

К РАСЧЕТУ НА ПРОЧНОСТЬ САМОЛЕТА И ПЛАНЕРА СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.

(Продолжение ¹⁾).

Изгиб.

Если на какую-либо прямую балку (стержень, брусок и т. д.), например, закрепленную одним концом (рис. 11), действуют внешние силы, перпендикулярные к оси балки (сила P), то они вызывают в балке деформацию, называемую поперечным изгибом или просто изгибом.

Продольные фибры (волокна) изогнутой балки, расположенные на выпуклой ее стороне (в данном случае — верхней), вследствие

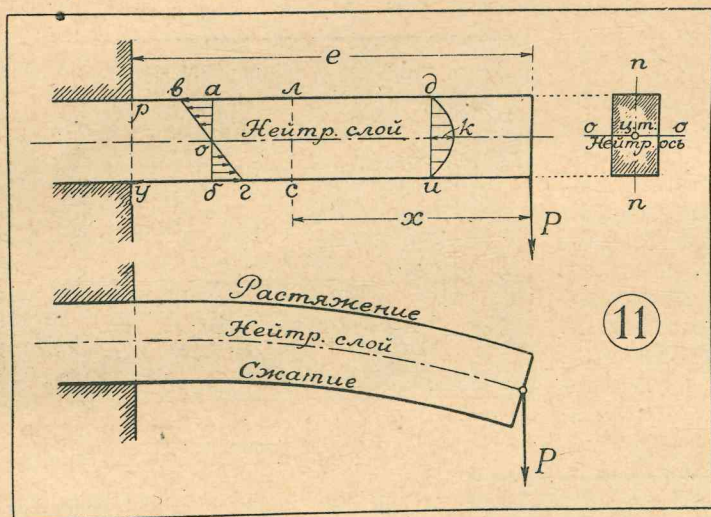


Рис. 11. Прямая балка, изгибаемая силой P .

появляющейся растягивающей силы, удлиняются, а расположенные на вогнутой стороне — укорачиваются. Волокна же некоторого среднего слоя, называемого **нейтральным**, ни удлиняются, ни укорачиваются, в виду отсутствия в этом слое растягивающих или сжимающих напряжений.

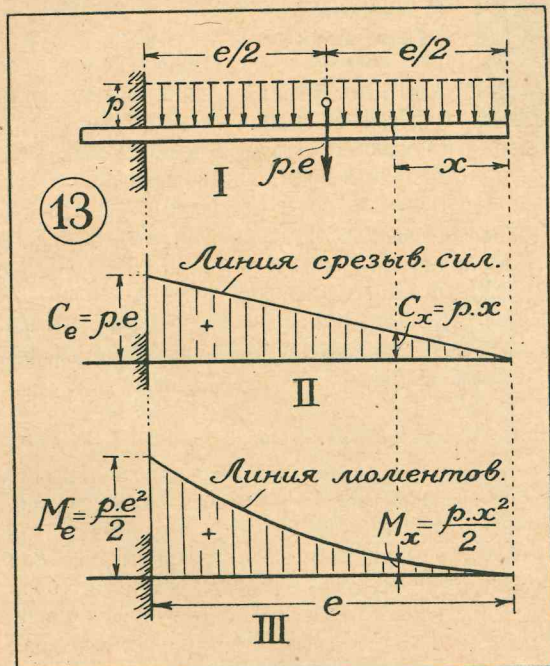


Рис. 13. Диаграммы срезывающих сил и изгибающих моментов для консольной балки с равномерно-распределенной нагрузкой.

сторону растягиваемых волокон).

¹⁾ См. «Самолет» № 3 (29).

Линия пересечения нейтрального слоя с плоскостью, перпендикулярно к оси балки, называется **нейтральной** или **нулевой осью** поперечного сечения.

Все последующие рассуждения и выводы справедливы лишь при условии, что развивающиеся в изгибаемой балке напряжения не превосходят предела упругости материала.

