

П.Г. Антипов

Преимущества использования бипланной коробки большого удлинения для беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьёва

152934. г. Рыбинск, ул. В. Набережная, дом 173А

17 декабря 2003 года исполнилось 100 лет со дня первого полёта человека на летательном аппарате (ЛА) тяжелее воздуха, оснащённом двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Успех братьев Райт был обусловлен высоким, по тем временам, максимальным аэродинамическим качеством (К) и хорошей весовой отдачей по полезной нагрузке (В) их планера, если считать винтомоторную группу (ВМГ), пилота и топливо полезной нагрузкой. Именно бипланная коробка (БК) «Флайера» смогла обеспечить $K \times V$ достаточное, чтобы поднять в воздух и тяжёлый ДВС и пилота; правда имела значение большая площадь крыльев (S), которая обеспечивала малую скорость полёта и, соответственно, меньшую потребную мощность (ДВС) [1].

Спустя 100 лет конструкция «Флайера» не потеряла своего значения.

Прежде чем объяснять преимущества БК, остановимся на её недостатках.

- 1 Наличие интерференционного сопротивления между верхней и нижней плоскостью.
- 2 Сопротивление стоек и расчалок.
- 3 Ограничения по устойчивости элементов БК - «задача Эйлера» [2].
- 4 Большая трудоемкость изготовления БК, по сравнению с крылом моноплана, если они выполнены на одном технологическом уровне и равны по грузоподъёмности.

В наше время с этими недостатками можно справиться за счёт использования в конструкции БК углеродных волокон (УВ) и сплавов группы Al Mg Li (14 20). Эти материалы обладают не только повышенной удельной прочностью, но и повышенной удельной жёсткостью, в сравнении со стекловолокном и традиционными алюминиевыми сплавами. Именно большая удельная жёсткость современных материалов позволяет, в значительной степени, устранить первые три недостатка БК. Критические силы, которые могут вывести деформируемую систему БК из равновесия, зависят от модуля упругости материала линейно [2].

1. С переходом на БК большого удлинения (БКБУ) существует возможность значительно увеличить относительное расстояние (ОР) между крыльями, выраженное в средней аэродинамической хорде (САХ). Для биплана $САХ = S / (L1 + L2)$

S – сумма площадей в плане: верхнего крыла и нижнего крыла.

$(L1 + L2)$ – сумма размахов верхнего и нижнего крыла.

Например, для биплана «Ан-2» созданного О.К. Антоновым в 1947 году $OP=0,9 \text{ САХ}$, то есть расстояние между крыльями меньше их хорды [3].

У биплана «8-М» конструкции автора $OP=3,1 \text{ САХ}$ – расстояние между крыльями больше трёх хорд. В последнем случае интерференционным сопротивлением можно пренебречь, так как оно проявляется на расстояниях меньших, чем характерные размеры – длины хорд [4].

2. Стойки и расчалки можно заменить подкосами и раскосами, закреплёнными на пилонах перед крыльями. Это не только уменьшит интерференционное сопротивление их стыков, но и расширит диапазон скоростей при пикировании, так как является, одновременно, и противофлаттерным мероприятием [4].

3. Устойчивость равновесия деформируемых систем БК обеспечивается углеродным волокном (УВ) с модулем упругости ($E=600 \text{ ГПа}$) [5].

4. Трудоёмкость изготовления БК можно значительно уменьшить, заменив наборную конструкцию замкнутым алюминиевым профилем – 2. Пазы заполнены композитным материалом на основе УВ – 1. Закрылок – 3 изготовлен по другой технологии (Рисунок 1).

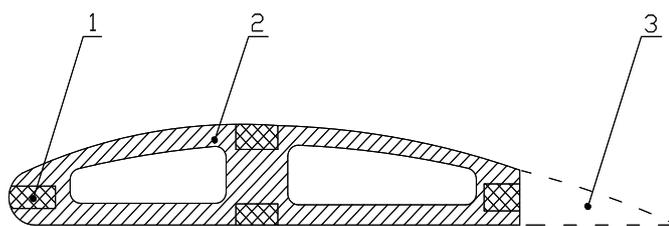


Рисунок 1.

Следует уточнить, что форма крыла в плане у современного моноплана, например, «Boeing 767» определяется в значительной степени распределённой нагрузкой от аэродинамических сил. Изгибающий момент (M) по размаху переменный. Конструктору приходится, соответственно, менять строительные высоты, хорды и крутку, обеспечивая равнопрочность крыла. У БК есть возможность, при постоянном сечении профиля, расположить крепление подкосов по размаху таким образом, что крыло окажется загруженным «равными моментами». То есть можно сделать практически равнопрочную БК при «прямоугольных крыльях» в плане [6] и постоянном заполнении их сечений (Рисунок 1).

При крупносерийном производстве стоимость одного килограмма БК ($C_{БК}/\text{Кг}$) может снизиться до 400 у.е./Кг , в то время как стоимость одного килограмма моноплана ($C_{М}/\text{Кг}$) около 1000 у.е./Кг . Например, килограмм нового **А-380** стоит около $\text{€}1400$ [7].

