

Интегрированное махающее крыло - испытание новой концепции проекта

Karl-Heinz Helling, Dr. Nina Sieber *
Modellflugclub Rossendorf e.V.
Bautzner Landstr. 26, 01454 Radeberg / OT Rossendorf
www.mfc-rossendorf.de, mfc@fz-rossendorf.de

Абстракт

Представлен принцип действия модели с махающими крыльями в теории и на практике. Испытывались различные модификации модели SF6, чтобы найти лучшее решение для достижения постоянного подъёмной силы. Этого трудно достичь, используя модель с одним монолитным махающим крылом. Представлена новая модель SF9, в которой решение проблемы достигается парой махающих крыльев, расположенных друг над другом.

1 Идея

Начиная с 1986 г. я работаю над проектом модели самолёта с махающими крыльями, как альтернатива к модели самолёта с пропеллером. Раньше меня впечатляли полёты с использованием

мускульной силы, как, например, перелёт Paul Mac Cready через Английский канал на самолёте Gossamer Condor. Я работал над концептом, с помощью которого можно было бы достигнуть меньший расход энергии, не изменяя величины и веса самолётов. В качестве альтернативы, я разработал модель с интегрированным махающим крылом. В 1990 г. я запатентовал этот вариант. На рис. 1 представлена идея самолёта с использованием мускульной силы того времени. С 1990 г. я занимаюсь моделями с интегрированными махающими крыльями. Было запланировано 8 проектов, некоторые из них были реализованы.

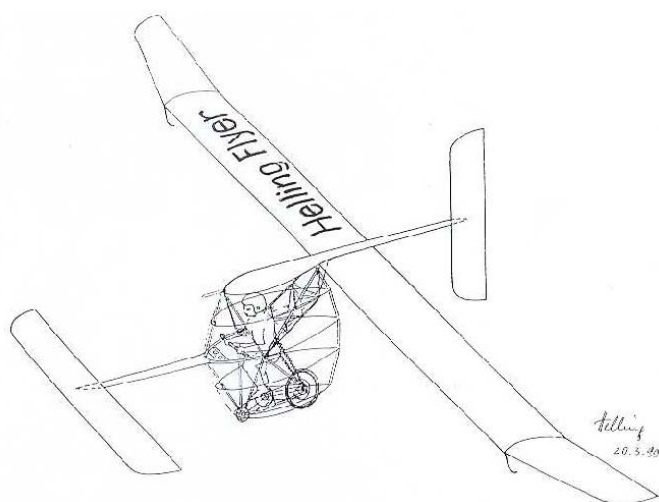


Рис.1 Самолёт на мускульной силе, немецкий патент 1990 г. [1]

2 Принцип

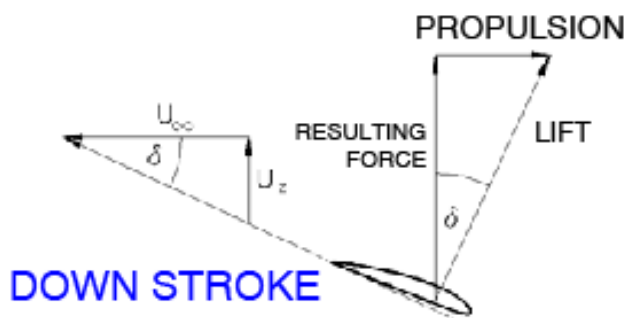
2.1 Принцип махающего крыла.

На следующих рисунках представлен принцип действия махающего крыла. В процессе опускания (down stroke) из-за положительного угла взмаха создаются как подъёмная (lift), так и движущая силы (propulsion), рис.2. Сила при поднятии крыла (up stroke) зависят от угла постановки крыла. При положительном угле поток воздуха проходит под крылом, вызывая подъём и торможение (drag), рис.3. При отрицательном угле взмаха воздушная струя обтекает верхнюю поверхность

* Переводчик

крыла, результируя движущую силу вперёд и отрицательный подъём (negative lift), рис.4. Так как с

отрицательной подъёмной силой самолёт летать не может, то был выбран вариант только с



