

**Л. И. Сутугин**

**Механизированные  
крылья**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 030  
ББК 92  
Л11

Л11 **Л. И. Сутугин**  
Механизированные крылья / Л. И. Сутугин – М.: Книга по Требованию, 2016. –  
318 с.

**ISBN 978-5-458-32502-8**

В книге изложен опыт работы над механизированными крыльями как в Советском Союзе так и за границей: приведены характеристики различных типов механизации (предкрылки, закрылки, щитки, подкрылки и т. д.) указаны особенности, преимущества и недостатки каждого типа. Кроме того в книге достаточно полно представлены различные конструкции механизированных крыльев и органов управления ими. Имеются указания по проектированию различных типов механизации.

Книга предназначена для конструкторов авиапромышленности, а также может быть использована для обучения студентов авиационных вузов.

**ISBN 978-5-458-32502-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2016

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2016

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.



Серия Книжный Ренессанс  
[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



## ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЫЛЬЕВ

## НАЗНАЧЕНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЫЛЬЕВ

Величина несущей поверхности крыльев выбирается на основании посадочной скорости, указанной в технических требованиях. Из формулы, связывающей посадочную скорость и площадь крыла,

$$V_{\text{пос}} = 0,94 \sqrt{\frac{2G}{\rho C_{y_{\text{max}}} S}} = \sqrt{\frac{16p}{C_{y_{\text{max}}}}}$$

(где  $p = \frac{G}{S}$  — нагрузка на 1 м<sup>2</sup>), видно, что при данном весе можно достигнуть требуемой посадочной скорости подбором площади крыла или же коэффициента подъемной силы. Чем меньше площадь крыла, тем компактнее может быть самолет (так как площадь хвостового оперения и длина фюзеляжа могут быть уменьшены в соответствии с размерами крыла), тем меньше может быть его сопротивление и больше горизонтальная скорость.

В процессе развития самолетостроения параллельно с повышением максимальной скорости самолета при обычной конструкции крыла пло худшение посадочных данных ( $V_{\text{пос}}$ , угла планирования при подходе на посадку и пробега). Посадочная скорость достигла 100—110 км/час. Вследствие уменьшения лобового сопротивления повысилась качество всего самолета. Летчик получил возможность планировать с данной высоты более продолжительное время и при остановке мотора выбрать наиболее подходящую посадочную площадку.

С другой стороны, уменьшение угла планирования при подходе на посадку затрудняет приземление на небольших площадках, ограниченных высокими строениями или деревьями. Конечно, в этом случае и на самолете, имеющем хорошее качество, можно произвольно увеличить крутизну планирования и коснуться посадочной площадки в ее начале. Однако ввиду того что скорость будет значительно выше посадочной, выполнение подобного рода посадки не безопасно вследствие чрезмерной длины пробега. Для увеличения безопасности посадки необходимо иметь средства, допускающие произвольное увеличение подъемной силы и лобового сопротивления. Очевидно, что эти средства не должны увеличивать сопротивление в нормальном полете и должны действовать безотказно.

Первые конструкции механизированных крыльев не отличались по площади от обычных крыльев. В результате диапазон скоростей увеличивался вследствие значительного понижения посадочной скорости при небольшом уменьшении максимальной скорости, вызванном увеличением лобового сопротивления.

В настоящее время механизированные крылья применяют для увеличения  $V_{\max}$  и угла планирования при подходе на посадку при максимальной допустимой посадочной скорости. Таким образом современные механизированные крылья служат для расширения диапазона скоростей при повышении  $V_{\max}$ .

Механизированные крылья работают в основном при планировании на посадку, посадке, пробеге и при взлете. В полете крыло может быть использовано для понижения минимальной горизонтальной скорости, а также скорости шикирования (крутого планирования). Однако при уменьшении минимальной горизонтальной скорости полета необходимы меры по повышению поперечной устойчивости и управляемости. Для понижения скорости шикирования требуется значительное увеличение прочности механизированного крыла по сравнению со случаем использования его лишь при посадке и взлете.

#### ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЫЛЬЕВ

Появление первых типов механизированных или, точнее, раздвижных крыльев относится ко времени, когда аэродинамика находилась еще в зачаточном состоянии и физическая картина работы крыла была недостаточно ясна. Работа раздвижных крыльев основывалась на увеличении несущей поверхности.

Исследования механизированного крыла, проведенные в 1913—1929 гг., базировались уже на экспериментах в аэродинамических трубах. В этот период появились разрезные крылья, имеющие предкрылки и закрылки. Разрезные крылья увеличивают  $C_{y_{\max}}$  исходного профиля путем увеличения его вогнутости и использования эффекта щелей для повышения скорости пограничного слоя над верхней поверхностью. Вследствие более совершенной конструкции разрезные крылья были уже использованы на целом ряде экспериментальных самолетов. Концевые автоматические предкрылки, простые и щелевые закрылки были установлены на некоторых серийных самолетах. Характерная особенность этих самолетов заключалась в некотором понижении максимальной скорости, так как основные размеры механизированных крыльев обычно подбирались без учета увеличения  $C_{y_{\max}}$ .

Понижение посадочной скорости и скорости планирования на посадку вызвало затруднения в поперечной управляемости самолета. Для улучшения поперечной управляемости был исследован целый ряд новых приспособлений, из которых лишь незначительная часть оказалась удовлетворительной и была опробована в полете.

В самолетостроении разрезные крылья широкого применения не получили. Первые типы щелевых закрылков и предкрылки увеличивали  $C_{x\ min}$  и не давали значительного увеличения  $V_{\max}$  даже в случае уменьшения площади крыла до размеров, гарантирующих общепринятые величины посадочных скоростей с использованием эффективности разрезного крыла. Главная же причина, пожалуй, заключалась в том, что значительно большее повышение максимальной скорости можно было получить путем усовершенствования винтомоторной группы, уменьшения вредного сопротивления при переходе от полуторалланов и подкосных монопланов к свободносущим крыльям и, наконец, путем применения убирающихся шасси.

Современный период развития собственно механизированного крыла совпадает с применением двояковыпуклых тонких профилей, с переходом на свободносущие монопланы и освоением убирающегося шасси. Этот период характеризуется также улучшением формы и поверхности крыла, фюзеляжа и оперения. Повышение максимальной скорости в этих условиях сопровождалось увеличением нагрузки на  $1\ m^2$  несущей поверхности и привело к усложнению подхода на посадку и самой посадки вследствие повышения качества самолета. Для улучшения посадочных данных и обеспечения безопасности посадки конструкторы были вынуждены обратиться к механизированным крыльям.

Наиболее простыми в конструктивном отношении и в то же время достаточно эффективными с точки зрения аэродинамики оказались простые щитки, или щитки Шренка. Они дают достаточное приращение  $C_{y\ max}$  и  $C_x$  соответствующего  $C_{y\ max}$ , а также не увеличивают  $C_{x\ min}$  в полете. Если 8—10 лет назад самолет с механизированным крылом являлся редкостью, то в настоящее время почти такую же редкость представляет самолет без щитков.

В результате экспериментальной работы последних лет появились новые посадочные приспособления эффективнее щитков, и кроме того, более выгодные в отношении взлета. В этот же период усовершенствовались уже известные типы механизированных крыльев в отношении уменьшения  $C_{x\ min}$ . В новых механизированных крыльях (щитки Цап, закрылки Гудж, подкрылки Фаулера и ЦАГИ), помимо увеличения вогнутости и использования эффекта отсоса пограничного слоя с верхней поверхности крыла, эффективность повышается путем увеличения площади. Исследованы также сложные механизированные крылья, представляющие комбинацию основных типов механизации крыла: предкрылков с закрылками, щитками и подкрылками, щелевых закрылков и подкрылков с простыми щитками и т. д. При этом необходимо отметить, что до последнего времени простые щитки успешно конкурируют с указанными типами механизации, более сложными в конструктивном отношении. Даже наиболее простые из последних типов, как щитки Цап и подкрылки Фаулера, у которых приращение  $C_{y\ max}$  больше на 30—50%, чем у простых щитков, не пользуются в настоящее время особой популярностью среди конструкторов.

## РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЫЛЬЕВ

По конструкции механизированных крыльев также проделана огромная работа. Многие из исследованных крыльев опробованы в полете. Наиболее эффективные из них в настоящее время имеют несколько вариантов конструктивного оформления.

Наибольшее количество вариантов конструкции относится к управлению механизированным крылом. До появления убирающихся в полете шаши управление механизированным крылом в большинстве случаев осуществлялось механической передачей. В настоящее время наибольшее распространение получили гидравлическая и гидропневматические передачи. Вследствие соединения управлений шаши с механизированным крылом удалось уменьшить вес управления.

Следует отметить, что площадь современных механизированных крыльев определяется из условия обязательной работы их при посадке. Отказ в работе управления механизированным крылом при посадке может кончиться благополучно лишь на хорошо оборудованных аэродромах. Отсюда понятны и те высокие требования, которые должны быть предъявлены к конструкции управления механизированным крылом.

Большое количество конструктивных схем разработано также для поперечного управления при механизированных крыльях.

### ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КРЫЛЬЯМ

По степени важности требования к механизированным крыльям можно подразделить на две группы и расположить в следующем порядке.

Первая группа требований:

**1. Максимальное приращение  $C_{y \max}$ .** Чем больше  $\Delta C_{y \max}$ , тем, при заданной величине посадочной скорости, меньше площадь крыла и все зависящие от нее размеры остальных частей самолета, а следовательно, их вес и лобовое сопротивление.

**2. Минимальная величина  $\Delta C_x$  при закрытом механизированном крыле на всех летных режимах.** Щели, имеющиеся у некоторых типов механизированных крыльев, увеличивают  $C_x$  независимо от конструкции. Крылья, не имеющие щелей и теоретически не увеличивающие сопротивления, при конструктивном осуществлении связаны с механизмами, у которых часть деталей выступает из профиля крыла.

**3. Диапазон скоростей.** Для оценки механизированных крыльев, кроме  $\Delta C_{y \max}$  и  $\Delta C_x$ , применяется коэффициент  $K_1 = \frac{C_{y \max}}{C_{x \min}}$ , где

$C_{y \max}$  соответствует полностью открытому, а  $C_{x \min}$  полностью закрытому положению. Этот коэффициент позволяет сравнивать диапазон скоростей, т. е. отношение  $V_{\max}$  к  $V_{\text{нос}}$ .

**4. Критический угол атаки при  $C_{y \max}$ .** Увеличение  $C_{y \max}$  не должно быть связано с увеличением  $\alpha_{\text{кр}}$ . Большие углы атаки ( $\alpha > 15-17^\circ$ ) неудобны для посадки и связаны с увеличением высоты, веса и лобового сопротивления шаши.

**5. Надежность работы механизмов, их простота и отсутствие выступающих из профиля крыла деталей.** Механизмы должны безотказно работать при деформациях крыла. Применение направляющих нежелательно, так как они могут заедать.

**6. Жесткость элементов механизированного крыла** должна быть такова, чтобы получились минимальные прогибы. Наивыгоднейшие положения не должны изменяться при нагрузке.

**7. Минимальное количество отдельных элементов механизированного крыла.** Увеличение числа элементов усложняет управление и понижает надежность работы.

Перечисленные требования играют главную роль при выборе типа механизированного крыла.

### Вторая группа требований:

К этой группе относятся требования, которые в отдельности не имеют решающего значения, но, взятые вместе, могут заставить конструктора отказаться от крыла, более эффективного в отношении  $\Delta C_{y \max}$ .