Относительные удлинения и укорочения продольных слоев балки, а следовательно и напряжения их (вследствие пропорциональности указанных деформаций напряжениям), прямо-пропорциональны расстоянию каждого слоя от нейтральной плоскости или оси. Таким образом, диаграмма деформаций и напряжений для любого сечения ab балки изобразится прямой линией vg , пересекающей в o нейтральную ось. Треугольник oav представит растягивающие напряжения (удлинения), а треугольник obg — сжимающие напряжения (укорочения). Наибольшие напряжения изобразятся векторами av и bg .

Для материалов, сопротивляющихся растяжению и сжатию неодинаково, напряжения обычно возрастают медленнее, нежели деформации, и поэтому диаграмма напряжений имеет вид кривой линии.

Кроме указанных **нормальных** напряжений сжатия и растяжения (внутренние силы упругости, перпендикулярные к плоскости сечения), в каждом сечении балки при изгибе возникают **поперечные** или **срезывающие** напряжения, равнодействующая которых C совпадает с осью симметрии pp сечения (рис. 11) и по величине равна алгебраической сумме всех внешних сил, действующих на балку справа или слева от рассматриваемого сечения (начиная с него).

Срезывающая сила C условно считается положительной, если для правой части балки она направлена вниз, а для левой — вверх.

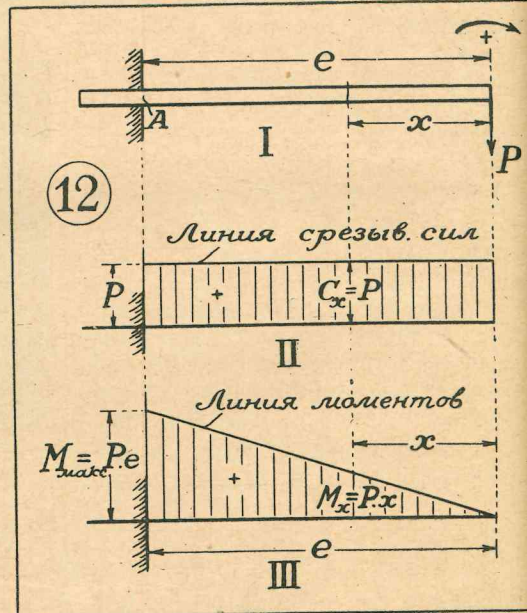


Рис. 12. Диаграммы срезывающих сил и изгибающих моментов для консольной балки с грузом на конце.

Сила C вызывает в плоскостях, параллельных оси балки, сдвигающие напряжения, которые имеют наибольшую величину k у нейтральной оси и равны нулю у крайних точек сечения (рис. 11 сечение di).

Сдвигающее напряжение k для прямоугольного сечения балки равно $\frac{3}{2} \cdot \frac{C}{A}$ (по нейтральной оси), где A — площадь сечения, т. е.

напряжение k в $\frac{3}{2}$ раза больше среднего напряжения всего сечения.

Для круга имеем $k = \frac{4}{3} \cdot \frac{C}{A}$, а для тонкостенного кругового кольца $k = 2 \cdot \frac{C}{A}$.

Сравнительно с нормальными напряжениями, испытываемыми балкой при изгибе, срезывающие напряжения незначительны.

Сдвигающее напряжение k для прямоугольного сечения балки равно $\frac{3}{2} \cdot \frac{C}{A}$ (по нейтральной оси), где A — площадь сечения, т. е.

напряжение k в $\frac{3}{2}$ раза больше среднего напряжения всего сечения.

Для круга имеем $k = \frac{4}{3} \cdot \frac{C}{A}$, а для тонкостенного кругового кольца $k = 2 \cdot \frac{C}{A}$.

Сравнительно с нормальными напряжениями, испытываемыми балкой при изгибе, срезывающие напряжения незначительны.

Изгибающий момент. Рассмотрим какое-либо сечение $лс$ балки. Отноительно этого сечения, приложенные к балке внешние силы (P) стремятся вращать ее правую часть вниз, по часовой стрелке. Произведение из силы P на плечо x (расстояние от центра тяжести рассматриваемого сечения) называется изгибающим моментом M для данного сечения $лс$.

В общем случае, изгибающий момент для любого сечения балки равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на балку справа или слева от данного сечения (относительно нейтральной оси последнего).

