

ОТЗЫВ

официального оппонента, начальника отделения ФГУП «ЦАГИ», заслуженного машиностроителя РФ, профессора МФТИ, д. т. н., Вермеля Владимира Дмитриевича на диссертационную работу Карпович Елены Анатольевны «Разработка научно-методического обеспечения для формирования облика и оценки характеристик легкого самолета с крылом коробчатой схемы на ранних этапах проектирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Диссертация Е.А. Карпович посвящена разработке научно-методического обеспечения оценки характеристик самолетов малой авиации с крылом коробчатой схемы на начальных этапах проектирования, применительно к использованию при обосновании выбора концепции конструкции крыла, на начальном этапе проектирования самолетов малой авиации для оперативной оценки рациональных параметров и характеристик при сопоставлении с другими возможными решениями.

1. Актуальность работы

В современных условиях развития транспортной инфраструктуры РФ, определилась острая потребность в существенном расширении парка самолетов малой авиации различного назначения, на основе наиболее эффективных технических решений с использованием последних достижений в области конструкционных материалов и производственных технологий. Наряду с рассмотрением самолетов в традиционной нормальной аэродинамической схеме, целесообразно рассмотрение и других перспективных компоновочных схем. В их число входит компоновка с коробчатым крылом, для которого выполнены в разные годы аэродинамические исследования, показывают возможность снижения индуктивного аэродинамического сопротивления до 1,5 раз и более. Однако до настоящего времени, обоснованных всесторонних оценок целесообразности применения коробчатого крыла проведено не было. В этой связи диссертационная работа Е.А. Карпович, направленная на создание методики оценки рациональных проектных параметров крыла коробчатой схемы в компоновке легкого самолета на начальных этапах проектирования, включающей необходимые расчетные соотношения и их экспериментальное подтверждение, представляется актуальной и практически важной.

2. Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 5-ти приложений. Объем работы составляет 122 страницы машинописного текста, включая 77 рисунков, 17 таблиц, список цитируемой литературы из 103 наименований.

3. Анализ и оценка содержания диссертации

Во введении Е.А. Карпович обосновала выбор темы диссертационной работы, укрупненно наметила содержание и последовательность ее выполнения, сформулировала цель работы и перечень решаемых задач. Определила ее научную новизну, достоверность полученных результатов, а также научную и практическую значимость. В отсутствие известных проектов самолетов с коробчатым крылом, Е.А. Карпович предложила для последующего исследования

принципиальную
Отдел документационного
обеспечения МАИ

аэродинамическую компоновку самолета с разнесенными по высоте и вдоль продольной оси крыльями, сочленяемыми по концам консолей вертикальными поверхностями. В данной компоновке продольная управляемость обеспечивается механизацией задних кромок крыльев в составе коробки. Боковая устойчивость и управляемость – вертикальными поверхностями и устанавливаемыми на них рулями. Для оценки эффективности компоновки самолета с коробчатым крылом Е.А. Карпович предложила проводить сопоставление с «эквивалентным» монопланом, т.е. самолетом нормальной схемы, площадь и размах крыла у которого, такие же, как у коробчатого крыла, что представляется вполне рациональным.

Перечислив положения, выносимые на защиту, Е.А. Карпович, определила свой личный вклад в проведенных исследованиях и привела перечень публикаций по теме диссертационной работы.

Первая глава диссертационной работы содержит аналитический обзор предшествующих исследований характеристик крыла коробчатой схемы. В ней диссертант детально рассмотрела результаты аэродинамических исследований, установивших существенное снижение для данной схемы индуктивного аэродинамического сопротивления, по сравнению с крылом в схеме «моноплан», при ограниченном росте сопротивления трения. Из рассмотрения работ, посвященных оценке массы сочлененного крыла (в коробчатой схеме), она сделала верный вывод о том, что его весовая эффективность определяется, прежде всего, конкретным конструктивным решением. Также она обратила внимание на то, что в предшествующих работах установлены параметры компоновки с коробчатым крылом, позволяющие обеспечить требуемые характеристики устойчивости самолета. Проведенное детальное рассмотрение известных компоновочных решений с коробчатым крылом, выполненных для самолетов различных типов, подтвердило отсутствие существенного научно-технического обобщения результатов, а также научно-методических материалов для обоснованных оценок конструктивных параметров.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке методики аэродинамического проектирования крыла коробчатой схемы самолета малой авиации.