**8.  $\min C_y/C_x$  открытого механизированного крыла при  $C_{y \max}$  или  $0,7 C_{y \max}$ .** Это требование связано с улучшением условий подхода к нормальной и в особенности к вынужденной посадке через барьер. Увеличивать угол планирования без увеличения скорости или же планировать под тем же углом, как при нормальном крыле, но с меньшей скоростью можно лишь в том случае, если  $C_x$  увеличивается в большей степени, чем  $C_y$ . Увеличение  $C_x$  выгодно и для сокращения длины пробега.

**9.  $\min C_x/C_y^{3/2}$  или  $\max C_y^{3/2}/C_x$  при малых углах отклонения механизированного крыла.** При пользовании механизированным крылом во время взлета должно уменьшаться время разбега и расстояние, необходимое для взятия барьера.

**10.  $\min C_{ш}$  или минимальное усилие, необходимое для открытия механизированного крыла.** При выполнении этого требования можно лучше использовать механизированное крыло в случае ручного управления, а также уменьшить мощность сервомоторов и вес различных передач.

**11. Минимальное перемещение центра давления** при открытом механизированном крыле по сравнению с закрытым.

При дальнейшем описании (главы II, III, IV, V, VI и VII) рассматриваются особенности различных типов механизации, главным образом в соответствии с первой группой требований, как решающих в отношении выбора механизированного крыла. Сравнительная оценка крыльев в отношении всего объема предъявляемых к ним требований в пределах возможности сделана в главе VIII.

Вопросы поперечного управления, относящиеся ко всем типам механизации, так же как и управление механизированными крыльями, выделены в отдельные главы IX и X.

В главе XI рассмотрен ряд общих вопросов проектирования.

## МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ КРЫЛЬЯ С УВЕЛИЧИВАЮЩЕЙСЯ ПЛОЩАДЬЮ

### СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ КРЫЛЬЕВ ПРИ ПОСАДКЕ

Увеличение площади крыльев возможно в четырех вариантах: а) увеличение размаха; б) увеличение хорды; в) увеличение размаха и хорды; г) превращение моноплана в биплан или полиплан.

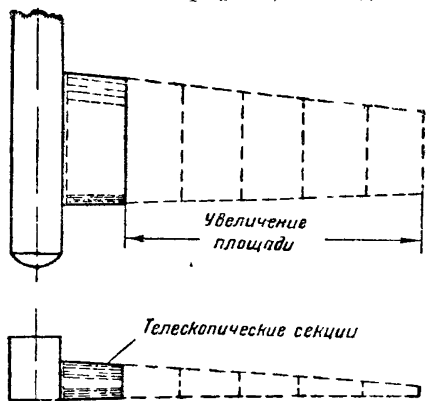
Увеличение площади крыла может быть осуществлено при увеличении размаха, а также размаха и хорды одновременно. При увеличении одной хорды неизбежно изменение формы профиля крыла и его основных параметров: вогнутости и относительной толщины. Эти параметры оказывают существенное влияние на аэродинамические данные профиля, и, следовательно, влияние увеличения площади крыла может быть усилено или же уменьшено.

В современных самолетах с раздвижными крыльями, помимо увеличения площади, почти всегда применяется увеличение вогнутости исходного профиля с целью повышения его  $C_{y \max}$ .

В современных самолетах с раздвижными крыльями, помимо увеличения площади, почти всегда применяется увеличение вогнутости исходного профиля с целью повышения его  $C_{y \max}$ .

### УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОЩАДИ КРЫЛА В НАПРАВЛЕНИИ РАЗМАХА

Увеличение площади крыла в направлении размаха возможно как в монопланной, так и в бипланной схемах (фиг. 1, 2). Увеличение раз-



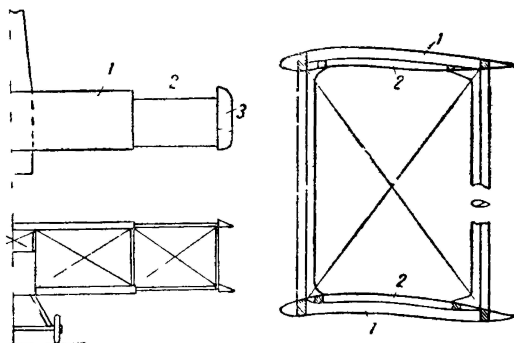
Фиг. 1. Телескопическое крыло.

маха при бипланной схеме легче в весовом и конструктивном отношении, чем у свободнесущего моноплана, вследствие большей строительной высоты.

При максимальной скорости, т. е. при сложенном крыле, в обоих случаях сопротивление крыла понижается вследствие уменьшения

площади. У биплана, кроме того, уменьшается и вредное сопротивление, если ленты и стойки подвижной части расположить при сложенной коробке за лентами и стойками неподвижной части. Уменьшение удлинения в обоих случаях не может оказать существенного влияния на  $V_{\max}$ .

При подходе на посадку, т. е. при раздвинутом крыле, увеличение удлинения оказывает уже неблагоприятное влияние на посадочные данные самолета. Качество самолета повышается, и, следовательно, траектория планирования при данном  $C_y$  становится положе. Бипланная схема в этом отношении несколько лучше, так как одновременно с уменьшением

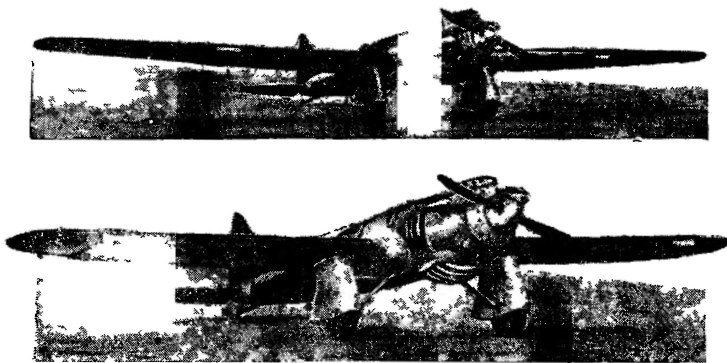


Фиг. 2. Крылья с изменяющейся площадью системы «Carolin».

1 — неподвижное крыло; 2 — подвижное крыло; 3 — элерон

индуктивного сопротивления вследствие увеличения  $\lambda$  увеличивается вредное сопротивление от лент и стоек подвижной части.

Размещение элеронов и конструкция управления в случае увеличения площади крыла в направлении размаха весьма затрудни-



Фиг. 3. Самолет Махонина с раздвинутым и сложенным крылом. Полетный вес 5000 кг. Площадь крыла в раздвинутом состоянии  $S_1 = 33 \text{ м}^2$  ( $\Delta S = 74\%$ ) при размахе  $l_1 = 21 \text{ м}$ , площадь сложенного крыла  $S_2 = 19 \text{ м}^2$  и  $l_2 = 13 \text{ м}$ .

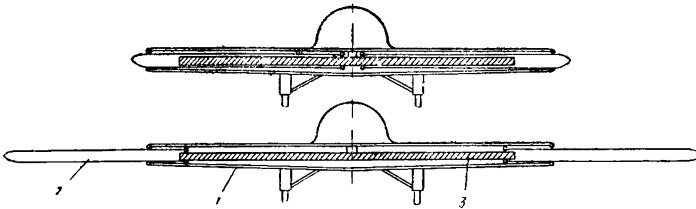
тельно. Если элероны разместить на неподвижных частях, то их эффективность будет недостаточной при раздвинутом крыле.