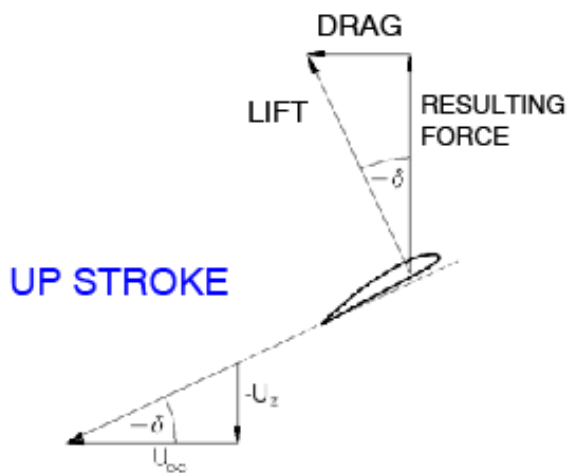
опускании крыла [2]

ходимо сделать так, чтобы скорость опускания

положительным углом взмаха. Этим достигается постоянное продвижение вперёд, но подъёмная сила остаётся несбалансированной, что приводит к перемещению по вертикали, так называемый «фюзеляжный танец». Кроме того, из-за аэродинамического сопротивления при поднятии крыла возникает проблема и с движущей силой. Для достижения положительной движущей силы за полный цикл взмаха крыла необ-

крыла превосходила бы скорость поднятия

Крыла. В противном случае может возникнуть момент, когда движущая сила вперёд при опускании крыла и сила торможения при поднятии крыла компенсируют друг друга. Такая неустойчивость приводит к сильным изменениям моментной скорости полёта. На рис.5 представлены зависимости коэффициента подъёма (слева) и коэффициента торможения (справа) за полный цикл взмаха крыла [3].



UP STROKE

with negative lift

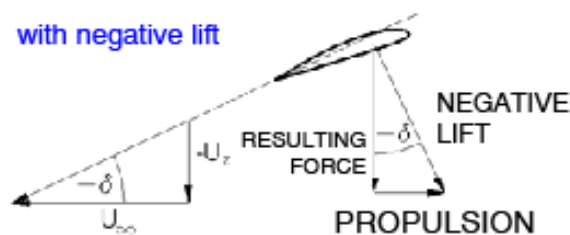


Рис.3 : Силы при поднятии крыла с

Рис.4 : Силы при поднятии крыла с положительной установкой угла [2]
отрицательной установкой угла [2]

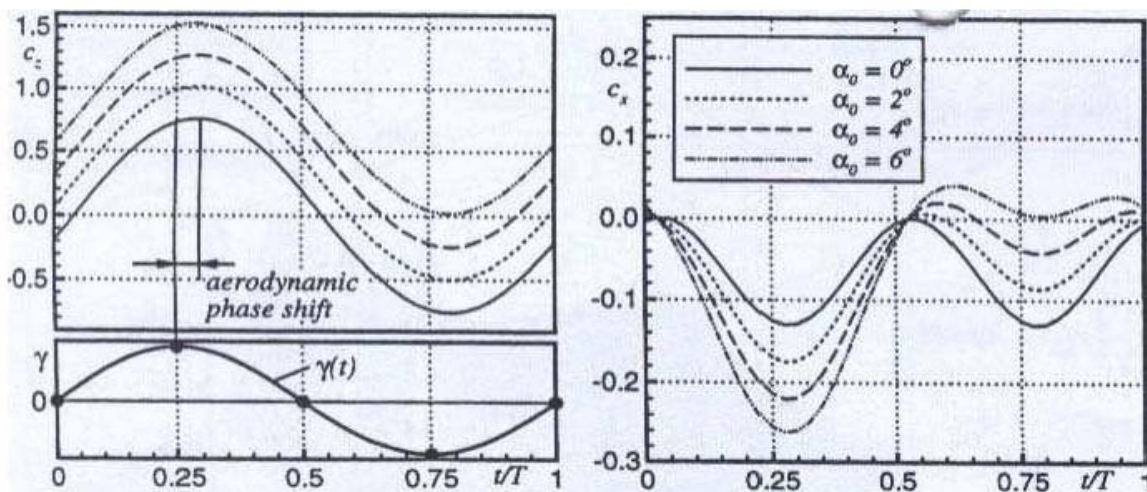
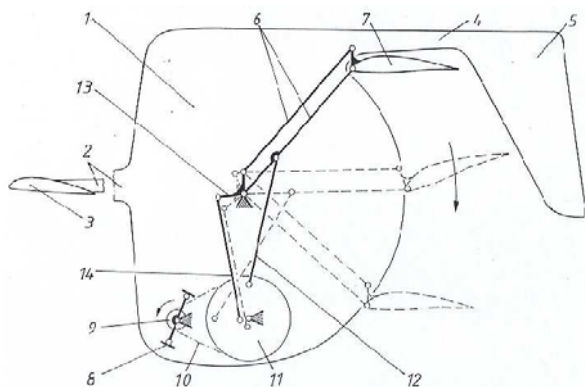


Рис.5 : Коэффициент подъёма (слева) и коэффициент сопротивления (справа) за полный цикл взмаха крыла [3].