Таблица IV.

Моменты инерции и моменты сопротивления различных сечений.

Сечение.	Момент инерции J .	Момент сопротивл. W .
	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^3}{12}$
	$\frac{a^4}{12}$	$0,12 a^3$
	$\frac{ab^3}{12}$	$\frac{ab^2}{6}$
	$\frac{AB^3 - ab^3}{12}$	$\frac{AB^2 - ab^2}{6B}$
	$\frac{AB^3 - ab^3 + aB^3 - aBb^3}{12}$	$\frac{AB^2 - ab^2 + aB^2 - aBb^2}{6B}$
	$0,05 d^4$	$0,1 d^3$
	$0,05 (D^4 - d^4)$	$\frac{0,1(D^4 - d^4)}{D}$
	$0,04 AB^3$	$0,08 AB^2$

Изгибающий момент условно считается положительным, если для правой части балки он вращает поперечные сечения вправо, т.е. по часовой стрелке, а для левой части балки — влево.

В каждом данном сечении, изгибающему моменту сопротивляется момент внутренних сил упругости, равный $W \cdot n$, где W — так называемый момент сопротивления поперечного сечения балки, относительно его нейтральной оси (W зависит от формы и площади сечения и выражается в единицах третьего измерения, например, в куб. см.), а n — нормальное растягивающее или сжимающее напряжение, развивающееся в данном сечении.

Таким образом условие равновесия между изгибающим моментом и моментом противодействия балки изгибу выразится равенством: $M = W \cdot n$ или $P \cdot x = W \cdot n$.

Момент сопротивления W , в свою очередь, выражается отношением J/r , где J — так называемый момент инерции поперечного сечения балки, относительно нейтральной оси, а r — расстояние от нейтральной оси наиболее напряженных наружных волокон балки.

Момент инерции J площади (или второй момент площади), относительно какой-либо оси (или точки), представляет собой произве-

ного момента инерции, — относительно оси, перпендикулярной к площади, или точки (полюса). Полярный момент инерции рассматривается при кручении тела.

Соответственно моментам инерции, различают экваториальный и полярный моменты сопротивления.

В таблице IV приведены формулы, по которым определяются экваториальные моменты инерции и моменты сопротивления некоторых, наиболее употребительных в конструкциях летательных аппаратов, сечений²⁾.

Момент инерции сложной фигуры определяется путем суммирования (алгебраическая сумма) моментов инерции простейших фигур, образующих данную.

В летательных аппаратах частями, работающими на изгиб, являются: лонжероны и нервюры крыльев и хвостовых поверхностей, оси колес шасси, костыль, моторная ферма, рычаги управления и т. д.

Для прочности изогнутой балки необходимо, чтобы изгибающий момент M не превосходил $W \cdot n$ или $\frac{J \cdot n}{r}$, где n — допускаемое напряжение при изгибе (наиболее неблагоприятное нормальное напряжение — при растяжении или сжатии).

При проверке прочности балки, W и J берутся наименьшие (экваториальные), а r — наибольшее, из возможных.

Для балок постоянного сечения, наиболее опасное сечение находится в том месте, где M и n достигают максимума.

Максимальное нормальное напряжение определяется по формуле:

$$n_{\text{макс.}} = \frac{M_{\text{макс.}}}{W} = \frac{M_{\text{макс.}} \cdot r}{J}$$

Для сечения ab балки, представленной на рис. 11, наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_{\text{ав}}$ равно $M \cdot \sigma_a / J$, а наибольшее сжимающее $\sigma_{\text{бг}} = M \cdot \sigma_b / J$.

Размеры сечения балки проверяют по формуле: $w = M_{\text{макс.}} / n$.

Наивыгоднейшее сечение балки

Из формулы $n = M/W$ следует, что напряжения в балке уменьшаются с увеличением момента сопротивления w сечения. С другой стороны, вес балки изменяется пропорционально площади сечения. Поэтому наивыгоднейшей формой поперечного сечения балки является та, для которой отношение момента сопротивления к площади сечения получается наибольшим. Таковыми оказываются сечения, у которых материал распределен на более или менее значительном расстоянии от нейтральной оси (коробчатое, двутавровое, кольцевое и т. п. сечения).

