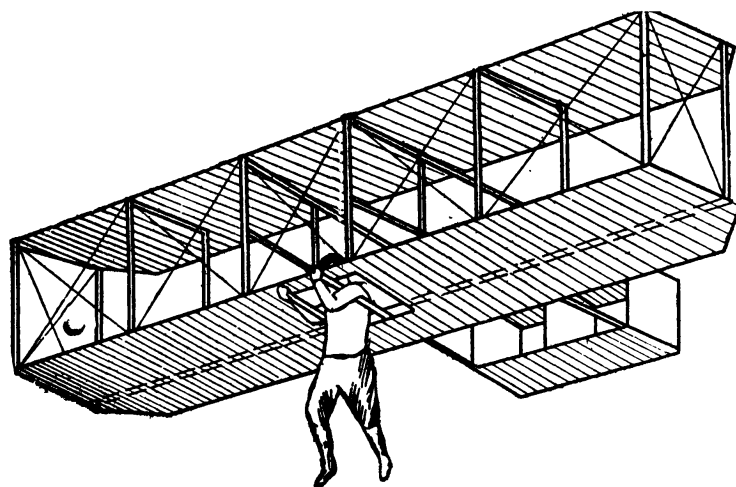
Кроме буквенного обозначения осей, примем еще такую терминологию: ось X назовем продольной осью самолета, ось Z — поперечной осью и ось Y — осью поворотов или осью направления, иногда ее называют осью рысканья.

Моменты, действующие вокруг этих осей, будем называть так: моменты вокруг оси X , т. е. продольными, поперечными моментами или накренивающими моментами; моменты вокруг поперечной оси Z будем называть продольными, причем момент, поднимающий нос самолета, будем называть кабрирующим, а момент, опускающий нос самолета, пикирующим; моменты вокруг оси Y будем называть заворачивающими моментами или моментами рысканья.

При рассмотрении сложных вопросов динамики приходится брать три системы осей: 1) неподвижные оси, 2) оси, связанные с воздушным потоком, и 3) оси, связанные с самолетом. Для решения вопросов, помещенных в данной части „Аэродинамики самолета“, достаточно осей, связанных с самолетом; встречный же поток характеризуется вектором скорости V и его углами с осями самолета.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ

Моменты, уравнивающие самолет, могут служить одновременно для управления самолетом, т. е. для изменения режима равновесия. Поэтому вопрос о равновесии тесно связан с управляемостью. Разделение этих вопросов производится только с методической целью, история же их неразделима.



Фиг. 2. Балансирный планер.

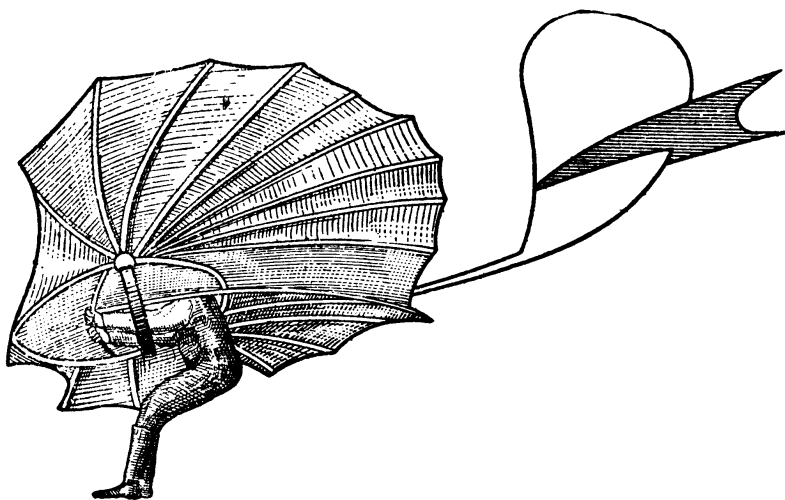
В самой ранней схеме летательная машина представлялась в виде одного плоского крыла, причем в некотором месте этого крыла находился человек. Подобная схема произошла, несомненно, от парашюта, который в своей ранней форме был плоским, причем человек находился в середине.

