

Б.К. Ландышев

**Расчет и конструирование
планера**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
Б11

Б11 **Б.К. Ландышев**
Расчет и конструирование планера / Б.К. Ландышев – М.: Книга по Требованиям, 2021. – 230 с.

ISBN 978-5-458-29553-6

Книга предназначена в качестве пособия по расчету планера на прочность для читателя, имеющего только среднее техническое образование и начинающего работу конструктора-планериста. Кроме специальных глав по расчету отдельных частей и деталей планера в книге освещаются (в сжатом виде) основные понятия по вопросам аэродинамики, необходимые конструктору. При изложении глав по расчету на прочность автор дает указания по методике расчета и, как правило, приводит окончательные расчетные формулы. В некоторых случаях автор дает и вывод расчетных формул. Расчеты иллюстрированы схемами и сопровождаются числовыми примерами.

ISBN 978-5-458-29553-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованиям», 2021

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

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Конструирование летательного аппарата, хотя бы и без мотора, является задачей ответственной и сложной.

Ответственной — потому, что в полете всякая ошибка конструктора может вызвать гибель летчика даже тогда, когда он поднялся на 10—15 метров над землей.

Сложность задачи заключается в том, что планер должен не только держаться в воздухе, а подчиняться определенным движениям пилота, обладая при этом достаточной прочностью всех частей при возможно меньшем их весе.

Ни в одной области техники вопрос малого веса при достаточной прочности не стоит так остро, как в авиации вообще и в планеризме в частности.

Если первые планеры гениальных пионеров авиации Лилиенталя, братьев Райт и др. строились на основании изобретательской интуиции, без точного знания сил и законов, которым подвержен летательный аппарат, то в настоящее время теория и практика планеризма дают возможность конструктору не только заранее знать летные свойства планера, но и те силы, которые действуют на отдельные его части.

Несмотря на это, ни в одну область техники, пожалуй, начинающие конструкторы не вносят столько изобретательской «отсебятины», как в область авиации, без учета почти сорокалетнего ее опыта.

После того как тысячи молодых людей научились летать на планерах, следуя строго выработанной методике, после того как на фигурных планерах проделаны все фигуры высшего пилотажа, после того как советские планеристы научились, как птицы, преодолевать сотни километров, никого уже не может удовлетворить планер, претендующий только на возможность подняться и продержаться в воздухе.

Планерная техника выдвинула ряд специфических, в настоящее время достаточно высоких, требований к каждому типу планеров, и задача конструктора заключается в том, чтобы, выбрав тип, этим требованиям удовлетворить.

Конечно, и сейчас еще остается большое поле деятельности для изобретателя в области изыскания новых типов летательных аппаратов, могущих притти на смену классическим прототипам современной авиации, в целях наделения человека большими, чем сейчас, возможностями, но и в этой области изобретатель должен опираться на до-

статочное знание теории и практики, чтобы не повторять азов и не быть Колумбом давно открытых Америк.

Особенно плодотворной может быть работа по усовершенствованию конструкции отдельных элементов планеров для отыскания новых возможностей по облегчению веса, по упрощению и удешевлению производства, по новым материалам, могущим служить этим же целям.

Исследования такого рода просто немыслимы без достаточного знакомства с условиями работы отдельных частей планера и с теми силами, которые на эти части действуют.

Следует предостеречь от очень часто встречающейся ошибки, которую допускают изобретатели и конструкторы-новаторы.

Никогда не следует, без особой надобности, из стремления к новизне вводить в новую экспериментальную схему, новые элементы конструкции или новые материалы.

Практика показывает, что экспериментирование по всему фронту приводит к тому, что ценная и интересная схема не может быть испытана из-за неудачной конструкции элементов и наоборот.

Только тогда, когда самая схема требует применения новых элементов или материалов, конструктор может и обязан, полностью обосновав свои новаторские стремления, ввести несколько экспериментальных моментов в свою конструкцию.

Новаторство подобного рода требует особенно хорошего знакомства с условиями полета, с условиями работы и с взаимодействием отдельных частей конструкции.

В противном случае неизбежны грубые ошибки, компрометирующие самую идею подобного новаторства.