Так как очень высокие сечения, вследствие недостаточной жесткости конструкции (неустойчивость формы) могут оказаться в работе слабыми, то всякое значительное увеличение высоты балки должно, по возможности, сопровождаться параллельным утолщением или укреплением стенок балки (накладки, раскосы, распорки). На этом же основании, при расчете коробчатых лонжеронов, толщина фанерных стенок либо вовсе не вводится в формулу момента сопротивления (или момента инерции), либо в расчете фигурирует неполная толщина стенок.

Стенки коробчатых и тавровых балок (лонжероны, нервюры) должны проверяться на полное срезающее усилие, приходящееся на то или иное сечение. Это усилие сечение стенок должно выдержи-

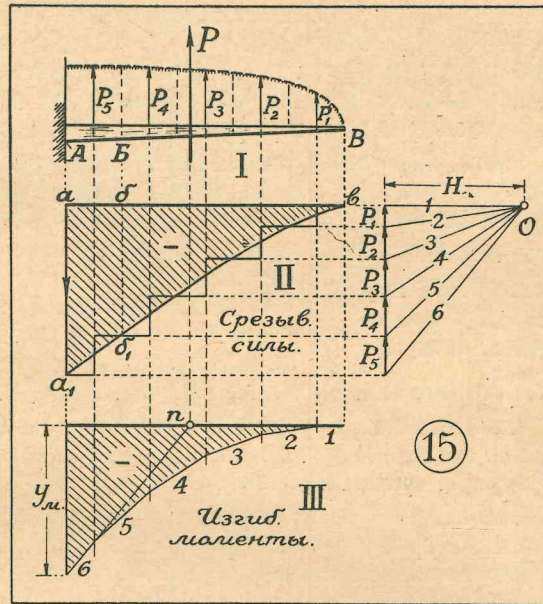


Рис. 15. Графический способ построения диаграмм срезающих сил и изгибающих моментов для консольных балок.

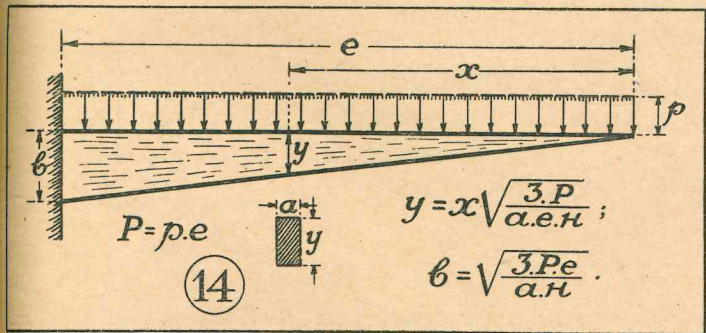


Рис. 14. Консольная балка равного сопротивления изгибу.

деление данной площади на квадрат ее среднего расстояния от данной оси (точки), или, точнее, — предел суммы произведений из величин элементарных площадок, составляющих данную площадь, на квадраты их расстояний до рассматриваемой оси (точки).

Момент инерции зависит от геометрических размеров площади и положения оси, и выражается в единицах четвертого измерения (например, в см.⁴).

Момент инерции площади какой-либо фигуры, относительно оси, расположенной в плоскости фигуры и проходящей через центр тяжести площади, называется **экваториальным**, в отличие от поляр-

²⁾ Опечатка: момент сопротивления W квадратного сечения равен $\frac{a^3}{6}$ а не $\frac{a^3}{12}$.

вать с большим запасом прочности, имея в виду возможные добавочные деформации (скручивание и выпучивание стенок).

Из рассмотрения формулы, определяющей момент сопротивления прямоугольного сечения ($W = \frac{a \cdot b^2}{6}$) следует, что, из двух брусков одного и того же сечения, брусок, расположенный плашмя, оказывается во столько раз слабее бруска, расположенного на ребро, во сколько одна сторона сечения меньше другой.