Отто Лилиенталь начал именно с такого крыла. Крыло было надето на него на уровне пояса и удерживалось руками. Бега с этим крылом против ветра и прыгая с холмиков, Лилиенталь изучал не только подъемную силу с сопротивлением, но и равновесие. Для достижения нужного угла атаки и выравнивания кренов Лилиенталь, опираясь руками на крыло, отклонял свое туловище и ноги в ту или иную сторону, чем вызывалось изменение положения центра тяжести всей системы. Летчик старался занять такое положение, чтобы общий центр тяжести совместился с центром поддержания для получения равновесия.

Такой метод управления называется балансированием, а планеры с таким управлением — балансирными планерами (фиг. 2). Балансирные планеры пользовались вначале большим распространением. Балансирное управление было оставлено вследствие своей

грубости, неудобства работы для летчика и затраты больших усилий. Нужно, однако, указать, что птицы тоже используют принцип балансирования, перемещая крылья назад-вперед. Управление перемещением центра тяжести может быть очень мощным, и если сейчас его в самолетах не применяют, то нельзя утверждать, что и в будущем оно будет оставлено.

Вернемся опять к Лилиенталю. При плоском крыле можно было достичь равновесия балансированием. Когда же Лилиенталь сделал крыло вогнутым, равновесия достичь балансированием не удавалось, и тогда был сделан стабилизатор по образцу птичьего хвоста. Стабилизатор представлял собой небольшую плоскую поверхность, помещенную позади крыла (фиг. 3). Стабилизатор должен быть установлен под определенным углом по отношению к крылу, и летчик должен располагаться в определенном месте



Фиг. 3. Балансирный планер Лилиенталья.

по отношению к крылу. Только в этом случае полет был устойчив, и можно было управлять балансированием. Кроме того, при вогнутом крыле появилась необходимость в небольшом киле для устранения рысканья вправо и влево. Киль был устроен аналогично стабилизатору, но расположен перпендикулярно последнему. Такой планер обладал в известной степени автоматической устойчивостью, т. е. сохранял режим полета без непрерывного участия летчика.

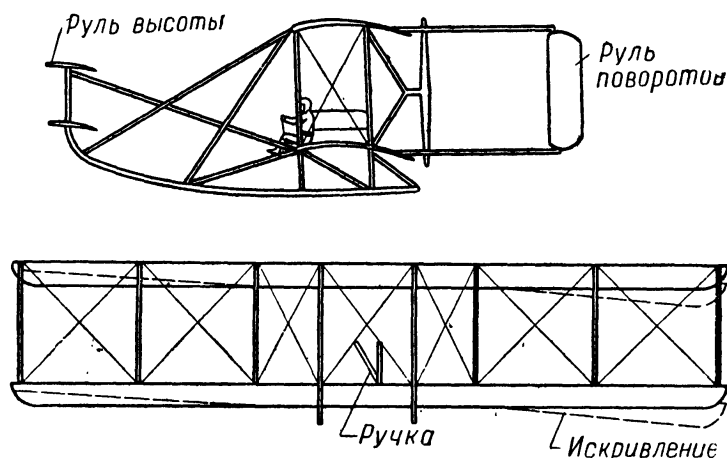
Как видно, планер Лилиенталья отличался от птицы наличием кия, т. е. вертикальной хвостовой поверхности. Киль сохранился затем на самолетах, причем размеры его постепенно увеличивались. Вопрос о том, почему птицы обходятся без кия, а самолеты имеют киль, очень интересен, и мы к нему еще вернемся, когда будем рассматривать самолеты необычной схемы и поперечную устойчивость.

После Лилиенталья, у которого было много последователей, обратим свое внимание на планер и аэроплан бр. Райт. Летчик располагался сначала лежа, а потом сидя; в руках летчика были

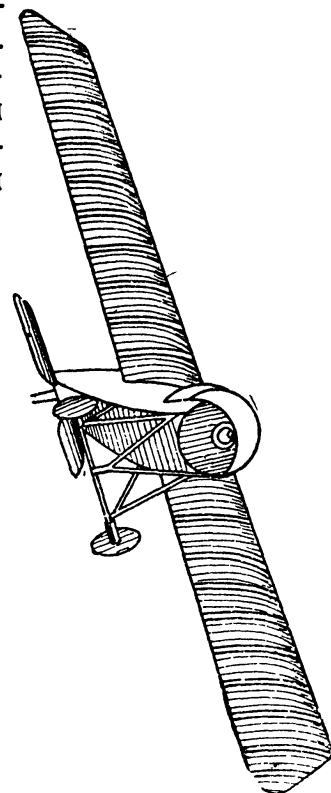
рычаги, которые управляли рулями. Таким образом балансирное управление было заменено рулевым (фиг. 4).