Планеристы знают попытку одного заслуженного художника, пытавшегося опрокинуть всю современную планерную технику внедрением «слсно-гнутых материало-форм», в результате чего пилот, лежа ничком в зыбкой корзине и продев голову в отверстие, должен был махать руками и дергать ногами для управления привязанными к корзине причудливыми крыльями и хвостом. Утешением не могло служить и то, что вся «конструкция» была обтянута парашютным шелком и имела вид какой-то доисторической птицы.

Техника летательных аппаратов и планеризма не прощает игнорирования ее основ, какими бы громкими словами конструктор ни прикрывался.

Литература по авиации достаточно обширна и богата руководствами, научными трудами, справочниками и журнальными статьями. Всякий конструктор, начинающий работать в области планеризма, мог бы найти в литературе ответы на все интересующие его вопросы, но, к сожалению, эта задача не всем по силам, так как планерная литература сводится главным образом к журнальным статьям, самый подбор которых достаточно затруднителен.

Руководства по планеризму практически отсутствуют, если не считать книги Н. Н. Фадеева «Аэродинамический расчет планера» издания 1927 г., давно уже ставшей библиографической редкостью.

Вопросу выбора размеров планера посвящено довольно много статей в журнале «Самолет» и несколько статей в журнале «Техника воздушного флота». Совсем уже редки сборники, посвященные 2-му и 8-му слетам планеристов, содержащие интересные материалы по статистике и описанию планеров.

Особенно бедна литература по расчету планера на прочность. Конструктору-планеристу приходится пользоваться учебниками и руководствами, предназначенными для авиационных вузов и техникумов, и немногими статьями в журнале «Самолет».

Если студенту или инженеру, пробующему свои конструкторские силы в области планеризма, общие руководства вполне доступны, то этого нельзя сказать про те круги молодых авиационных конструкторов, летчиков-авиатехников, инструкторов-планеристов, среди которых имеется достаточное количество молодых людей, ищущих возможностью самостоятельной творческой работы в области конструирования.

Помочь этой молодежи, давшей за последние годы ряд имен, уже завоевавших известность в планеризме, и является главной целью настоящей книги.

Задача, поставленная автору, очень трудна, в особенности, если учесть, что автор сам является молодым конструктором, впервые берущимся за перо.

Это не могло не сказаться прежде всего на сроках написания книги, задуманной уже давно.

Трудно было заранее определить объем книги, так как хотелось дать в книге такой материал, чтобы конструктор в своих практических расчетах не нуждался в других источниках.

По условиям размера издания эту задачу полностью выполнить не удалось.

Пришлось, например, отказаться от помещения в книге новых норм прочности для планеров с комментариями, и по этому вопросу мы отсылаем читателя к труду В. В. Шушурина «Атлас конструкций планеров», Оборонгиз, 1938. Там же читатель найдет и статистические данные по планерам, необходимые для размерной и весовой компоновки.

В первой главе книги даны краткие сведения из аэродинамики в объеме, необходимом для пользования нормами прочности и для построения поляры.

Все формулы даны в старых коэффициентах, так как новые коэффициенты в планерной литературе пока распространения не получили. Там же дается схема сил, действующих на летящий планер, и понятие о перегрузках.

Вторая глава посвящена составлению эскизного проекта, т. е. первому этапу проектирования, при котором конструктор выясняет все данные, необходимые для расчета планера на прочность.

Выбору основных размеров с точки зрения соответствия проекта желаемым летным данным (скорость, качество, скорость снижения) посвящено достаточное количество статей Томашевича, Антонова, Липшица и др. в журналах «Техника воздушного флота» и «Самолет».

Даже краткое изложение этих статей потребовало бы увеличения объема книги, почему автору пришлось отказаться совершенно от цитирования даже основных положений упомянутых работ и считать размах, площадь, а следовательно, и удлинение, выбранными на основании аэродинамических соображений. Автор приводит только рассуждения и выкладки по сравнению трапецевидного и прямоугольных крыльев с точки зрения веса несущих элементов, заимствованные у Липпиша. Вся III глава посвящена крыльям (с точки зрения формы в плане, профиля, закрутки), элементам механизации крыла (предкрылки, закрутки) и конструктивным схемам крыльев в целом и отдельных частей.

Глава IV посвящена расчету свободнонесущих крыльев различных типов. Вопрос освещен с достаточной полнотой на основе современных воззрений.

В практике планеростроения наибольшее распространение имеют однолонжеронные крылья, расчет которых достаточно прост.