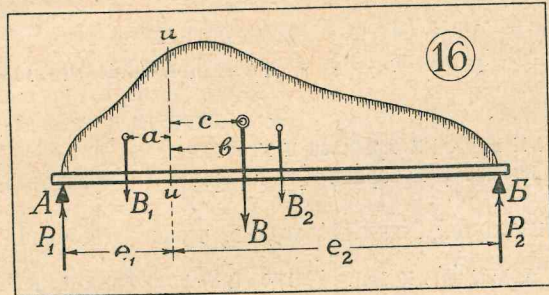


Рис. 16. Нагруженная балка, лежащая на двух опорах.

сечений полук такой балки должны быть, по возможности, обратно пропорциональны названным сопротивлениям.

Если же материал балки относится к растяжению и сжатию одинаково, то применение горизонтально-несимметричного сечения обусловит склонность балки к разрушению с одной стороны.

Различные типы балок. По способу укрепления и числу опор, различают балки: 1) с закрепленным концом (консоли), 2) с одним закрепленным и одним свободно-опертым концом, 3) свободно-лежащие на двух опорах (при этом один конец может быть скреплен с опорой шарнирно), 4) свободно-лежащие на двух опорах, с одним или двумя свешивающимися за опоры концами (консолями), 5) лежащие на многих опорах (многопролетные неразрезные балки).

По роду нагрузки, различают балки: 1) с сосредоточенной нагрузкой (один или несколько отдельных грузов), 2) с непрерывной нагрузкой, которая может быть распределена по длине балки равномерно или неравномерно, и 3) со смешанной нагрузкой.

Консоль с грузом на конце (рис. 11 и 12). Как было указано ранее, срезывающее напряжение в любом сечении балки, взятом на расстоянии x от конца ее, равно сумме внешних сил (P), действующих на балку справа (или слева) от данного сечения (рис. 12, II), т.-е. $S_x = +P$.

Так как величина срезывающей силы одинакова для всех сечений балки, она изобразится графически прямой, параллельной оси балки (диаграмма срезывающих сил).

Вызываемые силою P в разных сечениях балки изгибающие моменты M_x пропорциональны расстоянию x , т.-е. $M_x = +P \cdot x$. Наибольшая величина изгибающего момента, а следовательно и нормального напряжения, получается для сечения, удаленного от свободного конца балки на максимальное расстояние $x=e$ (у места закрепления), где $M_{\max} = P \cdot e$.

Если в разных точках горизонтальной прямой линии, изображающей ось балки, отложить ординаты (вертикальные отрезки), пропорциональные величине соответствующего изгибающего момента, то, по соединении концов ординат между собой, получим прямую, которая явится диаграммой изменения изгибающих моментов по длине балки.

Если полая балка (лонжерон) работает на изгиб главным образом в одном направлении и материал ее обладает разным сопротивлением растяжению и сжатию (дерево), то площади поперечных

Нетрудно убедиться, что для любого сечения x величина изгибающего момента M_x равна величине площади диаграммы срезывающих сил, расположенной вправо от рассматриваемого сечения. Действительно, в равенстве $M_x = P \cdot x$ правая часть есть произведение основания x на высоту P прямоугольника (диаграмма II).

Консоль с равномерно-распределенной нагрузкой (рис. 13). Предположим, что на единицу длины балки приходится нагрузка p .

Срезывающая сила S_x или сумма всех сил, действующих на балку справа (или слева) от любого сечения x , равна $S_x = p \cdot x$ (диаграмма II). Для свободного конца балки, где $x=0$, срезывающая сила также равна 0, а для закрепленного сечения, где $x=e$, она равна $p \cdot e$. Диаграмма срезывающих сил изобразится прямой наклонной линией.

Для определения изгибающего момента в сечении x , берем момент равнодействующей всех внешних сил (равномерно-распределенная нагрузка), действующих справа от этого сечения. Имеем $M_x = p \cdot x \cdot \frac{x}{2}$ где $p \cdot x$ — нагрузка, а $\frac{x}{2}$ — плечо равнодействующей этой нагрузки относительно сечения x .