В случае установки элеронов на подвижных частях, усложняется конструкция управления, но вместе с тем вопрос поперечной управ-

ляемости разрешается лучше, так как при уменьшении поступательной скорости эффективность элеронов повышается вследствие увеличения их плеча.

Основной недостаток увеличения площади крыла в направлении размаха заключается в значительном увеличении изгибающих моментов в лонжеронах. Последнее обстоятельство, по видимому, служит причиной, почему до самого последнего времени этот тип механизированного крыла не получил распространения.

Примером наиболее удачной конструкции является самолет Маховина с мотором Лоррен 480 л. с. (фиг. 3). Посадочная скорость этого самолета при раздвинутом крыле уменьшается по сравнению с  $V_{\text{пос}}$  при сложенном крыле на 24%. По расчету  $V_{\text{max}} = 250$  км/час при раздвинутом и 300 км/час при сложенном крыле.



Фиг. 4. Схема механизма крыла Маховина.  
1 — центроплан; 2 — подвижные консоли; 3 — направляющая.

Значительно лучшие результаты в отношении увеличения подъемной силы при менее сложной и более легкой по весу конструкции можно получить, применяя современные механизированные крылья, которые позволяют увеличить  $C_{y \text{ max}}$  на 100—150%.

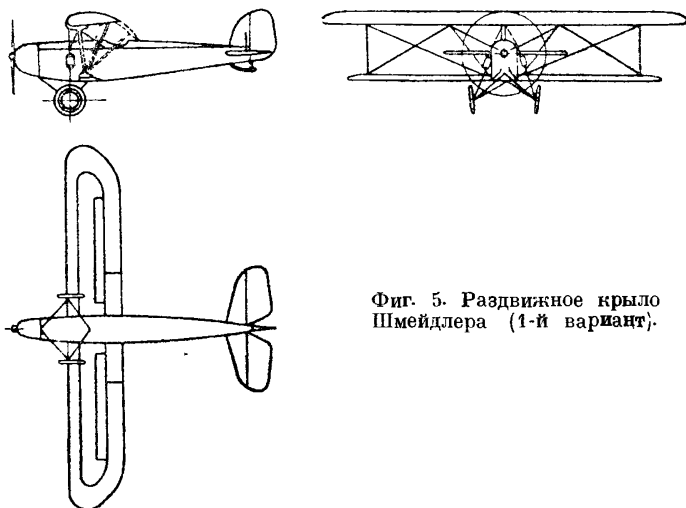
Крыло самолета Маховина состоит из трех частей (фиг. 4). Центральная, полая часть составляет одно целое с фюзеляжем и имеет два лонжерона. К заднему лонжерону крепятся элероны. Внутри кессона, образованного лонжеронами, жесткой верхней и нижней обшивками, помещается металлическая направляющая коробчатого сечения. Консольные части крыльев выполнены из дерева и при уборке входят внутрь кессона средней части. В корне консолей имеются ролики, передающие нагрузку на металлическую направляющую центральной части. На концах центроплана также имеются направляющие ролики. Для повышения эффективности элеронов, размещенных на центроплане, консольные части можно выдвигать не только на одинаковые, но и на разные величины.

#### УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОЩАДИ КРЫЛЬЕВ В НАПРАВЛЕНИИ ХОРДЫ

Этот тип крыла наиболее рационален из всех возможных вариантов увеличения площади. Увеличение площади крыла в направлении хорды значительно выгоднее как в отношении повышения  $V_{\text{max}}$ , так и улучшения посадочных данных самолета. При сложенном крыле его сопротивление уменьшается вследствие увеличения удли-

нения, а также уменьшения профильного сопротивления. При подходе на посадку удлинение крыла уменьшается, и, следовательно, одновременно с увеличением подъемной силы возрастает индуктивное сопротивление. Профильное сопротивление также увеличивается вследствие образования щелей и увеличения вогнутости.