Двухлонжеронные крылья до последнего времени рассчитывались конструкторами приближенно, что вело или к перетяжелениям или к недостаточной прочности. Изложенные здесь методы расчета двухлонжеронных крыльев с учетом работы обшивки позволяют конструкторам путем уточнения расчета обеспечить достаточную прочность без перетяжелений. К сожалению, объем книги не позволил поместить графики распределения нагрузки по размаху для закрученных и не закрученных трапецевидных крыльев, и автору пришлось отослать читателя к первоисточнику (Справочник авиаконструктора, том I), книге достаточно дорогой и уже редкой. Но мы настоятельно рекомендуем пользоваться этими графиками, так как в большинстве планерные крылья с переменным по толщине профилем являются аэродинамически закрученными, и изгибающие моменты, получаемые из предположения пропорциональности нагрузки хордам, могут значительно отличаться от истинных изгибающих моментов, высчитанных на основе графиков. По тем же соображениям автору не удалось на примере показать, какую ошибку допускают конструкторы при обычном расчете. Очень возможно, что обычные допущения не всюду идут в пользу прочности и некоторые сечения крыльев в существующих конструкциях недостаточно прочны.

В главе IV разобраны методы расчета и конструкция всех основных элементов крыла.

Расчет подкосного крыла в части построения эпюры моментов, определения реакций и расчета сжато-изогнутого пролета и подкоса выделен в главу V.

В главах VI и VII даны методы расчета органов управления (рулей элеронов) с практическими примерами расчета для целиком подвижного оперения и оперения со стабилизатором.

В главе VIII рассмотрены конструкция фюзеляжа и схемы нагружения его силами. Определение усилий в элементах панелей ферменного фюзеляжа известными для ферм приемами опущено из-за недостатка места. Методы Кремоны Риттера и др. изложены во всех курсах механики, графостатики и строительной механики, а также

в справочниках, к которым автор и отсылает читателя, если последний захочет применить этот сравнительно редкий вид конструкции.

Автор обходит молчанием расчет хвостовых плоских ферм и балок с расчалками (типа планеров УС и ПС). Подобного рода фермы и балки работают только на вертикальный изгиб от горизонтального оперения. Силы от вертикального оперения воспринимаются расчалками и определяются по обычным правилам механики. Этот тип конструкции в новых планерах встречается редко.

Глава IX посвящена разбору физической картины вибраций крыльев и оперения.

В планерных конструкциях не приходилось до сих пор наблюдать явления вибраций крыльев на больших скоростях (типа фляттер). Даже специально проведенный эксперимент с попыткой довести планер до критической скорости начала вибраций не привел к желаемым результатам.

Очевидно существующие конструкции имеют очень большие критические скорости, далеко превосходящие обычные скорости полета и буксировки. Тем не менее краткое освещение этого явления расширит кругозор читателя; и, кроме того, при все возрастающих скоростях полета, особенно при буксировке за скоростными самолетами, определение критической скорости может явиться актуальным. Самое определение критической скорости предлагается проводить по впервые публикуемой формуле и графикам В. Н. Беляева и П. И. Храмова, любезно предоставивших автору возможность рекомендовать читателю несколько приближенный, но довольно простой метод, проверенный по более точным методам для шести крыльев и давший хорошее совпадение.

Все более точные методы просто не по силам начинающему конструктору.

Явление «бафтинга», свойственное никзопланам, наблюдалось на планере Г-2 при полете на «передире», почему трактовка этого явления в настоящей книге вполне уместна.

Многие современные рекордные планеры в целях профилактики снабжаются весовой компенсацией элеронов. В главе IX дается ответ на вопрос — зачем делается эта компенсация. Надо подчеркнуть, что отсутствие компенсации может вызвать вибрацию элерона на сравнительно малых скоростях, практически не превышающих скорости буксировки, что и пришлось однажды практически наблюдать на планере «Сталинец-2 бис», имеющем большой тяжелый элерон, при взлете на буксире самолета с несколько ослабленной тросовой проводкой управления элероном.

Глава X дает ряд ценных указаний при конструировании управления. В конструкциях начинающих конструкторов очень часто по незнанию допускаются грубые ошибки в кинематике и размерах трущихся частей, почему наблюдались неоднократно случаи, когда в остальном грамотно сконструированный планер из-за дефектов управления или совсем не допускался к полетам или подвергался коренным переделкам по этой части.

В главе XI даны указания по расчету узлов и обычные формулы расчета. Материал заимствован из учебников и справочника по расчету самолета на прочность.