Несомненный научный интерес представляет полученное решение обратной аэродинамической задачи – построение опорной профилировки по размаху консолей коробчатого крыла для заданных подъемной силы и распределения циркуляции. В процессе решения Е.А. Карпович получила, имеющие практическое значение, соотношения для оптимального распределения подъемной силы по размаху переднего и заднего крыльев в коробчатой схеме, в зависимости от отношения создаваемых ими составляющих подъемной силы. Ею правильно использованы результаты теории тонкого профиля, для нахождения ординат точек средней линии профилей сечений в текущих позициях по размаху. Для завершения построения аэродинамической профилировки Е.А. Карпович использует известный для начальных этапов проектирования подход – описание симметричного профиля полиномом, используемым для профилей НАСА, с его последующей припасовкой к рассчитанной средней линии. Сопротивление крыльев определяется по эмпирическим соотношениям для самолетов малой авиации. С целью определенного подтверждения работоспособности разработанной методики аэродинамического проектирования, Е.А. Карпович выполнила расчет распределения давления относительно спроектированного профиля в известном пакете X-Foil, в частности используемом при аэродинамической профилировке крыльев

для малых чисел $Re \leq 10^6$. Рассчитанный коэффициент подъемной силы оказался близок по величине (~7%) к заложенному при построении. Опираясь на формулу Прандтля, диссертант получила оценку осредненной величины углов скоса потока от переднего крыла, а используя известные приближенные инженерные соотношения – поляры коробчатого крыла для крейсерского полета и взлетно-посадочного режимов. Выполненный вывод условий устойчивости и балансировки самолета с крылом коробчатой схемы, позволил получить практически важные соотношения, связывающие балансировочные потери с аэродинамическими характеристиками крыла, параметрами компоновки, способами продольной балансировки (по использованию рулей высоты, устанавливаемых на консолях сочлененных крыльев).

В третьей главе Е.А. Карпович определяет тип самолета, для которого применение крыла коробчатой схемы может быть наиболее целесообразно. Анализируя возможности реализации основного аэродинамического преимущества крыла коробчатой схемы, уменьшенного индуктивного сопротивления, диссертант правильно отметила, что оно наиболее существенно для самолетов со значительной долей взлетов и посадок в типовых программах полета. В результате она пришла к целесообразности использования коробчатого крыла для легкого 2-х местного многоцелевого одномоторного самолета, с крейсерской скоростью полета ~ 150 км/час, эксплуатационной высотой полета ~ 4 000 м и дальностью ~ 600-800 км. Для него Е.А. Карпович выполнила уточнение компоновки крыла и силовой установки относительно фюзеляжа. Выбран прототип из числа эксплуатируемых самолетов для последующего использования в качестве «эквивалентного» моноплана. Масса целевой нагрузки и взлетная масса, ЛТХ и двигатель задаются как у прототипа. Далее, из условий устойчивости и управляемости, по известным инженерным рекомендациям, ею уточнены размеры вертикальных поверхностей сочленения консолей крыла, рулей и элеронов, поперечного “V” – крыла, а также диапазон эксплуатационных центровок. Завершает главу раздел, посвященный определению максимальной толщины и ее положения по хорде профиля. Для этого выполнено сопоставление известных характеристик профилей НАСА с различными значениями относительной толщины и прогиба средней линии. Проведение верификации предложенной методики расчета аэродинамических характеристик выполнено путем сравнения с результатами в известных пакетах проектировочного аэродинамического расчета (XFRLR, FLZ-Vertex, X-Foil), а также на основе экспериментальных исследований на аэродинамических моделях близких по конфигурации к используемой компоновке с коробчатым крылом.

Существенным для подтверждения работоспособности разработанной в диссертации расчетной проектировочной методики стала удовлетворительная сходимость с расчетными и экспериментальными результатами в условиях безотрывного обтекания.

В главе 4 выполняется сравнение характеристик легкого самолета с крылом коробчатой схемы и «эквивалентного» моноплана. Показано, что для самолета заданного целевого назначения и, соответственно, характерного профиля полета, аэродинамическое качество коробчатого крыла несколько выше, однако при более низких значениях коэффициента подъемной силы на взлете и посадке. Данные оценки позволили диссертанту оценить относительные затраты топлива и требуемые размеры ВПП. Для сопоставления масс конструкции крыльев, Е.А. Карпович воспользовалась понятным предложением о распределении всей массы по размаху крыла

пропорционально действующей нагрузке. На этой основе она оценила относительное отличие массы коробчатого крыла от эквивалентного «моноплана», что представляется допустимым для этапа предварительного проектирования. По известным массам крыла моноплана, а также силовой установки, топлива, компонентам целевой нагрузки и оборудования, диссертант формирует весовую сводку самолетов для сравниваемых схем крыльев. Окончательный результат – оценка значений конструктивных параметров и основных характеристик легких самолетов с крылом коробчатой схемы и эквивалентного моноплана, позволяет провести их сравнение и сделать заключение о целесообразности продолжения проработки той или иной схемы.

