

мелев.

ишь заме-
и и назад
ания выне-
ент подня-

ся с подбе-
го вполне
растанием
и убывает
лением.

тате всего
гребной
и можно
вить в ви-
вательных
подъемов,
тусанием

вперед
чередую-
дом пла-
тисков, во
ых птица
вовавший
онтально,
так, как
а на не-
ь подни-

м полете
сла дают
и поддер-

анирую-
го полета
го апа-
полета.
ыльями,
дельной
ть также
е только
ильной
м явле-
достаточ-
авочной

итоптер,
и, зало-
крылья
к фюзе-
только
ой оси,
ут дру-
е вооб-
по сре-
и опу-
огласно
ижение
может
высоты,
ультате
и вниз
ривать,
вскрыв
центра
теко до
анером

isat on

неподвижными крыльями, у которого перемещение центра тяжести по высоте создается последовательным поднятием и опусканием какой-либо тяжести внутри фюзеляжа, при чем перемещению тяжести должно сопутствовать соответствующее движение руля высоты.

Практически можно себе представить планер с малой скоростью движения, пилот коего, благодаря соответствующему устройству, мог бы попеременно вставать и садиться, используя силу ног (перемещение центра тяжести), с одновременным управлением рулем высоты, таким образом, чтобы аппарат, планирующий под определенным углом при сидячем положении пилота, уменьшал угол планирования при вставании последнего. С внешней стороны все явление будет едва заметным, так как оно выразится лишь в малых движениях руля высоты, с сопутствующим изменением угла атаки, в незначительных изменениях скорости аппарата и т. д. Весьма возможно, что с таким аппаратом удалось бы совершить полет без потери высоты в погоду, недопускающую возможности парящего полета вследствие недостаточности восходящих потоков.

Само собой разумеется, что для облегчения мускульной работы пилота планер должен обладать наименьшим возможным весом и наименьшей скоростью снижения.

Нужно учесть, что современные лучшие планеры не дадут еще возможности при полном безветрии совершить полет без потери высоты

при подобном использовании мускульной силы пилота. Приведем небольшой пример.

В настоящее время вполне возможно построить планер с полетным весом в 180 кг. и скоростью снижения 0,66 м./сек. Мощность, необходимая для поддержания его горизонтального полета будет равна в этом случае $180 \times 0,66 = 119$ кг.-мт. в сек., что составляет около $1\frac{1}{2}$ лощ. сил; человек же в продолжении нескольких минут не может развить мощности, превышающей 40 кг.-мт. в сек. Отсюда видно, что хотя силы человека и недостаточно для совершения горизонтального полета по указанному способу, все же подобный опыт может дать ценные выводы и значительно уменьшить существующие углы планирования. К тому же нужно иметь в виду, что качества планеров непрерывно совершенствуются; с другой стороны, остается широкое поле деятельности для опытов с применением моторов.

Мы видим, что рассмотрение гребного полета птиц с новой точки зрения привело к совершенно неожиданным заключениям.

Можно предположить, что птицы не так уж часто, как это принято предполагать, прибегают к чисто «парящему» полету, во многих случаях используя свою мускульную энергию совершенно незаметным со стороны образом. Человек, узнавший тайну парящего полета, весьма возможно, вскоре постигнет и остальные «профессиональные тайны» птиц.

Г. З. и А. Я.

ДЕТАЛИ ПЛАНЕРОВ

ВСЕСОЮЗНЫХ
СОСТЯЗАНИЙ

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАНЕРА.

Под устойчивостью планера мы подразумеваем способность аппарата постоянно и непреклонно стремиться вернуться в прежнее положение всякий раз, когда какая-либо сила, будь то воздушные течения или порыв ветра, выведут его из равновесия.

Возвратить планер в прежнее положение можно и принудительным путем, по воле летчика. Для этой цели каждый планер имеет органы управления, помощью которых летчик сохраняет равновесие и производит различные маневрирования в полете. Но постоянная работа рулями, в целях достижения равновесия аппарата, черезчур скоро утомила бы летчика и летать на таком планере было бы неприятно, поэтому то планер и должен иметь собственную, естественную устойчивость. Стремление конструктора должно быть прежде всего направленным на создание этой естественной устойчивости.

На практике задачу устойчивости планера разрешить до конца удается лишь путем сочетания устойчивости естественной и управляемой (при помощи рулей и элеронов). Первая погашает небольшие нарушения равновесия планера, вторая имеет целью погашение наиболее значительных отклонений от нормального положения.

Нарушение равновесия планера может происходить по трем осям, перпендикулярным между собой: 1. Уклонения от нормального положения по высоте, или продольное. 2. Уклонения в горизонтальной плоскости, или изменения направления пути планера. 3. Поперечные уклонения относительно продольной оси планера, или крены.

Конструктивное разрешение вопросов устойчивости.

Обеспечение устойчивости планера конструктивно разрешается так:

1. Для придания продольной устойчивости необходимо, чтобы планер имел продольное «V», т. е. чтобы хорда крыла и хорда стабилизатора, или же руля глубины (вернее их продолжения), пересекались под некоторым углом.

2. Для осуществления поперечной устойчивости крылья планера должны иметь поперечное «V», т. е. составлять между собой угол, обращенный вершиной вниз.

3. Для сохранения направления пути ставится киль, но иногда конструкторы пренебрегают им, принимая в расчет килевое действие самого фюзеляжа; последнее справедливо в особенности по отношению к фюзеляжам четырехугольного и трехугольного сечения, имеющих значительную боковую поверхность.

Органы управления. Переходя к органам управления, отметим еще раз, что они предназначены для погашения значительных нарушений равновесия аппарата, или же для управления последним.

Органы управления имеются трех категорий, соответственно трем осям устойчивости.

1. Руль высоты (или глубины) служит для управления положением планера по высоте.
2. Руль направления — для управления направлением полета.
3. Элероны — для управления положением планера в поперечном направлении.

Хвостовое оперение. Совокупность рулей высоты и направления, стабилизатора и кили называют хвостовым оперением аппарата.