Определив изгибающие моменты для разных сечений балки, строим кривую изменения моментов (парабола). Максимальная величина изгибающего момента (для закрепленного сечения):

$$M_{\max} = \frac{p \cdot e^2}{2}$$

Как и в предыдущем случае (рис. 12), изгибающий момент по величине равен площади диаграммы срезывающих сил, расположенной вправо от рассматриваемого сечения. Действительно, правая часть равенства $M_x = \frac{p \cdot x^2}{2}$ есть произведение основания x на $\frac{1}{2}$ высоты $p \cdot x$ треугольника диаграммы II.

На рис. 18 показан простейший способ построения ветви параболы по данным: вершине A , оси (высоте) AO и крайней точке B . Основание AO и высоту AO делим на одинаковое число равных частей (например, четыре), и через точки деления проводим прямые, как указано на чертеже.

В случае, если балка имеет смешанную нагрузку, срезывающие силы и изгибающие моменты определяются отдельно для сосредоточенных грузов и распределенной нагрузки, после чего найденные величины суммируются.

Консольная балка равного сопротивления изгибу. Из выражения, определяющего изгибающий момент M_x для того или иного сечения равномерно-нагруженной консольной балки, следует, что этот момент увеличивается по мере приближения к закрепленному концу. Для достижения равнопрочности балки в любом ее сечении необходимо, чтобы указанное увеличение изгибающего момента сопровождалось параллельным увеличением и момента сопротивления W сечения балки, так, чтобы в каждом сечении напряжение при изгибе n , равное M/W , было бы постоянной величиной.

Одно из решений такой задачи, для консольной балки с равномерно-распределенной нагрузкой, дано на рис. 14. Балка имеет постоянную ширину a и переменную высоту u поперечного сечения. Последняя, для любого сечения балки, отстоящего от свободного конца на расстояние x , определяется по формуле:

$$u = x \sqrt{3 P / a \cdot e \cdot n},$$

где P — вся нагрузка балки, а n — допускаемое напряжение. При $x=e$, формула дает высоту u в закрепленном сечении балки:

$$u = \sqrt{3 P \cdot e / a \cdot n}.$$

(Продолжение следует).

Опыт сельского в настоя

приме
Имеется
ния, что
рике в
ду был
зован а
церн.,
на кс
ских
вел
х л о п
планта
дов и г
вредны
комых
ней ат
ческим
Гл
препят
исполь
самол
этих ц
ляется
димост
стройк
альны
ров дл
ливан
духе
порош
чающи
вания
больш
мично
дукти
безог
их при
Н
лива
1)
родин

При редакции журнала „САМОЛЕТ“ ОТКРЫТА КОНСУЛЬТАЦИЯ БЕСПЛАТНАЯ

для читателей „САМОЛЕТА“ по вопросам конструирования и постройки моделей самолетов, планеров, маломощных самолетов, воздушных змеев и т. д.

Прием лично по вторникам и пятницам от 3 1/2 до 4 1/2 час. Письменные запросы направлять в редакцию журнала „САМОЛЕТ“ (МОСКВА, Никольская, 17).

Запросы писать по каждому вопросу отдельно, четко и разборчиво, на одной стороне листа, оставляя достаточные поля. На оные вопросы ответы не даются. Ответы на запросы будут помещаться в журнале „С а м о л е т“.

