

Б. Ратц

**Аэронавигационное
оборудование самолета**

Часть 1

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
Б11

Б11 **Б. Ратц**
Аэронавигационное оборудование самолета: Часть 1 / Б. Ратц – М.: Книга
по Требованию, 2024. – 176 с.

ISBN 978-5-458-38449-0

Аэронавигационное оборудование самолета

ISBN 978-5-458-38449-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

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

Возможность отказа в работе прибора должна быть совершенно исключена при конструировании его, так как такой отказ может привести в иных случаях к непоправимым последствиям. В свете этого требования следует оценивать не только конструкцию, но и принцип действия прибора. Так например, электрические приборы, питающиеся током от самолетной сети, недостаточно надежны, так как если выбывает из строя источник питания (например в воздушном бою), все приборы сразу таюже выходят из строя.

Надежность работы авиационного прибора является необходимой еще и потому, что устранить неисправность прибора в полете почти невозможно. Более того, в полете не всегда можно даже определить причину неправильного показания прибора.

К сожалению, требованию надежности авиационные приборы в настоящее время не вполне удовлетворяют: случаи отказа хотя и редко, но бывают.

К внешним факторам, могущим привести к отказу прибора в полете, относятся: температура, влажность и вибрация; эти элементы необходимо всесторонне учитывать при выборе принципа действия и конструктивных особенностей того или иного прибора (о влиянии температуры, влажности и вибрации на работу приборов см. ниже).

Точность работы авиационного прибора в определенных допустимых пределах—это то требование, без выполнения которого прибор теряет свое значение.

Действительно, если ошибка прибора будет чрезмерной, то показания его могут ввести в заблуждение пилота (штурмана).

Это обстоятельство заставляет чрезвычайно жестко относиться к требованию точности работы приборов. Кроме большого числа внутренних факторов, влияющих на точность работы в так называемых нормальных условиях, ошибки в показаниях приборов вносят внешние факторы, указанные в п. «в» общих требований, а именно: температура, давление, влажность, вибрация, перегрузки, положение прибора.

При выборе принципа действия и конструкции прибора эти факторы должны быть всесторонне изучены, ибо, если не принята во внимание какая-либо, даже несущественная на первый взгляд, причина, прибор может работать неудовлетворительно.

В отношении точности работы значительная часть приборов составляет желать много лучшего (например указатели скорости, высотомеры, компасы). Неточная работа приборов объясняется, глав-

ным образом, незначительностью усилий, которые должен воспринимать и регистрировать прибор. Однако авиационное приборостроение, представляющее собой довольно молодую отрасль техники, сделало за последнее время громадные успехи, все время повышая точность работы приборов.

Посторонние внешние факторы, во-первых, не должны приводить к отказу в работе прибора, а во-вторых, ошибки, вызываемые ими, не должны выходить за пределы допустимых для данного прибора.

Рассмотрим эти внешние факторы.

1) Температура воздуха в условиях полета может изменяться в пределах от $+50^\circ$ до -60° (и даже до -65°). Обеспечить безотказную и точную работу прибора в таком диапазоне — задача чрезвычайно сложная. Некоторые приборы, применяющиеся сейчас на самолетах, отказывают в работе уже при -30° , -35° . При понижении температуры, во-первых, густеет смазка и, во-вторых, различно (непропорционально) изменяются размеры деталей прибора. Обе эти причины приводят сначала к увеличению ошибок, а затем и к отказу прибора.

При изготовлении прибора необходимо прежде всего, следовательно, подбирать материалы с одинаковыми коэффициентами теплового расширения, что не всегда возможно.

Что касается смазки, то в настоящее время ведутся работы по получению незамерзающих масел. Однако, независимо от этого конструкторы стараются изготавливать такие приборы и из таких материалов, где бы смазка почти или совсем не требовалась. Иногда идут по пути создания искусственного обогрева прибора электричеством.

Следует указать еще на то, что упругость пружин, применяемых в приборах в качестве чувствительных элементов, зависит от температуры. Изменение упругости пружин также сказывается на показаниях приборов. Ошибку, происходящую от этого, стараются компенсировать различными способами, но полной ее компенсации пока добиться не удалось.