Конструкция рулей и элеронов. На рис. 2 (черт. 1 и 2) дан общий вид типичного хвостового оперения планеров (АВФ-20 и немецкий).

Хвостовое оперение немецкого планера состоит из руля высоты и направления, стабилизатор же и киль отсутствуют. У планера АВФ - 20 хотя стабилизатора и нет, но киль поставлен.

Форма рулей. Очертания рулей бывают самые разнообразные. Рули направления чаще всего

делаются 4-угольной формы, иногда углы их закругляют. 4-угольная форма проще всех осуществляется в постройке, почему большинство конструкторов и предпочитает остановиться на ней. Из тех же конструктивных соображений киль, который служит продолжением руля направления, чаще делают треугольным; иногда при компенсированном руле верхушку кили срезают.

Что касается стабилизатора и руля глубины, то они бывают треугольной формы и в виде прямоугольника или трапеции, иные имеют переднюю кромку эллиптическую или параболическую.

Руль высоты делается цельный или составляется из двух половин, насаженных на одну общую ось; в этом случае он имеет вид ласточкина хвоста. Вырез по середине делается с целью помещения в нем руля направления. Угол выреза обычно делается в 60° , считая по 30° для вращения руля направления в ту и другую сторону.

Внутреннее строение рулей и элеронов. Внутреннее строение или набор рулей аналогичен с набором крыла. (Рис. 1). Рули имеют один или два лонжерона, при чем один из них иногда служит осью вращения. Профиль поперечного сечения

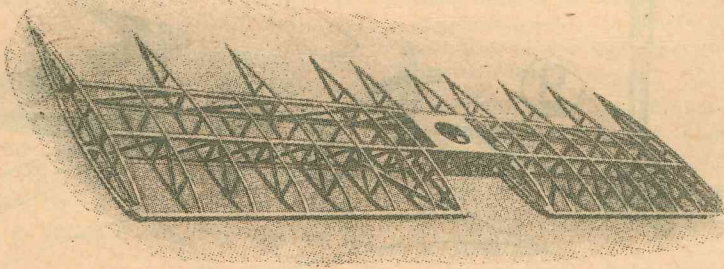


Рис. 1. Набор руля высоты.

Конструкция элерона показана на рис. 2, черт. 5. Он состоит чаще всего из одного лонжерона, который для прочности делается иногда в виде коробки, обшитой фанерой. По профилю элерон представляет собой хвостовую часть профиля крыла в целом.

Полужесткая система. Другая схема дает представление о полужесткой системе. Особенности этой системы заключаются в сочетании тросов, идущих от рычагов управления, и жестких тяг,



**Различные
виды связи
оперения
с рычагами
управления.**

Жесткая система. Система связей при помощи жестких стержней или труб применяется в аэропланостроении и представляет некоторые выгоды с точки зрения плавности управления, и в планеростроении жесткая система не употребляется, вследствие значительного веса и трудностей при постройке.

могут быть
вырваться
а планере
и летчику
правления

авление о
ются в со-
тких тяг,



К РУЛЮ
ПОВОРОТ

Рукоятка управления. Действие рулями и элеронами летчик совершает при помощи рычагов управления: ножного и ручного. Троссы ножного рычага (или педалей) идут к рулю направления, а посредством рукоятки летчик меняет положение руля глубины (движения вперед и назад) и элеронов (движение вправо и влево).

Тип такой рукоятки дан на черт. 8. Она представляет собой вильчатый рычаг, вращающийся на шарнирах, допускающих ее движение вправо и влево, вперед и назад.

От нижнего конца ручки идет жесткая тяга к равноплечному рычажку, качающемуся на шарнире соответственно отклонениям ручки вперед или назад. От рычажка идут троссы к рулю высоты, который при этом движении рукояткой будет отклоняться в верх или вниз.

Двигая же рукояткой вправо или влево, мы заставляем качаться горизонтальный рычажок приклепанный или приваренный к соединительной трубе, вследствие чего один из элеронов будет опускаться, а другой подниматься.

Ручку, соединительную трубу и рычажки делают из металла и конструктор должен озаботиться, чтобы шарнирные соединения были достаточно прочны и не заедали в работе.

Другой тип ручного управления показан на черт. 9. Он отличается от предыдущего тем, что жесткая тяга идет внутри соединительной трубы, а шарнир вращения ручки делается на приваренном к трубе кронштейне. Рычажок к рулю высоты снят с трубы и вращается отдельно на подвеске, укрепленной непосредственно к фюзеляжу.

Такая конструкция, хотя и немного сложнее первой, но зато дает преимущество в том отношении, что позволяет отпустить сиденье пилота почти на самое дно фюзеляжа, вследствие чего возможно уменьшение высоты последнего, т.е. экономия в весе и понижение лобового сопротивления.

Рычаги и педали. Рычаги ножного управления вращаются на болте, который крепится к полу фюзеляжа.

Ножной рычаг делается или деревянным или из стальной трубы. Прикреплять к нему троссы надо так, чтобы они не соскакивали; для этого лучше всего пропускать тросс через отверстия в рычаге и заплетать. Хорошо также пропускать через концы рычага кольца или делать металлические оковки, к которым помощью тендера и подвязывается тросс.

В узких фюзеляжах, где трудно и подчас невозможно поставить нормальный ножной рычаг, прибегают к устройству ножных педалей, как то делают, напр., немцы. Действие ножных педалей достаточно понятно из черт. 10.

Элероны. В мягкой системе управления при действии ручкой вправо или влево тросс непосредственно действует на элерон, в полужесткой системе движение элерона производится при помощи тяг, связывающих рычажки элерона с растяжками механизма, укрепленного внутри крыла. (Рис. 2, черт. 11—13). Иногда вместо трехконечного рычажка ставят сектор или зубчатую шерштеренку и в этом случае через нее перекидывается цепочка. В общем же принцип действия остается один и тот же.

Крепление элерона к крылу.