Сделанные по работе общие выводы правильно отражают ее научные и практические результаты.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Основное содержание диссертации достаточно полно освещено в шести печатных работах (две в изданиях из перечня ВАК).

4. Обоснованность научных положений и выводов диссертации. Определяется использованием классических и современных научных и практических результатов в данной области; результатами собственных исследований, включая их сопоставление с результатами расчетов в промышленных специализированных пакетах программ, а также проведенных экспериментальных исследований.

5. Новые научные результаты, полученные в диссертационной работе.

1) Методика аэродинамического проектирования коробчатого крыла, на основе сочетания применения классических зависимостей аэродинамических коэффициентов от геометрических характеристик крыла и инженерных расчетных оценок, отвечающая условиям применения на начальных этапах проектирования.

2) Решение обратной задачи аэродинамического профилирования консолей коробчатого крыла по заданию циркуляции и подъемной силы, включая ее оптимальное распределение вдоль размаха консолей исходя из минимума индуктивного сопротивления.

3) Выявление условий обеспечения устойчивости и управляемости самолета с крылом коробчатой схемы без традиционных оперений, с использованием вертикальных поверхностей, сопрягающих концы консолей крыла, и компонентов механизации задних кромок консолей.

Имеются замечания к содержанию работы.

1. Распределение толщины по хорде профиля в сечениях крыльев получено в диссертационной работе (стр. 41, соотношение (2-18)) в безразмерном виде относительно максимальной толщины профиля в текущем сечении. Далее без задания максимальной толщины, автор определяет для профиля коэффициент сопротивления и строит поляру. Поскольку заметную часть в общем сопротивлении составляет сопротивление давления (до 40% от сопротивления трения) непосредственно требуются специально зависящее от максимальной толщины пояснения выполненной оценки.

2. Оценивая параметры коробчатого крыла, обеспечивающие устойчивость и управляемость, автор ссылается на известные инженерные методики, полученные для

самолетов нормальной аэродинамической схемы. Возможность их применения для коробчатого крыла, автором специально не оговаривается.

3. Приведа укрупненную весовую сводку самолета с крылом в коробчатой схеме и сравниваемого с ним «эквивалентного» моноплана (гл. 3-я, табл. 4-3, стр. 109), автор не привел компоновочных схем размещения силовой установки, топлива, оборудования и снаряжения, целевой нагрузки. С одной стороны, в самолете коробчатой схемы в 2 раза снижаются объемы под размещение топлива, по сравнению с «эквивалентным» монопланом и компоновка топливных баков может сказаться на характеристиках. С другой, для согласования путевой и боковой статической устойчивости самолета необходимо знание соответствующих моментов инерции. Вызывает недоумение, как удалось их вычислить (в тексте работы, стр. 75, 3-й абзац сверху, «с помощью системы NX), причем с точностью до $\sim 0,1 \text{ кгм}^2$ до проведения расчета массы конструкции, выполняемому в 4-й главе.


4. Необходимое для обеспечения продольной управляемости за счет элевонов, разнесение крыльев вдоль продольной оси фюзеляжа обуславливает заметную стреловидность соединяющих концы консолей вертикальных поверхностей. В результате снижается жесткость конструкции по сравнению с традиционным бипланом с малым разнесением консолей. Ее обеспечение потребует заметного увеличения массы узлов соединений и крыла в целом.

5. Полученные диссертантом оценки преимущества коробчатой схемы по сравнению с монопланом являются сугубо предварительными. Сравнение с достаточным уровнем доверия проектов самолетов малой авиации, как показывает многолетний опыт их разработки, возможно только после достаточно детальной проработки конструкции.

Сделанные замечания не умоляют результатов диссертационной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне и содержит законченное решение актуальной научно-технической задачи.

Как квалификационная работа, диссертация соответствует всем требованиям ВАК РФ, а ее автор Карпович Елена Анатольевна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Официальный оппонент, профессор МФТИ,
д. т. н., начальник отделения ФГУП «ЦАГИ»

 В.Д. Вермель
23.11.20
(Вермель Владимир Дмитриевич)

140180, Россия, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, д.1.
Тел. (495) 556-43-62, факс (495) -777-63-29, e:mail: npk@tsagi.ru, vermel@tsagi.ru.
Подпись начальника отделения, профессора МФТИ, д.т.н. Вермеля Владимира Дмитриевича заверяю.

Первый заместитель Генерального
директора ФГУП «ЦАГИ»

А.Л. Медведский