Учтём то, что масса крыла моноплана ($M_{км}$) составляет половину от массы конструкции уже при $\lambda = 11,86$ (Ан-10) [3]. Масса БК будет равна примерно трети массы крыла моноплана (по опыту создания биплана «8-М»). Далее

проведём сравнительный расчёт стоимости аналогичных ЛА: моноплана и биплана, поднимающих полезный груз ($M_g=1000\text{Кг}$) и топлива ($M_T=1000\text{Кг}$).

Масса конструкции самолёта, за исключением крыла, одинаковая для обоих типов ЛА и составит около ($M_k=500\text{Кг}$). Стоимость одного килограмма конструкции ($C_{м/Кг}$) принимаем равной 1000у.е./Кг [6].

Стоимость планера без крыла $C_{п}=M_k \times C_{м/Кг} = 500 \times 1000 = 500.000(\text{у.е.})$

Стоимость крыла моноплана $C_{км} = M_{км} \times C_{м/Кг} = 500 \times 1000 = 500.000(\text{у.е.})$

Стоимость БК $C_{бк} = M_{км} \div 3 \times C_{бк/Кг} = 500 \div 3 \times 400 = 67.000(\text{у.е.})$

Стоимость моноплана $C_{м} = C_{п} + C_{км} = 500.000 + 500.000 = 1.000.000(\text{у.е.})$

Стоимость биплана $C_{б} = C_{п} + C_{бк} = 500.000 + 67.000 = 567.000(\text{у.е.})$

Следует отметить, что в тридцатые годы прошлого века, в силу большой трудоёмкости изготовления БК, ситуация была обратной.

В 21 веке увеличение дальности полёта и топливной экономичности ЛА будет иметь устойчивую тенденцию, вследствие постоянного роста цен на топливо. Делать ЛА экономичнее можно либо увеличивая удлинение крыльев (λ), как отношение их квадрата размаха ($L \times L$) к площади в плане (S), либо повышая коэффициент полезного действия силовой установки. Для ДВС последний путь практически исчерпан.

Какое удлинение считать большим для бипланов?

Условно примем $\lambda < 5$ как малое, $5 \leq \lambda \leq 10$ как среднее, $\lambda > 10$ будет большим.

Традиционная формула для определения удлинения крыла сохраняется:

$$\lambda = L^2 / S$$

где L^2 – квадрат наибольшего размаха БК, а S – сумма площадей в плане: верхнего крыла, нижнего крыла, раскосов и подкосов.

Таким образом, ЛА имеющие одинаковое λ будут иметь при всех прочих равных и примерно одинаковое K и, как следствие, одинаковую дальность, скорость, высотность и экономичность.

Тогда в чём преимущества БКБУ для беспилотного ЛА (БПЛА)?

1. Прежде стоит повторить, что стоимость производства БКБУ может быть почти **на порядок ниже**, чем стоимость крыла моноплана равного удлинения и грузоподъёмности.
2. Грузоподъёмность БКБУ больше крыла моноплана на величину разности между $M_{км}$ и массой БКБУ ($M_{кб} = M_{км} \div 3$).
3. Простая эксплуатация БКБУ в сравнении со сборкой и разборкой моноплана.

Например: стыковка крыльев моноплана – длительный процесс.

Полуразобранный БПЛА с БКБУ выглядит так (Рисунок 2): все несущие поверхности – 3,4 закреплены на фюзеляже – 1 с помощью шарниров - 2 и расположены вдоль его оси. БПЛА стоит на своём шасси. Выкатить из контейнера БПЛА и зафиксировать его несущие поверхности замками - 5 в нормальном положении может **один человек за 5 минут** (Рисунок 2).

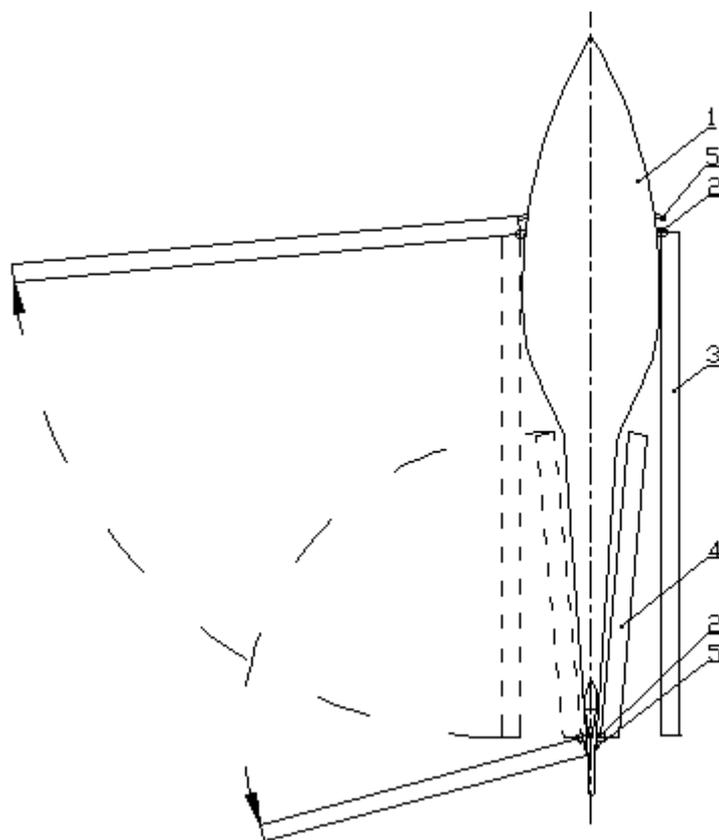


Рисунок 2.