На аэроплане бр. Райт система рулей была такова. Стабилизатор сзади крыла отсутствовал, но зато был поставлен передний руль высоты, представлявший собой небольшое крыло, угол атаки которого можно было менять по усмотрению летчика. Такое положение руля потребовало перенесения центра тяжести вперед. Схема самолета или планера, у которого есть руль или стабилизатор перед крылом и нет их позади крыла, называется „уткой“ (такой самолет в полете очень напоминает летящую утку с длинной вытянутой вперед шеей).

Затем аэроплан бр. Райт получил руль поворотов, т. е. подвижной киль, расположенный сзади, и перекашивание крыльев для выравнивания и создания крена. Смысл перекашивания



Фиг. 4. Управление аэропланом бр. Райт.



Фиг. 5. Летчик выравнивает крен искривлением крыльев. Аэроплан Моран-Г.

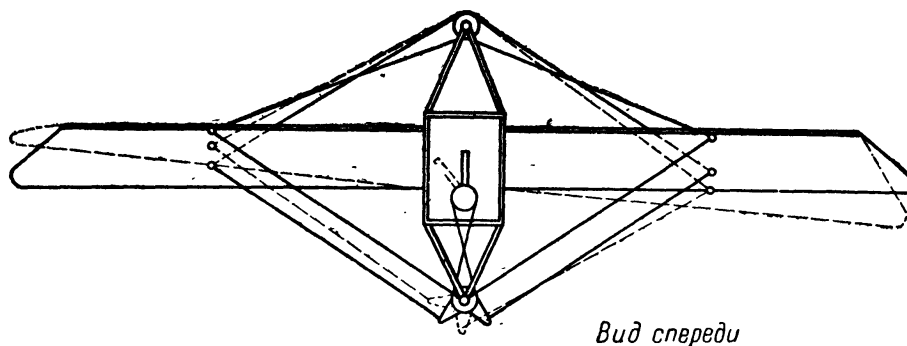
крыльев был очень прост. Крылья деформировались таким образом, что с одной стороны угол атаки увеличивался, а с другой уменьшался. Изменение углов прогрессивно увеличивалось от середины к концам, и крылья приобретали винтовую форму (фиг. 5). Разница в подъемных силах давала мощный момент вокруг оси X , который поворачивал весь самолет туда, куда хотел летчик.

Перекашивание крыльев, искривление крыльев или гоширование, — это все одно и то же, — имело большое распространение в авиации с 1909 до 1920 г. Конструктивно оно выполнялось так: передний лонжерон или передняя ферма у биплана были жесткие, а задний лонжерон или ферму при помощи тросов, соединенных с рычагом управления, можно было поднимать или опускать; на фиг. 6 дан примерный вид устройства искривления крыльев.

Применение перекашивания крыльев и других способов поперечного управления вызвало к жизни одно новое свойство, с которым пришлось вести борьбу, а именно: когда самолет заставляли накрениваться или выравнивать крен, то самолет одновременно за-

ворачивал в нежелательную сторону. Причина этого явления объяснялась очень просто: разная подъемная сила крыльев давала и разное сопротивление, что вызывало заворот в сторону крыла с большим углом атаки. На аэроплане бр. Райт это явление было довольно сильно, и применение перекашивания крыльев требовало одновременно действия рулем поворотов для противодействия завороту. Для обеспечения последней операции управление перекашиванием крыльев и рулем поворотов было соединено в одной рукоятке.

Наибольший недостаток перекашивания крыльев заключался в больших усилиях на ручке управления. Даже на маленьком самолете в непокойную погоду летчик быстро уставал. На больших самолетах и при толстом профиле крыльев перекашивание стало невозможным. В бипланах перекашивание применялось очень редко; в монопланах до 1917 г. применялось почти исключительно перекашивание, но затем оно быстро исчезло.



Фиг. 6. Схема искривления крыльев у моноплана.