Рис. 3, черт. 14 дает представление о креплении кабанчика элерона. Спереди видны щеки крепления элерона к крылу.

Наружная часть кабанчика, или рычажка, должна иметь сечение наилучшего обтекания. Если кабанчик деревянный, то конец его, где присоединяется тросс или тяга, лучше обивать алюминием, для предохранения от раскалывания. Ушки крепления элерона к крылу делаются из листовой стали 1 мм., лучше 1,5—2 мм. На черт. 15 показан вид крепления элерона к крылу, очень похожий на обыкновенные дверные петли.

Как видно из черт. 11 (рис. 2), элероны могут соединяться с крылом в трех точках по высоте лонжерона: вверху, внизу и посередине.

Каждый способ имеет свои выгоды и недостатки. Наиболее крупным, общим для всех случаев недостатком, является наличие щели между крылом и элероном, которая в значительной мере ухудшает аэродинамические качества крыла. Поэтому многие конструктора перекрывают эти щели тонкими листами фанеры или алюминия. Но надо помнить, что от неаккуратной работы перекрышка теряет свое значение; если она оттошривается вверх, то появляется вредное сопротивление, если же перекрышка прогибается вниз, то появляется угроза нарушения правильной работы элеронов.

Считаем нужным предупредить конструкторов от ошибки при выборе размеров кабанчиков элеронов и рулей. Плечо или радиус вращения точки крепления тросса к кабанчику определяется с таким расчетом, чтобы путь, проходимый этой точкой, в точности совпадал по величине с отклонением соответствующего рычажка ручного и

ножного управления, так как в противном случае возникает слабина. Для той же цели точки крепления тросса (или тяг) к кабанчику должны лежать на одной прямой с осью его вращения.

Своеобразные системы управления.

Некоторые планеры имеют систему управления значительно отличающуюся от вышеприведенных. Наиболее яркими образцами могут служить «Парабола» Черановского и планер тандем Лойко.

Первый представляет собой бесхвостый планер, у которого нет руля направления и глубины, как таковых. Управление элеронами устроено так, что последние работают и как элероны и как руль глубины, т.е. могут опускаться и подниматься и оба одновременно и поодиночке.

Планер тандем Лойко не имеет ни рулей глубины, ни элеронов. Летчик, посредством особого механизма, может поворачивать крылья целиком в противоположные стороны, действуя так. обр. ими, как элеронами, или же вращать крылья совместно в одном направлении, что заменяет действие рулей глубины.

К сожалению планер Лойко не смог выявить своих летных качеств, так как потерпел аварию при первом же взлете и вышел из строя вовсе.

Заканчивая описание деталей планера, мы хотели бы указать, что наш обзор ни в коей мере не может претендовать на полноту, да мы и не брали на себя этой задачи, так как нашей целью было лишь дать для конструкторов отправной материал, оттенив достоинства и недостатка той или иной конструкции и тех или иных деталей.

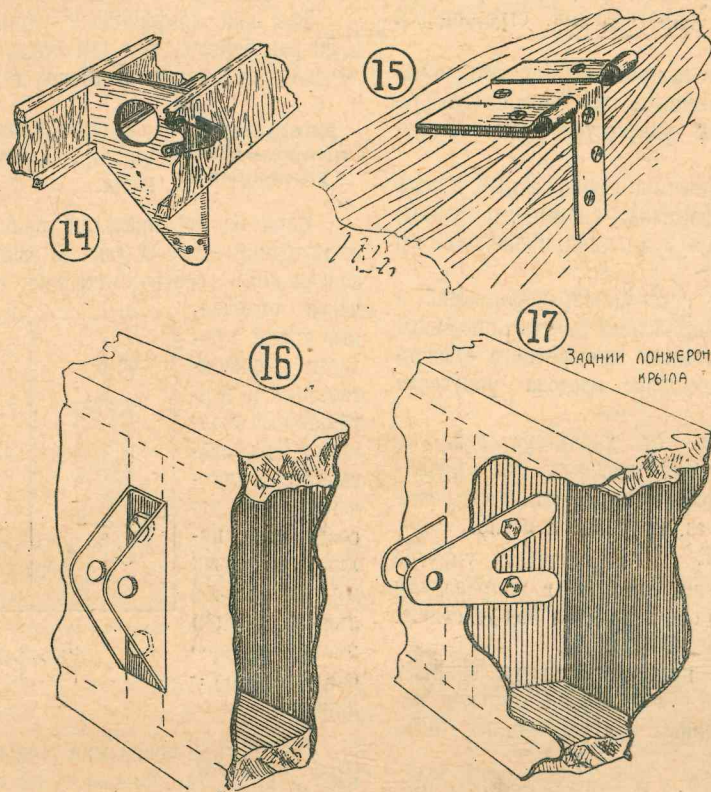
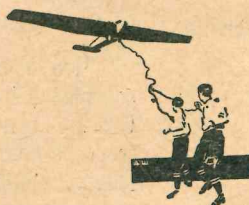


Рис. 3. Виды креплений элерона к крылу.

**ОТ МОДЕЛИ —
К ПЛАНЕРУ**



**ОТ ПЛАНЕРА —
К САМОЛЕТУ**

жестких
предста-
вления, но
предств

В. Ольховский.

К РАСЧЕТУ НА ПРОЧНОСТЬ

САМОЛЕТА
И ПЛАНЕРА¹⁾

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.

Отдел строительной механики, называемый **сопротивлением материалов**, рассматривает механические свойства различных материалов и определяет «прочные» размеры построенных из этих материалов частей сооружений, машин, летательных аппаратов и т. д.

Внешние силы, действующие на тело, обычно изменяют его форму и вызывают в нем **внутренние силы** сопротивления, стремящиеся вернуть телу первоначальную форму.

Способность тела принимать после прекращения действия внешних сил первоначальную форму, называется **упругостью** или **эластичностью**²⁾.

По мере увеличения приложенных к телу внешних сил, деформация (изменение формы) тела увеличивается и, наконец, происходит его разрушение.