В краткой главе XII даны формулы расчета стоек постоянного сечения, применимые для всех подверженных сжатию стержневых элементов конструкции планера.

В заключение считаю необходимым отметить большие трудности, ставшие перед автором, вынужденным излагать сложные вопросы так, чтобы это было понятно мало искушенному в технике читателю. В подборе материала и его расположении не удалось достичь желаемой компактности и методической стройности.

Отдельные высказывания автора могут быть оспариваемы требовательным читателем. Некоторые приводимые цифры и данные не сопровождаются указанием источника.

Автор — практический работник конструкторского бюро — не претендовал на оригинальность мыслей. Тем не менее работу он проделал огромную и со своей задачей справился. Несмотря на ряд упомянутых недочетов, книга Б. К. Ландышева явится ценным пособием начинающему конструктору по расчету прочности планера. Вместе с автором редактор с удовлетворением примет все замечания и поправки к книге, за которую он несет значительную долю ответственности.

Д. Ромейко-Гурко

ОТ АВТОРА

Автор поставил целью дать начинающему конструктору-планеристу, не имеющему высшего технического образования, пособие по общим вопросам конструирования и по расчету планера и его деталей на прочность.

Материал подобран в таком объеме и излагается в такой последовательности, чтобы он был, в о - п е р в ы х, доступен упомянутому читателю для самостоятельной проработки, и, в о - в т о р ы х, достаточно полон для производства расчета планера.

Кроме данных по расчету на прочность в книге освещены те основные вопросы аэродинамики, без знания которых нельзя приступить к конструированию планера и расчету его на прочность.

Трудность составления такой книги очевидна, и поэтому неизбежны промахи в отборе соответствующего материала, весьма обширного, но разбросанного отдельными статьями в журнальной литературе.

Автор с благодарностью примет замечания читателей о недостатках книги.

В заключение автор считает долгом выразить благодарность инж. Д. А. Ромейко-Гурко за его ценные указания и большую помощь при составлении настоящей книги.

Ландышев

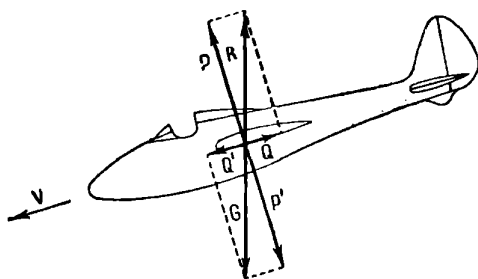
Москва, июнь 1938 г.

ГЛАВА I.

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. СХЕМА СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПЛАНЕР В ПОЛЕТЕ

На всякое тело, двигающееся в воздушной среде, действуют сила тяжести и сила давления воздуха. Эти силы в равномерном и прямолинейном полете планера можно представить в виде двух равнодействующих G и R (фиг. 1). Равнодействующая G равна весу планера,



Фиг. 1.

приложена в центре тяжести и направлена вертикально вниз. Сила R есть равнодействующая аэродинамических сил. Пока, для упрощения, будем считать, что силы G и R имеют общую точку приложения.

Для прямолинейного и равномерного движения планера необходимо, чтобы силы находились в равновесии, т. е.

$$G = R. \quad (1)$$

Раскладывая силы R и G в направлении полета и перпендикулярно ему (как указано на фиг. 1), получим: равнодействующая R даст силы Q (лобовое сопротивление) и P (подъемная сила), а равнодействующая $G—P'$ и Q' . Условие равновесия теперь можно написать в следующем виде:

$$P = P' \quad (2)$$

$$Q = Q'. \quad (3)$$

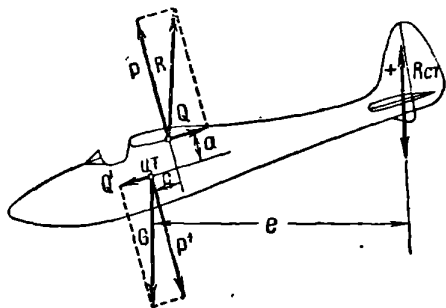
Мы предположили, что силы R и G имеют общую точку приложения. Если это условие не соблюдено, то создаются две пары сил с моментами: Qa от силы Q и Pc от силы P (фиг. 2).