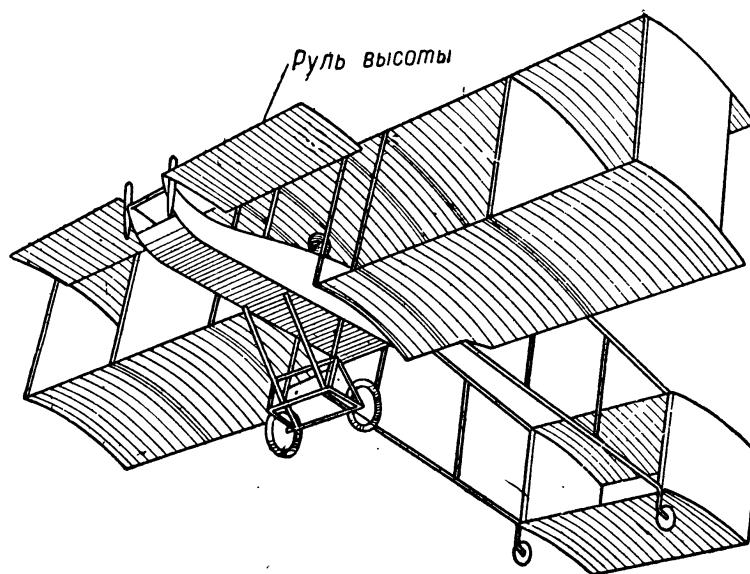
Моноплан Блерио 1909 г. имел стабилизатор, руль высоты и руль поворотов позади крыла. Поперечное управление было осуществлено перекашиванием крыльев. Рычаги управления летчика были такие же, как и у современных самолетов. Руль поворотов управлялся ножными педалями, причем передача была такова, что самолет поворачивал в сторону вытянутой ноги. Эта система противоположна применяемой на велосипеде или мотоцикле, где поворот происходит в сторону сокращаемой руки.

Управление рулем высоты и перекашиванием крыльев было сосредоточено в одной рукоятке. Передача была выбрана так, чтобы движения были инстинктивны и самолет как бы ходил за ручкой: куда двинул летчик конец ручки, в ту сторону поворачивался и самолет. При даче ручки „от себя“, т. е. вытягивании руки, самолет опускает нос, при сокращении руки — поднимает нос. Отклонение ручки вправо вызывает наклонение вправо, — и наоборот.

Затем нужно остановиться на аэропланах Вуазен 1908 г. и Фарман 1909 г.

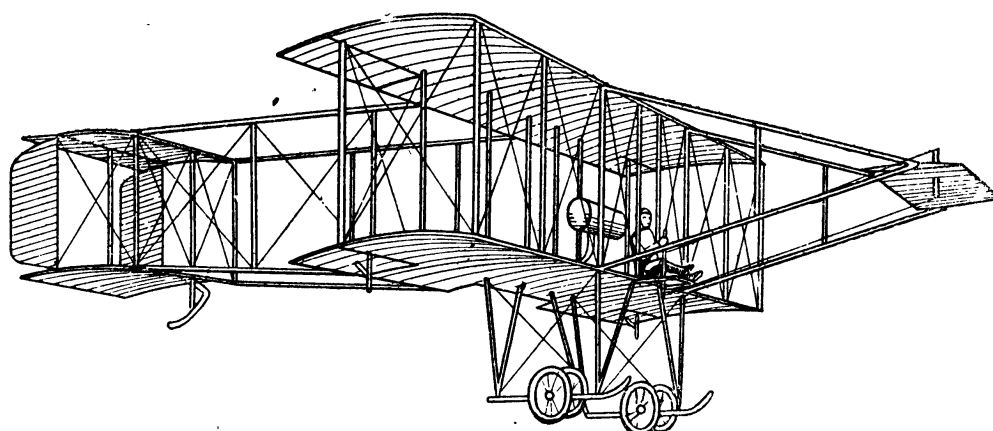
Аэроплан Вуазен имел большой бипланный хвостовой стабилизатор и руль поворотов. Руль высоты находился впереди само-

лета, а поперечного управления не было совсем (фиг. 7). Летчик управлял самолетом при помощи штурвального колеса, которое могло еще передвигаться назад-вперед. Поворот штурвала был связан с рулем поворотов подобно автомобилю, а передвижение штурвала назад-вперед действовало на руль высоты. Повороты



Фиг. 7. Аэроплан Вуазен 1908 г.