При больших увеличениях площади в направлении хорды центровка самолета при сложенном и раздвинутом крыльях может существенно изменяться. Для устранения дополнительных продольных моментов хорду крыла обычно увеличивают в двух направлениях: со стороны передней и задней кромок.



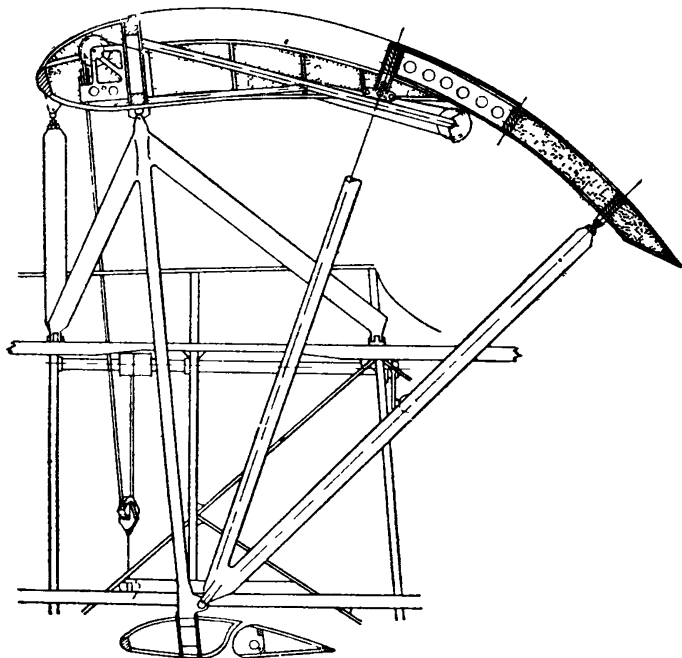
Фиг. 5. Раздвижное крыло Шмейдлера (1-й вариант).

В отношении удобства размещения элеронов и эффективности поперечного управления на малых скоростях этот тип крыла несколько лучше, чем предыдущий. При бипланных схемах размещение обычных элеронов возможно на верхнем или нижнем нормальном крыле. В этом случае, так же как в монопланной схеме, приходится вти на некоторое понижение подъемной силы (при обычных элеронах) или же применять элероны особых типов. Меньшие моменты и усилия, возникающие в элементах крыла с увеличивающейся хордой, позволяют сделать конструкцию легче, чем в случае увеличения размаха.

Крылья с увеличивающейся хордой в отношении возрастания подъемной силы эффективнее крыльев с увеличивающимся размахом, так как дают, кроме того, еще приращение  $C_{y \max}$  вследствие увеличения вогнутости профиля.

Ввиду сравнительной простоты конструкции, меньшего веса и большей эффективности количество довольно удачных опытных самолетов с крылом этого типа значительно больше, чем с крылом, увеличивающимся по размаху.

**Крылья Шмейдлера.** В первом варианте, имевшем полуторапланную схему, площадь верхнего крыла увеличивалась на 44%, а общая несущая площадь на 32% (фиг. 5 и 6). У второго варианта



Фиг. 6 Механизм крыла Шмейдлера (1-й вариант).

увеличение несущей поверхности достигало всего лишь 20% (фиг. 7). Приращение  $C_{y \max}$  для второго варианта равно 13%. При испытании была достигнута скорость  $V_{\max} = 140 \text{ км/час}$  (при сложенном крыле) и посадочная скорость (при раздвинутом крыле)  $60 \text{ км/час}$ . Уменьшение разбега и пробега при раздвинутом крыле равнялось 40%. На самолете был установлен мотор BMW-X мощностью 45—50 л. с. Вес в полете (с одним человеком) составлял 470 кг.

**Крыло Бурнелли.** Средняя часть крыла экспериментального 2-моторного самолета Бурнелли между лонжеронами жесткая. Передняя и хвостовая части могут выдвигаться по дуге круга соответственно вперед и назад, увеличивая таким образом как площадь, так и вогнутость крыла (фиг. 8)