Во избежание остающихся деформаций, в теле допускают напряжения (внутренние силы, отнесенные к площади поперечного сечения тела), не превосходящие **предела упругости** материала.

В зависимости от характера действия приложенных к телу внешних сил различают следующие деформации: растяжение, сжатие, сдвиг или срез, кручение и изгиб.

Растяжение. Рассмотрим упругое стержневидное тело, которое в направлении своей продольной оси находится под действием растягивающих сил P (рис. 1).

Нагрузка p , приходящаяся на единицу площади p поперечного сечения стержня называется **напряжением при растяжении** (отношение P/p).

P обычно выражается в килограммах, а p — в квадратных миллиметрах. Тогда p получается в килограммах на 1 квадрат. миллиметр.

От действия растягивающей силы стержень удлиняется на некоторую величину y (абсолютное удлинение), которая, до тех пор, пока не превзойден предел упругости материала, прямо пропорциональна нагрузке P и первоначальной длине e тела и обратно пропорциональна площади p поперечного сечения тела.

Этот закон упругих удлинений, называемый **законом Гука**, установлен путем опыта и выражается формулой:

$$y = \frac{P \cdot e}{p \cdot E},$$

где E — так называемый **модуль упругости** (или коэффициент упругости) данного материала.

Из формулы следует, что $E = \frac{P/p}{y/e}$

Дробь y/e называется **относительным удлинением** тела.

До предела упругости, E для каждого материала есть величина постоянная.

Так, например, для сосны $E=1.100$, для дуралюминия—7.000, для стали—22.000 кг./кв. мм.

Отношение $1/E$, называемое **коэффициентом удлинения** или **коэффициентом пропорциональности**, представляет собой относительное удлинение тела при напряжении равном 1, или число, на которое надо помножить напряжение, чтобы получить удлинение (это следует из вышеприведенной формулы).

Так как коэффициент удлинения для дерева приблизительно в 20 раз больше, чем для стали, то при одинаковых напряжениях, дерево удлинится на величину в 20 раз большую, нежели сталь.

Диаграмма напряжений-удлинений.

Предположим, что образец какого-либо материала, например, стали, испытывается на растяжение.

Если по вертикальной оси отложить (в некотором масштабе) от исходной точки O (рис. 2) различные напряжения P/p , а по горизонтальной — соответствующие относительные удлинения y/e , и через отмеченные точки провести горизонтальные и вертикальные прямые до их взаимного пересечения, то, по соединении полученных точек непрерывной линией, будем иметь кривую напряжений-удлинений.

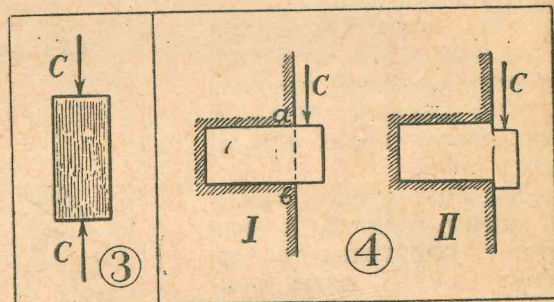


Рис. 3. Сжатие короткого стержня.
Рис. 4. Деформация сдвига (среза).

Полученная диаграмма вначале обыкновенно имеет прямолинейный участок Oa , указывающий на пропорциональность относительных удлинений упругим напряжениям. Это имеет место лишь до некоторого предельного напряжения, называемого **пределом пропорциональности** (точка a диаграммы), который обычно совпадает с **пределом упругости**.

Затем диаграмма загибается, направляясь почти параллельно оси удлинений это показывает, что удлинение увеличивается без возрастания напряжения. Точка b соответствует так называемому **пределу текучести** материала.

При дальнейшем увеличении нагрузки удлинения возрастают быстрее, чем напряжения, и при некотором наибольшем напряжении g , на участке bd диаграммы, образец вторично вытягивается без увеличения нагрузки. Наконец, при напряжении kl , которое обычно меньше g , происходит разрыв образца. Наибольшее напряжение g называется **временным сопротивлением** или **крепостью** материала на растяжение, или **разрывающим напряжением**.

По удлинению при разрыве судят о пластичности материала. Материалы, дающие малое удлинение, называются хрупкими, а дающие большое — пластичными.

Предел пропорциональности для мягкой стали и железа составляет приблизительно $1/2$ временного сопротивления, для дерева же — около $2/5$ временного сопротивления.

В нижеприводимой таблице I указаны средние значения модулей упругости, пределов пропорциональности и разрушающих напряжений для различных авиа-материалов.

Следует отметить, что механические свойства металлов зависят от их тепловой и механической обработки.

Что касается дерева, то его крепость зависит от количества содержащейся в нем влаги. Чем влажность больше, тем дерево слабее. Обычно крепость дерева определяют для нормальной влажности в 15% (весовое количество содержащейся воды, отнесенное к общему весу). Можно приблизительно считать, что увеличение влажности на 1% понижает сопротивление сжатию и изгибу на 4%.

1) См. № 2 (28) журнала «Самолет».

2) Вполне упругих тел в природе не существует.

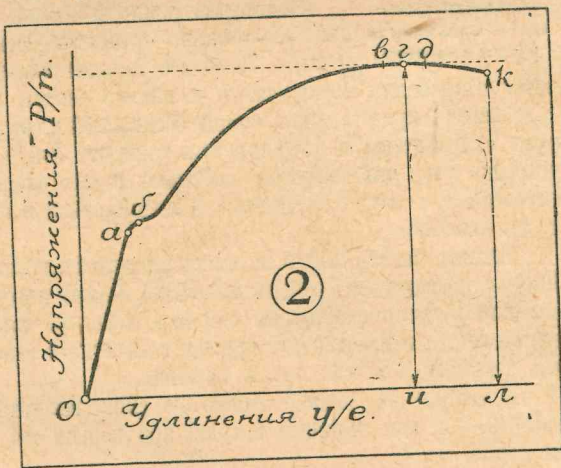


Рис. 2. Диаграмма напряжений-удлинений.