2) Если чувствительный элемент прибора находится, кроме ряда других факторов, под воздействием статического давления воздуха, то показание прибора будет искажаться при изменении этого давления. Когда ошибка, происходящая от этого, невелика, то прибор не имеет специальной компенсации, если же ошибка превышает допустимые пределы, такая компенсация необходима.

3) Влажность воздуха оказывает двойное влияние на работу приборов:

во-первых, от влаги детали приборов могут корродировать; во избежание этого почти все детали приборов покрывают специальными антикоррозийными покрытиями;

во-вторых, от влаги при известных атмосферных условиях могут обледенеть некоторые агрегаты приборов, например трубки Пито, трубки Вентури, и возможен их отказ в работе.

Для борьбы с обледенением применяют специальные электрические обогреватели.

4) Вибрация на самолете всегда имеет место, причем, в зависимости от ряда факторов, частота и амплитуда вибрации могут колебаться в довольно широких пределах.

Условия вибрации, при которых может работать современный авиационный прибор, считаются нормальными, если амплитуда колебаний не превышает 0,1—0,15 мм при частотах до 3000 периодов в минуту. Отдельные приборы предъявляют в этом отношении более жесткие требования.

Если прибор подвергается вибрации, выходящей за пределы допустимых для него норм, то сначала он дает неверные показания (вследствие разрегулировки), а в дальнейшем очень скоро выходит из строя. Борьба с этим явлением идет, главным образом, по пути создания на самолете амортизационных установок для приборов, сводящих к минимуму вибрацию. Иногда амортизационные устройства несет сам прибор.

5) Различные ускорения самолета могут вызывать ошибки в показаниях прибора, действуя на вращающиеся детали или узлы его. Большей частью эти ошибки незначительны, но в некоторых конструкциях приборов они достигают значительной величины; в этом случае необходимо предусматривать какую-либо компенсацию влияния ускорений; влияние линейных ускорений можно компенсировать сбалансированностью деталей прибора.

6) Наконец на показания прибора может оказывать влияние его положение. Так как самолет, а с ним и прибор, могут принимать всевозможные положения в воздухе, то необходимо предусматривать компенсацию влияния этого явления, заключающуюся обычно в сбалансированности деталей и узлов прибора.

Простота эксплуатации прибора должна заключаться, во-первых, в простоте пользования им в полете, а во-вторых, в простоте ухода за прибором. Первое имеет большое значение

для пилота и особенно штурмана, если принять во внимание довольно значительное и все растущее количество приборов, за которыми необходимо наблюдать в полете. Создавая прибор, нужно стремиться к тому, чтобы пользование им по возможности было наглядным и не требовало никаких манипуляций ни до полета, ни в полете. Отсюда вытекает стремление к автоматизации приборов; однако это стремление должно укладываться в разумные рамки, так как автоматизация обычно связана с резким увеличением габаритов и весов приборов, а также снижает надежность их работы.

Уход за прибором должен сводиться только к периодическим поверкам его, причем чем реже они необходимы, тем, конечно, лучше. К сожалению, многие приборы, как при пользовании ими в полете, так и при уходе за ними на земле, в отношении простоты обращения оставляют еще желать много лучшего. Так например, автопилоты требуют в полете довольно значительного внимания, а на земле — очень квалифицированного ухода и частого осмотра.

Требование небольших весов и габаритов для авиационных приборов вполне понятно и в объяснении не нуждается. Оно удовлетворяется применением специальных легких материалов (алюминий, силумин и др.) и рациональной конструкцией.

3. ОШИБКИ ПРИБОРОВ

Так как авиационные приборы обладают довольно значительным количеством ошибок, то задача предприятия, сконструировавшего прибор, — свести всю сумму ошибок данного прибора к минимуму. В разрешении этой задачи должны принимать участие как конструктор, так и производственники. В дальнейшем, при эксплуатации прибора на самолете, эксплуатационники путем профилактических мер не должны допускать увеличения ошибок прибора.

Если же с течением времени прибор способен накопить ошибку, выходящую за допустимые пределы, то он должен поддаваться регулировке, уменьшающей эту ошибку.

Ошибки всякого авиационного прибора можно разбить на две группы: ошибки методические и инструментальные.

Ошибками методическими называются те ошибки, которые обусловлены методом измерения, положенным в основу принципа действия данного прибора.