происходили без крена, а для сокращения радиуса поворота между крыльями были поставлены перегородки. Выравнивание небольших кренов происходило, вероятно, путем отрывистых поворотов, когда изменение скоростей концов крыльев давало изменение



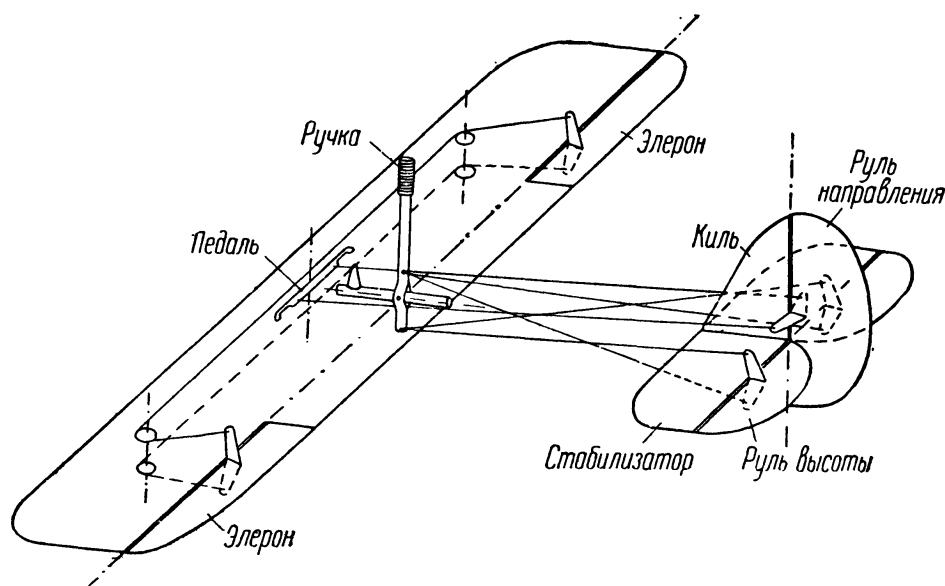
Фиг. 8. Аэроплан Фарман 1909 г.

подъемных сил и, следовательно, поперечный момент. Этот эффект летчики используют и на современных самолетах. На аэроплане Вуазен летали лишь в тихую погоду на малой высоте.

Аэроплан Фарман-3 по внешнему виду походил на Вуазен (фиг. 8): тот же хвостовой стабилизатор с рулями поворотов и руль высоты впереди. Но система управления была иная. Руль

поворотов управлялся ногами, как на Блерио; руль высоты и поперечное управление — ручкой, причем различие от Блерио было в замене перекашивания крыльев элеронами или крылышками. Устройство элеронов и управление ими было очень примитивно. Сами элероны представляли собой небольшие поверхности в задних концевых частях крыла, подвешенные на петлях. Тросы управления были только снизу и потому при стоянке элероны свободно висели вниз. В полете под давлением воздуха элероны поднимались и становились в продолжение крыла. Отклонение ручки вправо вызывало опускание левого элерона, и самолет наклонялся вправо. Отклонение только одного элерона вниз давало одностороннее торможение и отсюда — стремление самолета завернуть.

В дальнейшем Фарман и другие конструкторы, применявшие элероны, видоизменили передачу к элеронам так, чтобы при опу-



Фиг. 9. Схема управления самолетом.

скании одного элерона другой поднимался. Действие элеронов этим было усилено, а заворачивающий момент ослаблен.

Можно было бы привести еще много примеров самолетов с необычным управлением, но мы это сделаем в особой главе.

Изучая дальнейшую историю авиации, мы видим, как передние рули высоты переходят назад к стабилизатору. Были такие самолеты, у которых хвостовое оперение состояло только из рулей высоты и поворотов без неподвижных поверхностей; были самолеты, у которых вместе с рулем высоты был неподвижный стабилизатор, а с рулем поворотов — и киль. Поперечное управление достигалось элеронами или перекашиванием (с постепенным отмиранием последнего по указанным уже причинам). На фиг. 9 дана схема управления самолетом.

Укрупнение размеров и утяжеление самолетов оказали и сейчас оказывают большое влияние на управление самолетом. Прежде всего постарались избавить летчика от утомительного постоянного нажима на ручку. Это было достигнуто устройством регулируемого