ТАБЛИЦА I.
Удельные веса, модули упругости, пределы пропорциональности и разрушающие напряжения (в кг. на 1 кв. мм.).

МАТЕРИАЛ.	Удельный вес.	Модуль упругости при растяж. и сжатии. E	Модуль упругости при сдвиге. G	Предел пропорцион. (упругости).	Разрушающее напряжение.					Относит. удлинение при разрыве в %.	
					Растяж. p	Сжатие.	Изгиб.	Срез.	Кручение.		
Сталь литая прокатная (листы, болты и пр.)	7,9	22.000	8.500	25—60	45—100	p	p	0,8 p	0,75 p	25—10	
Железо литое прокатное (листы, болты и пр.)	7,7	21.500	8.300	18 и более.	35—45	"	"	"	"	35—20	
Дуралюминий (кольчугалюминий) листовой	2,9	7.000	2.900	20—40	35—50	"	"	"	"	18—4	
Алюминий листовой.	2,7	7.100	3.000	5 и более.	12—18	"	"	"	0,7 p	20—5	
Медь красная листовая	8,8	11.500	4.800	близок к 0.	20—25	"	"	"	0,75 p	35—25	
Сосна	0,5	1.100	70	3—4	8	Вдоль воло- кон. 4—6	Попер. воло- кон. 0,5	6—10	Вдоль воло- кон. 0,5	Попер. воло- кон. 1,5	
Ясень	0,7	1.100	—	—	6—10	5	1,5	7—12	0,8	2	
Липа	0,4	1.000	—	—	5	3,5	—	5—8	—	—	
Березовая фанера	0,7	—	—	—	5—6	2,5	—	4	—	1,5	

Допускаемые напряжения. Наибольшие напряжения, допускаемые в частях любого сооружения, механизма и т. д., должны составлять лишь определенную часть от временного сопротивления, и во всяком случае они должны быть ниже предела упругости данного материала.

Число, показывающее во сколько раз наибольшее допустимое напряжение меньше предельной крепости (временного сопротивления) материала, называется **коэффициентом безопасности** (например, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{10}$); обратная величина последнего называется **запасом прочности** (4, 10)³.

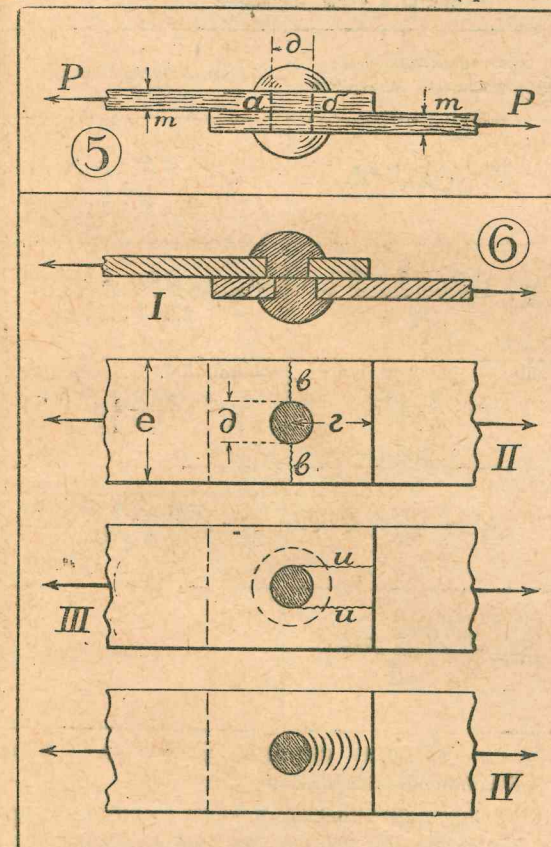


Рис. 5. Металлические листы или полосы, соединенные заклепками.
Рис. 6. Деформации заклепочного соединения.

Величина коэффициента безопасности зависит от природы и качества (дефекты) примененного материала, от характера действия внешних сил, от формы и назначения той или иной детали, от точности методов расчета, от точности изготовления и от условий, в которых данная конструкция будет эксплуатироваться (атмосферические влияния и пр.).

В смешанных конструкциях, составленных из разнородных материалов (металл, дерево), запас прочности должен быть повышен (различие в коэффициентах расширения и в характере деформаций разнородных материалов).

Запас прочности должен быть значительно повышен в случае нагрузки: 1) ударной, прилагаемой к телу внезапно (неравномерное распределение напряжений) и 2) часто-переменной, в особенности, если при этом растяжение сменяется сжатием и наоборот.

При внезапных толчках, напряжения частей от их собственного веса возрастают в 2—3 раза, сравнительно со статическим весом.

Модуль упругости любого тела при ударе больше, чем при спокойной нагрузке; следовательно, при ударе, одной и той же деформации соответствует большее напряжение (см. формулу для E).

Как показывает опыт, части, подвергаемые быстропеременным нагрузкам и, особенно, ударам, разрушаются от нагрузок H (на единицу сечения), значительно меньших их нормальной предельной крепости K (усталость материала).

Величина коэффициента безопасности зависит от природы и качества (дефекты) примененного материала, от характера действия внешних сил, от формы и назначения той или иной детали, от точности методов расчета, от точности изготовления и от условий, в которых данная конструкция будет эксплуатироваться (атмосферические влияния и пр.).

В смешанных конструкциях, составленных из разнородных материалов (металл, дерево), запас прочности должен быть повышен (различие в коэффициентах расширения и в характере деформаций разнородных материалов).

Запас прочности должен быть значительно повышен в случае нагрузки: 1) ударной, прилагаемой к телу внезапно (неравномерное распределение напряжений) и 2) часто-переменной, в особенности, если при этом растяжение сменяется сжатием и наоборот.

При внезапных толчках, напряжения частей от их собственного веса возрастают в 2—3 раза, сравнительно со статическим весом.