Например, барометрический высотомер измеряет в полете давление воздуха, связанное с высотой некоторой функциональной зависимостью:

$$p_H = f(H, p_0, t_0, t_H).$$

Здесь p_0 и t_0 — давление и температура у земли,
 p_H и t_H — давление и температура на высоте H .

Если заранее обусловлено, что высотомер не имеет специального устройства, учитывающего в полете различные изменения t_0 и t_H , а принимает их для данной высоты постоянными, то этим самым конструкция уже «обречена» на наличие постоянной ошибки. Величина этой ошибки зависит от того, насколько расходятся фактические условия температуры с условиями, принятыми в основной расчетной формуле прибора. Совершенно понятно, что определить заранее величину такой ошибки невозможно.

Если пределы возможных методических ошибок для данного прибора невелики и укладываются в допустимые, их обычно не учитывают. Если же ошибки велики, их необходимо учитывать, пользуясь каким-либо счетным приспособлением или графиком.

Методическая ошибка — самая неприятная для пилота (штурмана), ибо учет ее связан обычно с некоторыми вычислениями, производить которые в условиях полета неудобно. Методическая ошибка очень неприятна еще и потому, что ни у конструктора, ни у производственника, ни тем более у эксплуатационника нет никакой надежды на то, что они смогут избавиться от этой ошибки путем более тщательного изготовления прибора или доработки конструкции: как бы идеально тщательно ни был изготовлен и отрегулирован прибор, методическая ошибка от этого не уменьшится.

Для уменьшения или уничтожения методической ошибки необходимо внести в конструкцию добавочные механизмы, автоматически учитывающие возможное изменение величин, входящих в формулу зависимости измеряемой величины.

В последнее время в этом направлении сделаны определенные успехи, но все же некоторые приборы имеют пока методические ошибки, которые учитываются в полете с помощью вычислительных инструментов или графиков.

Ошибками инструментальными мы называем ошибки, обусловленные качеством материалов, из которых изготовлен прибор, неточностью изготовления деталей, качеством сборки отдельных узлов и всего прибора в целом.

Принципиальное отличие инструментальных ошибок от методических заключается в том, что хотя некоторые из них и зависят от изменения внешних факторов (температуры, вибрации), но при при-

менении улучшенных материалов, при улучшенной технологии и т. п. они могут уменьшаться, и теоретически нельзя поставить предела их уменьшению (за исключением ошибок трения), т. е. при известных условиях производства и на определенном уровне состояния техники они могли бы быть практически сведены к нулю.

Это не значит, однако, что в настоящее время нет таких инструментальных ошибок, борьба с которыми не представляет затруднений. Они есть, но борьба с ними ведется довольно успешно.

Инструментальные ошибки подразделяются на: шкаловые (ошибки регулировки); ошибки трения (затираие, застой); люфты; гистерезис и упругое последствие; температурные ошибки; ошибки от вибрации; ошибки от ускорений и наклонов; ошибки от негерметичности; параллакс.

Шкаловые ошибки являются результатом неточного нанесения делений на шкалу прибора. Если прибор имеет неравномерную шкалу, то деления этой шкалы наносятся под стрелкой отрегулированного прибора — для каждого прибора отдельно. Равномерная шкала изготавливается в серии, а каждый прибор регулируют под готовую шкалу так, чтобы он имел минимальную ошибку.

Таким образом шкаловая ошибка является результатом неточного нанесения делений шкалы или неточности регулировки. Последнее обстоятельство делает шкаловую ошибку величиной переменной, требующей с течением времени периодического определения.

Ошибки трения зависят от трения в осях, цапфах, подшипниках и вообще в соприкасающихся при движении деталях прибора.

Стрелка или индекс прибора фиксируется в определенном положении в тот момент, когда между измеряемой силой, и силой, ей противодействующей, наступает равновесие. В качестве противодействующей силы в приборах обычно применяют пружины, деформацию которых используют для передвижения стрелки по шкале. Если бы не было трений, то сила противодействующая всегда была бы равна силе измеряемой, и стрелка прибора точно отмечала бы измеряемую величину. При наличии же трений равновесие наступает, очевидно, в тот момент, когда измеряемая сила уравнивается суммой противодействующей силы пружины и сил трения.