АВИЭТКА ВНО ВВА КОНСТРУКЦИИ РАФАЭЛЬЯНЦА

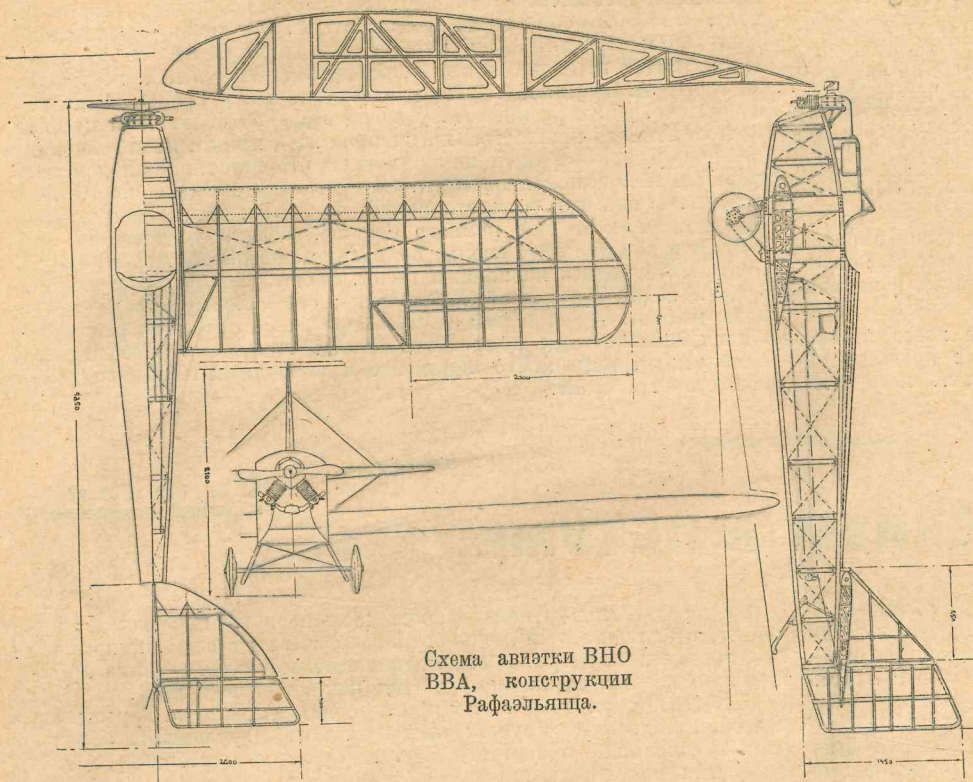
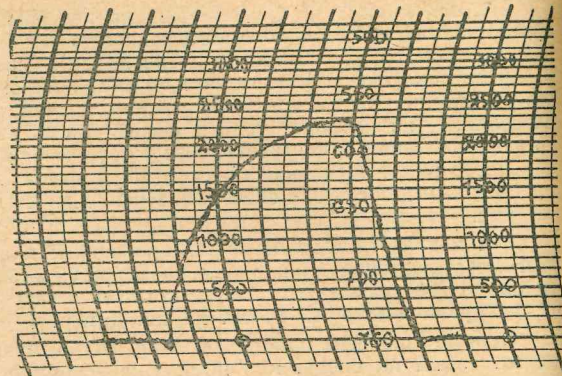


Схема авиэтки ВНО
ВВА, конструкции
Рафаэльянца.



Барограмма испытания авиэтки.

тания начаты были 7 сентября 1925 года и закончены к 23 марту 1926 года. Для наглядности характеристики авиэтки «РАФ. I», сравним ее с широко-известной английской авиэткой ДН. 53, также испытывавшейся у нас в 1925 году.

«РАФ. I». «Д. Н. 53»

Скорость горизонт. (макс.)	113,6 км. час.	102 км. час.
Потолок (по барограмме)	2.300 мт.	1.850 мт.
Вертикальн. скорость до 500 мт.	2,09 мт. сек.	2,09 мт. сек.
Вертикальн. скорость до 1000 мт.	1,1 мт. сек.	0,75 мт. сек.
Вертикальн. скорость до 1500 мт.	1,0	0,5 мт. сек.

Разбег при взлете (на лыжах)	12,2 сек и 130 мт.	16 сек., 120 мт. (на колесах)
Пробег при посадке (на лыжах)	6 сек., 60 мт.	18 сек., 62 мт. (на колесах)

Кроме того, нужно указать, что «РАФ. I» за 30 мин. забрала высоту в 1.750 мтр., тогда как на последних состязаниях авиэток в Англии (Джимские состязания) — английские авиэтки с моторами в два раза сильнее, а именно в 35 л. с. за 30 мин. забирали высоту в 1310 мтр. (макс.). «РАФ. I» за все время испытаний не потребовала никаких переделок и никакого ремонта, что указывает на ее конструктивные достоинства и полетные качества. В ближайшее время, при наступлении хорошей погоды, испытания «РАФ. I» будут производиться на дальние расстояния (перелет).