4. Хранить в контейнере БПЛА очень выгодно. На БПЛА не влияют осадки, обледенение, ночные перепады температуры. В контейнере БПЛА защищён от случайных повреждений.

5. Тактические преимущества выразятся в возможности быстрой перевозки контейнеров на новое место дислокации автомобильным транспортом.

6. Главным конструктивным преимуществом БПЛА с БКБУ перед монопланом является его повышенная прочность и жёсткость. Ускорение по оси Y может достигать $+200\text{м/с} \times \text{с}$ – это не предел. Рассмотрим пример использования такого ускорения для манёвра БПЛА с БКБУ. Несколько часов БПЛА находится в стратосфере. По команде с земли выполняется отвесное пикирование примерно в течение одной минуты. Выход

из пикирования начинается на высоте 100метров и заканчивается на высоте 20метров за время равное примерно одной секунде. Разворот на обратный курс выполняется за две секунды. Далее переход в вертикальный набор высоты и продолжение полёта в стратосфере. Возможность столь мощного манёвра, объясняется тем что БКБУ может нести гораздо более мощный (тяжёлый) двигатель, как например, у биплана 8/М. В то время как масса двигателя моноплана ограничена прочностью (массой) крыла.

В таблицах даны сравнительные параметры самолётов, построенных примерно с полувековым интервалом.

«Флайер» - вершина достижений 19 века.

«Ан-2» - создан на высоком технологическом уровне. Этот самолёт летал большую часть 20 века и сегодня незаменим на малых аэродромах [3].

«8/М» - самолёт 21 века: его силовая схема была рассчитана на использование УВ, а конструкция создавалась исходя из требований пассивной безопасности.

Размерные характеристики бипланов

Таблица 1

тип	первый полёт	S м ²	L м	λ	K
Флайер	1903 год	47	12,3	3,22	7...8
Ан-2	1948 год	71,52	18,17	4,62	10*
8/М	1993 год	5,76	8,7	13,1	14**

Расчёт максимального аэродинамического качества (K) «Флайера» производился из предположения равенства максимальной мощности ДВС и мощности потребной для горизонтального полёта [1]

* Для «Ан-2» K соответствует паспортному.

** Для «8/М» - при условии размещения ВМГ в фюзеляже.

Реальное K у этих самолётов 7, только у 8/М есть возможность совершенствования, а Флайер и Ан-2 предельно совершенны.

Массовые характеристики бипланов

Таблица 2

тип	Mв Кг	Mпл Кг	B	Mпл Кг	Mвмг Кг	Mвмг/Mпл
Флайер	340	211	0,62	129	131	1,02
Ан-2	5500	2500	0,46	3000	700	0,23
8/М	300	240	0,8	60	70	1,17

Особый интерес в таблице 2 представляет колонка отношения массы винтомоторной группы (ВМГ) к массе планера (Mпл):

Mвмг/Mпл.

Конструктивный запас прочности по положительной перегрузке у «Ан-2» и «8/М» одинаковый +10. У «Флайера» прочность значительно меньше.

Формула для определения массы полезной нагрузки включает в себя массу ВМГ. Так как мы должны сравнивать весовое совершенство планеров, а не ДВС.

$$M_{пн} = M_{ВМГ} + M_{груза} + M_{топлива}$$

По энерговооружённости и лётным данным бипланы Ан-2 и 8/М примерно одинаковы [3].

Выводы:

1. Схема биплана 8/М в применении к БПЛА с БКБУ очень перспективна, прежде всего, вследствие её большой весовой отдачи.
2. Аэродинамическое качество новых бипланов может быть сравнимо с качеством монопланов.
3. БКБУ даёт малые габариты при хранении.

Литература

1. Соболев Д.А. Рождение самолёта, первые проекты и конструкции. – М.: Машиностроение.1988.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов – М.: Наука. 1979.
3. Антонов О.К. Планеры самолёты. – Киев: Наукова думка. 1990.
4. Петров К.П. Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение.1985.
5. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы: справочник. – М.: Машиностроение.1990.
6. Горяинов А.А. Лурье М.Л. Справочник авиаконструктора том III «Прочность самолёта». – М.: ЦАГИ. 1939.
7. Deutschland №1. 2005.

дом 8 4855 217 196

сот. 8 910 819 4862

peter14159heinrich@yandex.ru

www.airvan.110mb.com