Таким образом стрелка прибора никогда не будет доходить до того положения равновесия, которое было бы при отсутствии трений; эта ошибка прибора называется *з а с т о е м е г о*. Борьба с этой ошибкой можно, очевидно, путем тщательного изготовления всех

трущихся деталей, но так как трение уничтожить полностью невозможно, то и ошибка эта всегда останется.

К ошибкам трения относятся обычно также и затирания прибора, происходящие от наличия на трущихся деталях царапин, заусениц, забоин и т. п. Затирания проявляются в скачкообразном движении стрелки при изменении измеряемой величины; затирания в приборах недопустимы.

На самолете ошибки трения обычно сводятся почти к нулю всегда имеющей место вибрацией. В лабораторных условиях ошибки трения обнаруживают двукратным отсчетом показания прибора при постоянной величине измеряемой силы: до и после постукивания по прибору. Отсутствие затираний прибора характеризуется плавным ходом стрелки при плавном изменении измеряемой величины.

Люфты в механизме прибора имеются всегда, так как невозможно изготовить прибор так, чтобы все детали были хорошо пригнаны. Иногда наличие люфта диктуется условиями работы прибора; например, если не дать люфта при нормальной температуре, то при понижении температуры деталь может оказаться зажатой и отказаться в работе. Для устранения люфтов применяются выбирающие их волоски или компенсационные пластинчатые пружины (в гироскопических приборах). Если при повторном постукивании прибор дает разные показания, значит в нем имеется люфт. В гироскопических приборах наличие люфта проверяется специальными способами.

Явление гистерезиса и упругого последедействия заключается в том, что величины деформации пружин могут быть неодинаковы при возрастании и уменьшении нагрузки (при одном и том же значении нагрузки). Это отступление от закона Гука хотя и невелико, но имеет место во всех авиационных приборах. Как показывает опыт, расхождение показаний зависит от величины нагрузки, продолжительности пребывания пружины под нагрузкой, а также скорости приложения и снятия нагрузки.

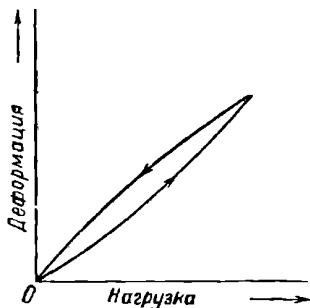
Та часть деформации, которая зависит только от величины нагрузки, называется гистерезисом. Графически гистерезис изображен на фиг. 1. Эта петля, являясь циклично замкнутой, не зависит от характера приложения нагрузки и от числа следующих друг за другом циклов «нагрузка—разгрузка».

Та часть деформации, которая зависит от скорости приложения нагрузки и времени ее действия, называется упругим последствием. Графически она изображена на фиг. 2.

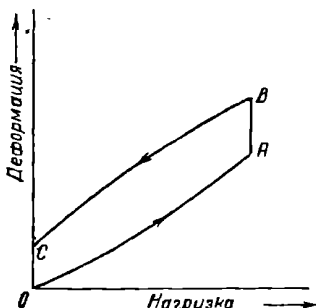
Из фигуры видно, что деформация пружины имеет место при постоянной нагрузке (прямые AB и CO графика).

На практике отделить гистерезис от упругого последействия невозможно, так как гистерезис покрывается петлей упругого последействия.

Борьба с гистерезисом трудна, потому что явление это теоретически не изучено. Однако в последнее время практически найдены материалы и выработана технология изготовления пружин, сильно уменьшающие ошибки гистерезиса.



Фиг. 1. График гистерезиса.



Фиг. 2. График упругого последействия и гистерезиса.

Определить гистерезис чувствительного элемента прибора на практике, как разность его ошибок при увеличении и уменьшении показаний, т. е. нагрузки, нельзя, так как при этом в разность войдут и другие ошибки: трения люфтов и т. п. Однако до известной степени такая разность показаний прибора будет характеризовать гистерезис и упругое последействие.