Эти моменты должны быть уравновешены, пользуясь стабилизатором (рулем глубины). Стабилизатор устанавливается под таким углом атаки, при котором появляющаяся на стабилизаторе сила $R_{ст}$ (фиг. 2) могла бы на плече e уравновесить упомянутые моменты.

Если планер имеет стремление пикировать (падать на нос), то стабилизатор должен быть установлен под отрицательным углом атаки к линии полета.

При стремлении же планера поднимать нос — под положительным углом.

Условимся обозначать моменты, заставляющие планер поднимать нос, знаком минус, а опускать нос, — знаком плюс. На фиг. 2 видно, что знак момента от силы Q зависит от положения крыла относительно ц. т. планера, а именно: при высоком положении крыла будет знак минус, при низком — знак плюс. Обычно в планерах ввиду незначительной величины плеча a сила лобового сопротивления Q мало сказывается на продольной устойчивости планера.



Фиг. 2.

В зависимости от положения центра тяжести планера относительно центра давления различают передние и задние центровки.

Составляя уравнения равновесия моментов для случая, изображенного на фиг. 2 (передняя центровка), имеем

$$\sum M = +Pc - Qa - R_{ст}e = 0. \quad (4)$$

Таким образом при передней центровке, т. е. когда планер имеет тенденцию к пикированию, стабилизатор должен быть установлен под отрицательным углом, чтобы создавать отрицательную силу; при задней центровке стабилизатор устанавливается под положительным углом, чтобы создавать положительную силу.

При совпадении положения равнодействующей R с положением ц. т. стабилизатор должен быть установлен нейтрально. Обычно это достигается на основном летном угле планера. При переходе планера на другой режим полета этого совпадения не бывает, и приходится пользоваться рулем высоты.

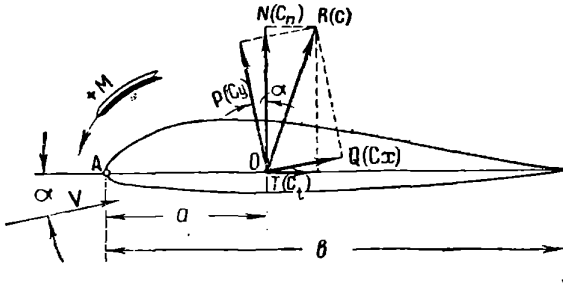
§ 2. СИЛЫ И МОМЕНТЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КРЫЛО

Поместив крыло в воздушный поток, будем иметь на верхней части профиля область пониженного давления и на нижней — область повышенного давления (за счет разности скоростей потока), в результате чего появится некоторая сила R . Раскладывая силу R на два направления по потоку и перпендикулярно ему, будем иметь силы: P — подъемную силу и Q — лобовое сопротивление.

Для расчетов устойчивости и на прочность удобнее раскладывать силу R по хорде и перпендикулярно ей, получая силы N и T . Для полной аэродинамической характеристики кроме величины силы

необходимо знать точку приложения равнодействующей силы и ее направление.

Точка приложения равнодействующей называется центром давления или центром парусности. На фиг. 3 центр давления помечен



Фиг. 3.

точкой O , расположенной на расстоянии a от начала хорды (на чертеже точка A). Точку A принимаем за центр момента силы.

Напишем момент силы R относительно этой точки:

$$M = Ra \cos \alpha = Pa \cos \alpha + Qa \sin \alpha = Na.$$

Положение центра давления, считая от передней кромки, выражается коэффициентом C_x :

$$C_x = \frac{a}{b},$$

откуда a будет равно

$$a = C_x b.$$

Тогда уравнение момента силы R переписется в следующем виде:

$$M = NC_x b. \quad (5)$$

§ 3. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОЭФИЦИЕНТЫ СИЛ И МОМЕНТОВ

Для более удобного перехода от модели планера, подвергавшейся продувке в аэродинамической трубе, к натуре пользуются отвлеченными или абсолютными коэффициентами.

Как известно, сила сопротивления воздуха пропорциональна массовой плотности воздуха $\rho \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{сек}^2 \right)$, площади поверхности крыла $S (\text{м}^2)$ и квадрату скорости $V (\text{м}^2/\text{сек}^2)$. Согласно сказанному можем написать все силы в виде:

$$\left. \begin{aligned} R &= C_x \rho S V^2; \\ Q &= C_y \rho S V^2; \\ P &= C_z \rho S V^2; \\ N &= C_n \rho S V^2; \\ T &= C_t \rho S V^2. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$