Модуль упругости любого тела при ударе больше, чем при спокойной нагрузке; следовательно, при ударе, одной и той же деформации соответствует большее напряжение (см. формулу для E).

Как показывает опыт, части, подвергаемые быстропеременным нагрузкам и, особенно, ударам, разрушаются от нагрузок H (на единицу сечения), значительно меньших их нормальной предельной крепости K (усталость материала).

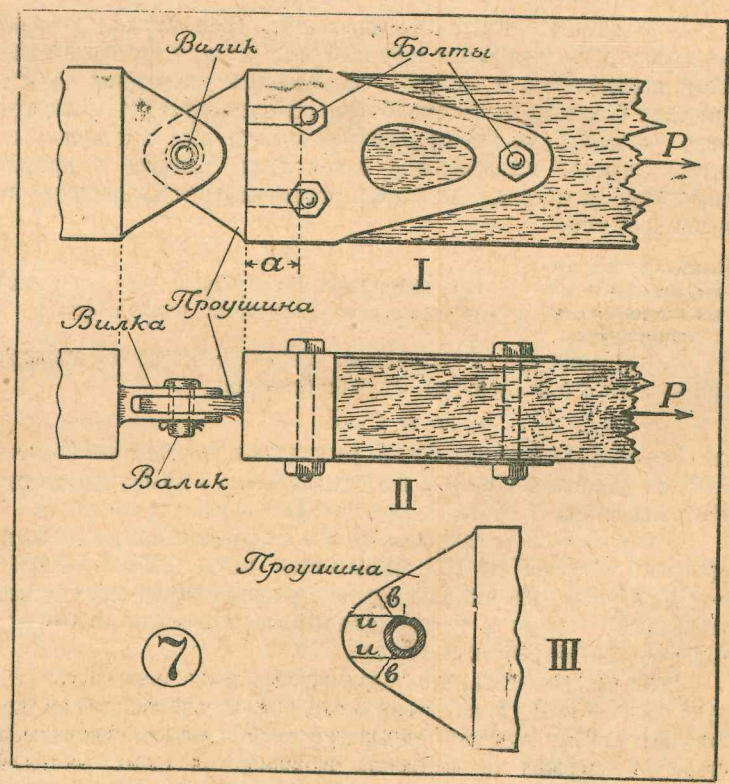


Рис. 7. Шарнирный замок, соединяющий концы лонжеронов крыльев (к его расчету — задача 4).

Так, например:

I) $H = \frac{3}{5} K$ для мягкой стали и железа и $H = \frac{1}{2} K$ для твердой стали, если нагрузка многократно изменяется от $+H$ до 0 (например, часто повторяющееся растяжение или изгиб в одном направлении);

II) $H = \frac{1}{3} K$ для мягкой стали и железа и $H = \frac{1}{4} K$ для твердой стали, если нагрузка изменяется в двух направлениях от $+H$ до $-H$ (например, попеременно растяжение и сжатие).

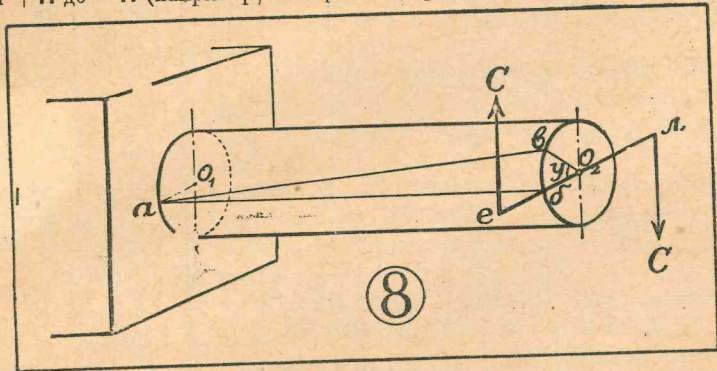


Рис. 8. Кручение стержня.

Для сосны найдено, что, при изгибе бруска попеременно в разные стороны 2.000.000 раз, предельное сопротивление составляет приблизительно $\frac{1}{4}$ максимальной крепости на изгиб, т.е., примерно, 1,5—2 кг. на кв. мм.

Для solidных сооружений постоянного типа обычно применяют следующие запасы прочности:

ТАБЛИЦА II.

Нормальные запасы прочности.

МАТЕРИАЛЫ.	Спокойная нагрузка	Нагрузка, часто изменяющаяся от 0 до максимума.		Внезапно меняющаяся нагрузка (удары).
		В одном направлении.	В двух направлениях.	
Сталь	4	6	8	13
Дерево	7	10	15	2)

В отношении летательных аппаратов, срок службы которых составляет в среднем около 1000 полетных часов, и где вопрос веса имеет первенствующее значение, пользоваться указанными коэффициентами безопасности не представляется возможным. Их рассчитывают, базируясь на значительно меньших запасах прочности, допуская нередко максимальные напряжения, близкие к пределу упругости материала (например, довольствуются 2-кратным запасом прочности).

Изменение напряжения от влияния температуры. При изменении температуры тела (стержня), в нем возникают добавочные напряжения.

Для определения напряжения σ , направленного по оси стержня, концы которого закреплены, служит формула:

$$\sigma = \alpha \cdot t^0 \cdot E,$$

где: α —коэффициент линейного расширения от теплоты, равный 0,000011 для стали и железа и приблизительно 0,000006 для дерева; t^0 —температура в градусах Цельсия; E —модуль упругости.

Таким образом, развивающееся при нагревании или охлаждении стального стержня на 1°C . напряжение равно $0,000011 \times 22000 = 0,242$ кг. на 1 кв. мм. площади поперечного сечения стержня; для деревянного стержня имеем значительно меньшую величину: $0,000006 \times 1100 = 0,066$ кг./кв. мм.

Если предположить, что у поверхности земли температура воздуха равна $+15^\circ\text{C}$., то на боевой высоте 6000 м. она составит приблизительно -24°C . Разность температур в 39° повысит напряжение стального стержня (в частности, например, стальных растяжек) на $0,242 \times 39 = 9,44$ кг. на кв. мм., что и должно быть введено в расчет конструкции самолета.