2.2 Интегрированное махающее крыло



Под интегрированным махающим крылом подразумевается фиксируемое монолитное крыло с вертикальным перемещением. Движение крыла регулируется таким образом, чтобы за полный цикл взмаха подъёмная сила оставалась бы постоянной, а при опускании крыла достигалось бы постоянство силы движения вперёд. Это удалось достичь комбинированием параметров взмаха крыла и установки угла в процессе движения крыла (рис. 6).

Рис 6: Принцип и траектория интегрированного махающего крыла [1].

3 Преимущества и недостатки

3.1 Преимущества

Фиксированное монолитное крыло с функцией махающего крыла имеет ряд преимуществ. Воздушный поток в поперечном сечении A намного больше, чем в самолётах с пропеллером и больше, чем у птиц (рис.7). В результате достигается к.п.д. 90%, что является самым высоким пока-зателем из всех принципов летающих самолётов. Кроме того, в противоположность полёту птиц в концепциях с интегрированным крылом достигается эллиптическое распределение подъёмной силы. В противовозролож-ность установочным пропеллерам создаётся возможность подстройки для всех режимов полёта. Малозумный полётещё одно преимущество модели.

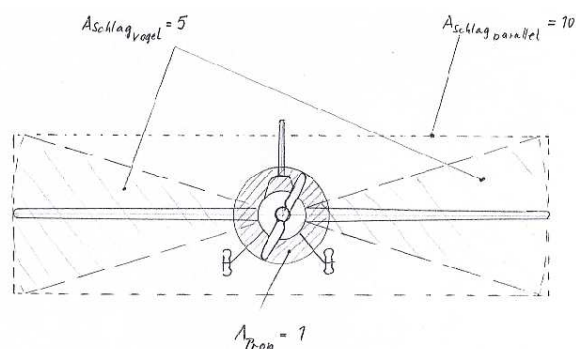


Рис.7: Сравнение поперечного сечения воздушного потока у пропеллера, птиц и махающего крыла.

3.2 Недостатки

Как было показано в п.2. движущая сила вперёд создаётся только при опускании крыльев, так что моментная скорость имеет различное значение. В сравнении с пропеллером необходимо постоянное ускорение массы.

4 Различные проекты

4.1 Проект SF1

Первая модель была построена в 1988г. и после некоторых изменений в 1992 г. была успешно опробована в полёте. Модель была снабжена пружинным накопителем энергии, компенсирующим фюзеляжную массу в нижнем положении крыла. Таким образом было достигнуто то, что сила при опускании крыла была выше, чем при подъёме крыла, что

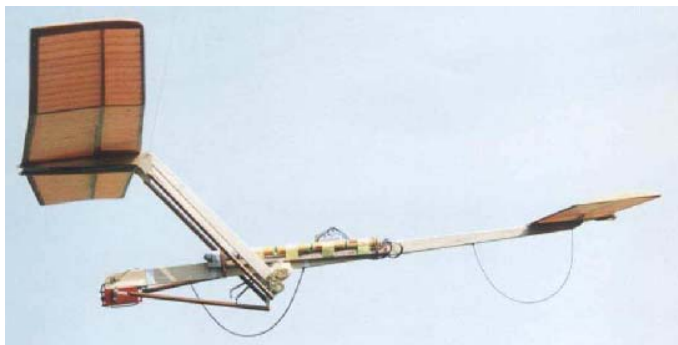


Рис.8: Модель SF1 в полёте

способствовало движению вперёд. Далее, частота взмахов, угол крыла и фазовая разница между движением взмаха и установкой угла хорошо совпадали, так что фюзеляжного танца не наблюдалось.

4.2 Проект SF5



Рис.9: Модель SF5

SF5 это довольно большая модель с длиной крыла 3.20 м. и массой в 4 кг (рис.9). Эта модель может летать, но не годится для опробования. Испытывать эту модель можно будет только тогда, когда будет ясна связь между частотой взмахов и углом установки в процессе движения и по амплитуде.