Не подлежит сомнению, что маломощная авиация имеет большое будущее и что в воздушном строительстве нашего союза ей предстоит сыграть большую роль. В СССР эта отрасль только что развивается, ей всего несколько лет, но и сейчас уже у нас есть ряд собственных конструкций маломощных самолетов (авиэток) заслуживающих серьезного к себе внимания. Таким образом, можно надеяться, что это дело у нас получило уже толчок вперед и будет развиваться в дальнейшем.

Одной из последних конструкций, показавших недюжинные качества является авиэтка ВНО ВВА конструкции слушателя Академии т. Рафаэльянца («РАФ. I»). Ее описание было уже помещено в журнале «Самолет» № 12 (26 г.) и посему мы коснемся здесь лишь результатов испытания привлекавших к ней большое внимание. Испы-

ПЛАНЕРИЗМ В МОСКВЕ

После состязаний в спорт-работе обычно всегда замечается затишье. Но настоящее затишье в Москве ненормально. К настоящему моменту, из нескольких десятков планерных кружков, насчитывавшихся в Москве в прошлом году, мы имеем всего лишь 3—4.

Кружковцы-строители, которым много твердили об учебном планеризме, как о средстве обучения полету, приехав в Феодосию и не получив даже возможности полетать, сделали вывод, что учебный планеризм «буза», что на учебном планере «АВФ—11» не только учиться, но и летать трудно.

Не видя других учебных планеров, кроме АВФ—11, об учебном планеризме возникает, действительно, очень неверное представление. Напрашивается вопрос: не выдумки ли этот учебный планеризм? А если это так, то зачем молодежи, видящей в планеризме возможность осуществления мечты выучиться летать заниматься планеризмом? Разве только для того, чтобы съездить в Феодосию?

Неумелое руководство Мосавиахима, благодаря которому Москва была на состязаниях последней, не разбирающиеся в элементарнейших вопросах авиации его работники, — вот причины охлаждения к планеризму.

И все же некоторые кружки (единицы), учитывая приближающийся сезон, поднимают вопрос о постройке планера. Но и тут, к сожалению, возникают задержки. Нет инструкторов-руководителей, нет материала, нет денег и, наконец, что самое главное, нет проектов.

Значит, строить нечего и не на что.

Чтобы поддержать жизнь, теплящуюся еще в тех 3—4-х круж-

ках, которые уже строили планеры, им отданы для ремонта 3 планера, наиболее сохранившиеся из тех многих, которые были отправлены из Феодосии обратно в Москву, но разбиты при перевозке.

Организация же постройки новых планеров откладывается, таким образом, до появления инструкторов и чертежей.

Спасти положение может неотложное пробуждение к разумной работе спорт-органов Мосавиахима.

В числе первоочередных работ стоит организация планерной станции. Планерная станция, здесь, на глазах у москвичей, первыми же полетами пробудит жизнь. Существование станции где-нибудь под Москвой и наглядные примеры полетов дадут уверенность каждому, что при известной затрате труда и энергии можно осуществить заветную мечту полетать, и что учебный планеризм не химера, а реальная возможность.

Центр не должен скупиться на отпуск денежных средств для постройки учебных планеров. Без материальной поддержки кружки не смогут заняться постройкой планеров, без которых нечего вообще устраивать станцию. Рассчитывать же на те планеры, которые ремонтируются в настоящее время, как на учебные, нельзя. Планер АВФ 20 тренировочный и слишком строгий в управлении; он предназначен к полетам под управлением уже опытных летчиков. Планер «Ц. Д.» тоже не приспособлен к учебным полетам. Единственная надежда на планер «Пегас».

Если перечисленное не будет выполнено и сейчас же не примутся соответствующие меры, то на учебном планеризме, по крайней мере в московском масштабе, можно будет в значительной мере поставить крест.

**ЗА ШИРМОЙ КОНФЕРЕНЦИЙ ПО РАЗОРУЖЕНИЮ
БУРЖУАЗИЯ ГОТОВИТСЯ К НОВЫМ КРОВАВЫМ
ВОЙНАМ.**