Задача 1. Определить диаметр d стальной проволоочной растяжки, к которой приложена сила $P=400$ кг. Допускаемое напряжение на растяжение p_1 считать равным 80 кг./кв. мм.

Решение:

Потребная площадь поперечного сечения растяжки $= \frac{P}{p_1} = \frac{400}{80} = 5$ кв. мм.

С другой стороны эта площадь $= \frac{\pi \times d^2}{4}$.

Следовательно $\frac{3,14 \times d^2}{4} = 5$:

$$\text{откуда } d = \sqrt{\frac{5 \cdot 4}{3,14}} = 2,5 \text{ мм.}$$

Задача 2. Определить абсолютное удлинение y растяжки предыдущей задачи, если ее длина e равна 1600 мм.

Решение:

$$y = \frac{P \cdot e}{\pi \cdot E} = \frac{400 \times 1600}{5 \times 22000} = 5,8 \text{ мм.}$$

Сжатие. Предположим, что на короткий стержень, по оси его, действуют внешние силы C (рис. 3), которые стремятся сжать и укоротить стержень.

Опыты показывают, что до предела пропорциональности, относительные укорочения, подобно удлинениям, пропорциональны напряжениям и что модуль упругости при сжатии равен модулю упругости при растяжении.

Для металлов, разрушающие напряжения при растяжении и сжатии почти одинаковы; крепость же дерева на сжатие приблизительно в 2 раза меньше, чем на растяжение (параллельно волокнам).

Если длина стержня, сравнительно с наименьшим размером его поперечного сечения велика, стержень испытывает сложную деформацию — сжатие с изгибом, называемую продольным изгибом⁴⁾.

В самолетах и планерах только торцы стоек, распорок, подкосов и лонжеронов (не считая мелких частей) работают на чистое сжатие.

ТАБЛИЦА III.

Моменты и углы кручения.

Сечение	Допускаемый крутящий момент	Угол кручения
	$M = 0,2 \cdot d^3 \cdot k$	$y = \frac{580 \cdot e \cdot M}{d^4 \cdot G}$
	$M = \frac{0,2(D^4 - \delta^4)}{D} \cdot k$	$y = \frac{580 \cdot e \cdot M}{(D^4 - \delta^4) \cdot G}$
	$M = \frac{2}{9} a^3 \cdot k$	$y = \frac{410 \cdot e \cdot M}{a^4 \cdot G}$
	$M = \frac{2}{9} a^2 \cdot b \cdot k$	$y = \frac{205(a^2 + b^2) \cdot e \cdot M}{a^3 b^3 \cdot G}$
	$M = \frac{2}{9} \frac{A^3 B - \delta^3 B}{A} \cdot k$	—

Примечание: e —длина стержня, G —модуль упругости при сдвиге, k —допускаемое напряжение.

Задача 3. Определить площадь π торца сосновой распорки, если сжимающее усилие $C=120$ кг., а допустимое напряжение на сжатие $p_2=0,4$ кг./кв. мм.

Решение:

$$\pi = C/p_2 = 120/0,4 = 300 \text{ кв. мм.}$$

Сдвиг (срез). Предположим, что на короткий конец прочно укрепленного бруска действует сила C (рис. 4), стремящаяся сдвинуть (срезать) выступающую часть бруска по плоскости $ав$.

⁴⁾ Об этом будет сказано подробно дальше.

Величина относительного сдвига δ сечения бруска прямо пропорциональна перерезывающей силе C и обратно пропорциональна площади поперечного сечения π :

$$\delta = \frac{C}{\pi \cdot G}$$

C/π есть срезающее напряжение, а G — модуль упругости при сдвиге (или «модуль скольжения»), составляющий, примерно, $3/8 - 2/5 E$.

Опыты показывают, что сопротивление металлов срезу равно приблизительно $4/5$ сопротивления разрыву.

В отношении дерева заметим, что сдвиг (срез) вдоль волокон, называемый скалыванием, существенно разнится от сдвига поперек волокон (см. таблицу I).

Расчет соединения заклепками. Предположим, что требуется определить прочные размеры заклепочного соединения, представленного на рис. 5 (листы соединены в нахлестку).

Соединение должно быть рассчитано на: 1) срез заклепки (рис. 6, I), 2) на разрыв листа по слабейшим сечениям v , v (рис. 6, II), 3) на вырезывание листа по плоскостям $и$, $и$ (рис. 6, III) и 4) на смятие листа (рис. 6, IV).

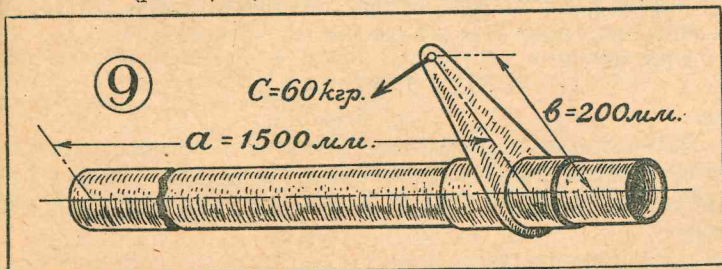


Рис. 9. Трубчатый лонжерон, закручиваемый силой C (задача 5).

Сопротивление заклепки срезу определяем по формуле:

$$R = \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \cdot k,$$

где k — допускаемое напряжение на срез (принимается равным $4/5 p$ — см. таблицу I).

Если число заклепок равно n , то расчетное усилие P уменьшается в n раз.

Сопротивление листа разрыву:

$$P = 2 \cdot v \cdot t \cdot k_1 \text{ или } (e - d) \cdot t \cdot k_1, \text{ где } t \text{ — толщина листа.}$$

Сопротивление листа вырезыванию:

$$P = 2 \left(r - \frac{d}{2} \right) t \cdot k_2.$$

Сопротивление листа смятию:

$$P = d \cdot t \cdot k_3,$$

где k_1 — допускаемое напряжение на смятие (принимается равным $1 1/2 p$).