4.3 Проект SF8



Рис.10: Модель SF8

Так как траекторию движения крыла для достижения движущей силы и постоянства подъёмной силы нельзя рассчитать простым методом, я построил лёгкую и медленно-летающую модель SF8. Для достижения стабильного полёта эта модель много видоизменялась.

5 Испытание и результаты

В работе с моделью я попытался снизить «фюзеляжный танец» путём достижения постоянства подъёмной силы. Это было достигнуто автоматическим измерением ускорения и соответствующим регулированием угла взмаха крыла. К сожалению, скорость серводвигателя была недостаточной, что приводило к нестабильности контрольного механизма. Кроме того, в передней части киля для снижения амплитуды «танца» дополнительно встраивалась демпфирующая планка. Эта конструкция действовала в период опробования, но окончательного решения проблемы «танца» достигнуто не было. При исследовании модели с одним интегральным крылом были получены два главных результата:

- Для достижения движущей силы вперёд скорость опускания крыла должна превышать скорость крыла при подъёме
- Фюзеляжный танец может быть редуцирован путём сложного регулирующего механизма, в процессе которого изменением угла достигалось бы изменение амплитуды и фазы в зависимости от частоты взмахов.

Такой регулирующий механизм я не могу реализовать.

6. Новый проект SF9

В новом проекте модели SF9, строящейся в настоящий момент, было найдено простое решение получения движущей силы вперёд и постоянства силы подъёма. Как видно из рис.11 в модели два интегрированных крыла, расположенных друг над другом, и складывающийся пропеллер. При старте крылья зафиксированы и включается пропеллер для получения движения вперёд. Во время полёта пропеллер складывается, а движущая сила достигается двумя крыльями. Движение крыльев сдвинуто по фазе на 180 градусов, чем достигается постоянство подъёмной силы (если угол взмаха постоянный и положительный за полный цикл взмаха). Сдвиг по фазе позволяет также компенсировать торможение при опускании одного крыла, так что скорости при подъёме и опускании крыльев могут быть равными без потери скорости движения. Этим достигается несколько преимуществ. Так как силы при подъёме и опускании компенсируют друг друга, отпадает необходимость в устройстве накопителя энергии. Величина силы движения и взмахов в

два раза выше, так что изменение моментной скорости минимально. Далее, установка различных лётных режимов может быть достигнута изменением угла по амплитуде и фазе в зависимости от частоты взмахов. Такое регулирование менее сложно, чем регулируемый механизм, описанный в п.5.

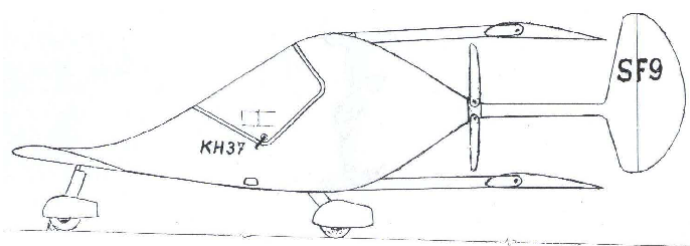


Рис. 11 : Эскиз нового проекта SF9

7. Заключение

Интегрированные махающие крылья обладают рядом преимуществ по сравнению с обычным пропеллером и могут быть реальной альтернативой для медленных полётов самолёта на мускульной силе, для ультралёгких самолётов и Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Затруднения возникают при достижении постоянства подъёмной силы во всех фазах взмаха. Для модели с одним махающим крылом сила движения вперёд достигалась таким образом, чтобы скорость

крыла при опускании превосходила бы скорость поднятия крыла. Постоянство силы подъёма может быть достигнуто, используя сложный механизм управления, в процессе которого изменялся бы угол крыла по величине и фазе в зависимости от частоты взмахов, что не просто реализовать. Лучшие результаты были достигнуты, используя модель с двумя интегрированными махающими крыльями, расположенных друг над другом, как показано в проекте SF9. Гармоничное движение крыльев создаёт постоянство силы подъёма и движения вперёд. Будут ли достигнуты хорошие результаты не только в теории, но и на практике, пока ещё неизвестно.

Литература

- [1] K.-H. Helling:
Schlagflügelflugzeug
Deutsches Patent DD292186 A5, 1990
- [2] H. Rübiger:
Das Flugprinzip der Ornithopter
<http://www.ornithopter.de/prinzip.htm>; geprüft 9.2007
- [3] M. Neef and D. Hummel:
Euler Solutions for a Finite-Span Flapping Wing
Technical University of Braunschweig, 2001