Температурные ошибки (здесь идет речь об инструментальных температурных ошибках, которые нужно отличать от методических температурных ошибок) являются результатом двух причин:

а) Непропорционального изменения размеров деталей с изменением температуры в зависимости от коэффициентов теплового расширения; это явление приводит, во-первых, к изменению передаточного числа прибора вследствие изменения длин рычагов, поводков и т. п., а значит, к ошибке и, во-вторых, к изменению трения между движущимися деталями, особенно при наличии смазки, т. е. опять к ошибке. Здесь борьба ведется путем подбора материалов, тщательностью сборки и т. п.

б) Изменения упругости пружин от изменения температуры; эта ошибка по своей величине значительно больше ошибки от непропор-

ционального изменения размеров деталей прибора и аналитически может быть выражена следующим образом:

$$m = \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dt}.$$

Здесь m — температурный коэффициент изменения модуля упругости E ;

E_0 — модуль упругости материала при 0°C ;

$\frac{dE}{dt}$ — изменение модуля упругости;

E — модуль упругости при температуре t .

Так как с понижением температуры упругость материала пружины повышается, то показания приборов будут преуменьшены.

Температурные ошибки пружин компенсируются в приборах применением специальных биметаллических пластинок, однако до нуля эти ошибки на практике довести не удается.

В последнее время для избежания температурных ошибок заводы применяют в некоторых приборах пружины из сплава элинвар, обладающего почти постоянным модулем упругости, не зависящим от изменения температуры (в пределах температур от $+50$ до -60°).

В и б р а ц и я с т р е л к и появляется в том случае, если недостаточно натяжение волоска или не уравновешены детали конструкции. Вибрация стрелки — явление сравнительно редкое, и получается оно в результате либо плохой конструкции, либо небрежности производства.

О ш и б к и о т у с к о р е н и й с а м о л е т а и н а к л о н о в п р и б о р о в возможны, как было указано в предыдущем параграфе, в том случае, если не уравновешены некоторые детали прибора. Если же все детали сбалансированы около своих осей, то точка приложения сил инерции, или сил тяжести, оказывается на оси, в результате чего может несколько увеличиться трение, но поворота детали около оси не произойдет.

О ш и б к и о т н е г е р м е т и ч н о с т и возможны в тех приборах, где герметичность корпуса прибора является необходимым условием правильной работы его. Негерметичность получается только из-за небрежной конструкции или небрежности производства.

П а р а л л а к с о м называется явление, имеющее место в том случае, когда показания прибора отсчитывают сбоку, а не прямо против него. При одних и тех же углах визирования прибора параллакс будет тем больше, чем дальше отстоит стрелка прибора от шкалы.

Поэтому расстояние между стрелкой и шкалой необходимо делать минимальным.

Некоторые из перечисленных инструментальных ошибок, остающиеся после всех исправлений и регулировок, могут быть в полете учтены, остальные остаются неучтенными. В дальнейшем изложении мы будем указывать для каждого прибора в отдельности, поддаются ли учету его ошибки, какие именно и каким способом. Вообще же для определения инструментальных ошибок прибора его поверяют на специальной установке в лабораторных условиях. От того, насколько близко данная установка учитывает все действительные условия работы прибора, зависит качество поверки, т. е. достоверность полученных результатов.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПАСОВ

Курсом самолета называется угол, заключенный между плоскостью меридиана и плоскостью симметрии самолета.

Выше мы уже говорили, что для измерения и сохранения курса в полете служит компас. Знать курс самолета нужно, во-первых, при перелете из одного пункта в другой, а во-вторых, при необходимости сохранить постоянное направление полета более или менее продолжительное время.

Первое относится к области аэронавигации, второе — к области пилотирования.

Таким образом компас является навигационно-пилотажным прибором.

В настоящее время разработано много различных конструкций авиационных компасов, основанных на разных принципах действия.

Более широкое применение нашли в авиации следующие компасы: а) магнитные, б) гироскопические, в) гиромагнитные, г) радиокомпасы, д) солнечные компасы.

Ведутся работы по созданию удовлетворительного типа компаса, основанного на других принципах, но вследствие либо громоздкости, либо ненадежности, компасы эти широкого распространения пока не получили. К ним относятся: а) индукционный компас, б) телекомпас, в) катодноручевой компас и другие.

Такое большое число типов компасов объясняется, как это ни парадоксально, тем, что ни один из них пока полностью не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ним аэронавигацией и пилотированием и условиями их работы на самолете.