Задача 4. На рис. 7 представлен шарнирный замок, соединяющий конец соснового лонжерона с лонжероном крылевого выступа фюзеляжа. К лонжерону приложена растягивающая сила $P = 500$ кгр.

Требуется определить минимальный диаметр d болтов или заклепок, крепящих башмак к лонжерону, а также размеры валика и проушины замка.

Допускаемое напряжение для металла: на растяжение $p_1 = 15$ кгр./кв. мм. и на срез $k = 12$ кгр./кв. мм.

Решение:

Болты. Так как 3 болта срезаются щеками башмака по 6-ти сечениям, то имеем:

$$P = 6 \cdot \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \cdot k \text{ или}$$

$$500 = 6 \cdot \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \cdot 12.$$

$$\text{Откуда } d = \sqrt{\frac{500 \cdot 4}{6 \cdot 3,14 \cdot 12}} = 3 \text{ мм.}$$

Ввиду того, что болты сжимают и вырезают волокна лонжерона, их диаметр d примем равным 5 мм.

При ширине лонжерона в 40 мм., сжимаемая болтом поверхность дыры в лонжероне равна $5 \times 40 = 200$ кв. мм. Давление 1 болта на 1 кв. мм. этой поверхности составляет $\frac{500}{200} = 0,84$ кгр., что можно считать допустимым для сосны.

Крайние 2 болта желательно располагать на таком расстоянии a от торца лонжерона, чтобы при расчете на скалывание было удовлетворено равенство: $500 = 2 \cdot a \cdot 40 \cdot k_2$, где k_2 — допускаемое напряжение на скалывание, равное 0,15 кгр./кв. мм.

Следовательно

$$a = \frac{500}{2 \cdot 40 \cdot 0,15} = 14 \text{ мм.}$$

Валик. Силою $P = 500$ кгр. валик срезается по двум сечениям. Следовательно

$$500 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \cdot 12;$$

$$\text{откуда } d = \sqrt{\frac{500 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 12}} = 5,2 \text{ мм.}$$

В случае трубчатого валика, его наружный и внутренний диаметры d_1 и d_2 должны удовлетворять равенству:

$$500 = 2 \left(\frac{3,14 \cdot d_1^2}{4} - \frac{3,14 \cdot d_2^2}{4} \right) \cdot 12.$$

Проушина. Необходимая площадь сечения проушины в местах v , v определится из равенства:

$$\frac{500}{2 \cdot v \cdot t} = 15, \text{ где } t \text{ — толщина проушины.}$$

$$\text{Отсюда } v \cdot t = \frac{500}{2 \cdot 15} = 17 \text{ кв. мм.}$$

Задав одну из величин v или t , легко найдем другую. Например, если $v = 6$ мм., то $t = 3$ мм.

Сопротивление проушины вырезыванию по плоскостям $и$, $и$: $P = 2 \cdot и \cdot t \cdot k$; откуда

$$и = \frac{P}{2 \cdot t \cdot k} = \frac{500}{2 \cdot 3 \cdot 12} = 7 \text{ мм.}$$

Наконец, проверяем проушину на смятие: $P = d \cdot t \cdot k_1$, где k_1 — допускаемое напряжение на смятие, равное 22 кгр./кв. мм.

$$\text{Имеем } 500 = 5,2 \cdot 3 \cdot 22 \text{ или } 500 = 343.$$

Таким образом, проушина оказывается слабой на смятие. Необходимо увеличить или диаметр d валика или толщину t проушины.

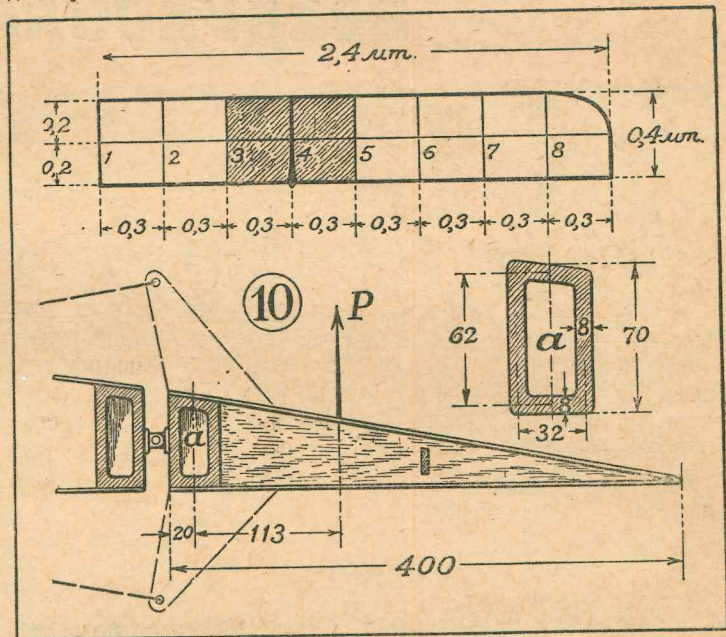


Рис. 10. Элерон, подлежащий проверке на скручивание (задача 6).

Кручение. Если к концу цилиндрического тела (стержень, труба), неподвижно заделанного другим концом (рис. 8), приложить две силы C, C , равные по величине, но направленные в разные стороны (пара сил с плечом $el = n$), то тело скрутится на некоторый угол γ (крайнее сечение).

Указанная пара сил называется крутящей парой, а ее момент $M = C \cdot n$ — крутящим моментом. Этот последний уравновешивается моментом сопротивления всех внутренних сил (сцепление частиц), которые развиваются в теле при появлении деформации кручения.

Опыт показывает, что при скручивании: 1) напряжения зависят лишь от формы и размеров поперечного сечения и не зависят от длины тела, 2) ось цилиндра остается прямой, 3) поперечные сечения поворачиваются одно относительно другого на одинаковый угол и 4) радиусы поперечных сечений, оставаясь прямыми, поворачи-