

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВИАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ

Г.Н.Шарипов

Ташкентский государственный технический университет им.Ислама Каримова, Ташкент,
Узбекистан

Н.М. Тураева

Узбекский государственный университет физической культуры и спорта

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7442819>

Аннотация. *Метрологическая надежность, являющаяся характеристикой качества систем измерения, определяет их свойство сохранять во времени метрологические характеристики в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах и условиях использования, техническом обслуживании, хранении и транспортировании. Следовательно, метрологическая надёжность определяется характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик систем измерения. Разработка методов оценки и повышения метрологической надёжности авиационных приборов на этапе проектирования с учетом температурных режимов эксплуатации является актуальной задачей, решение которой позволит вносить требуемый уровень метрологической надёжности в технические требования при проектировании авиационных приборов и достигать его уже при их проектировании, оценивать показатели метрологической надёжности в произвольные моменты времени эксплуатации, рекомендовать длительность межповерочных интервалов и сроки профилактических работ, принять меры по предупреждению метрологических отказов, и в целом, повысить качество проектируемых авиационных приборов.*

Ключевые слова: *метрологические характеристики, авиационные приборы, погрешность, чувствительность.*

METHODS FOR EVALUATION AND PREDICTION OF THE STATE OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF AIRCRAFT INSTRUMENTS

Abstract. *Metrological reliability, which is a characteristic of the quality of measurement systems, determines their ability to maintain metrological characteristics over time within the established standards during operation in specified modes and conditions of use, maintenance, storage and transportation. Consequently, metrological reliability is determined by the nature and rate of change in the normalized metrological characteristics of measurement systems. The development of methods for assessing and improving the metrological reliability of aviation instruments at the design stage, taking into account the temperature conditions of operation, is an urgent task, the solution of which will make it possible to introduce the required level of metrological reliability into the technical requirements for the design of aircraft instruments and achieve it already during their design, evaluate metrological reliability indicators at arbitrary times operating time, recommend the duration of calibration intervals and the timing of preventive maintenance, take measures to prevent metrological failures, and in general, improve the quality of the designed aviation instruments.*

Keywords: *metrological characteristics, aviation instruments, error, sensitivity.*

ВВЕДЕНИЕ

Оценка пригодности средств измерений для решения тех или иных измерительных задач проводится путем рассмотрения их метрологических характеристик (МХ). К МХ относятся те, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. Метрологическая характеристика – характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и его погрешность. МХ позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью. МХ, устанавливаемые нормативными документами на СИ, называют нормируемыми метрологическими характеристиками, а определяемые экспериментально – действительными. Метрологические характеристики позволяют: - произвести расчет погрешностей измерений, то есть установить точность измерений до проведения самих измерений; - обеспечить выбор нужного средства измерений по точности и другим метрологическим характеристикам; - обеспечить взаимозаменяемость средств измерений; - определить погрешность систем измерения по метрологическим характеристикам средств измерений, входящих в них; - оценить техническое состояние средств измерений при поверке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для каждого типа СИ устанавливаются свои МХ. Рис.1.



Рис.1. Метрологические характеристики средств измерений

Современные высокоточные системы навигации базируются на использовании инерциальных навигационных систем, которые могут быть дополнены как системами спутниковой коррекции, так и системами навигации по геофизическим полям Земли [3].

Выделяют несколько групп метрологических характеристик авиационных приборов.

1. Характеристики средств измерений, предназначенные для определения результатов измерений:

- цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Это величина обратная чувствительности;

- вид выходного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом виде;

- диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ. Для мер это их номинальное значение, для преобразователей — диапазон преобразования. Различают нижний и верхний пределы измерений, которые выражаются значениями величины, ограничивающими диапазон измерений снизу и сверху;

- разрешающая способность – наименьшее различимое изменение измеряемой величины.

Имеет размерность измеряемой величины, определяется уровнем внутренних шумов и нестабильностью элементов, у цифровых приборов равна цене единицы младшего разряда;

- Функция преобразования средства измерения (градуировочная характеристика, уравнение преобразования) – зависимость между выходным сигналом средства измерения y и его входным сигналом x . Она может быть представлена аналитически, графически или в виде таблиц. Она связывает конструктивные параметры средства измерения с величинами x и y . Зависимость выходной величины средства измерений от входной в установившемся режиме работы называется статической характеристикой. Для приборов наилучшей является линейная статическая характеристика $y = kx + a$, где a – постоянная; k – передаточный коэффициент, причем среди линейных статических характеристик более предпочтительны характеристики, для которых $a = 0$, т.е. $y=kx$. Самой желательной статической характеристикой прибора является $y=x$, получаемая при коэффициенте передачи $k = 1$. В этом случае искомое значение физической величины отсчитывают непосредственно по шкале прибора.

2. Характеристики погрешностей средств измерений. С их помощью обеспечивается контроль за качеством работы средств измерений, гарантируется точность (достоверность) результатов измерений.

Погрешность СИ – разность между показаниями СИ и истинными (действительными) значениями ФВ. Погрешности являются характеристиками стабильности параметров преобразования в нормальных условиях эксплуатации средств измерений. Предусматривается разделение погрешностей на систематические и случайные погрешности и нормирование как пределов допускаемых погрешностей, так и пределов СКО указанных составляющих.

3. Характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам (температура, влажность, давление) и неинформативным параметрам. Неинформативным называется параметр входного сигнала средства измерения, не связанный функционально с измеряемым параметром. По условиям применения СИ различают нормальные и рабочие условия. Нормальные – условия, для которых нормируются основные погрешности средств измерений. При этом влияющие величины и неинформативные параметры входного сигнала имеют нормальные значения.

К характеристикам чувствительности относятся: • Функция влияния – зависимость изменения метрологической характеристики от изменения влияющей величины или неинформативного параметра входного сигнала в пределах рабочих условий

эксплуатации. Она может задаваться в виде формулы, графика, таблицы; • Чувствительность – определяется из уравнения преобразования $S = \Delta y / \Delta x$ и представляет собой отношение изменения сигнала на выходе прибора Δy к вызывающему его изменению сигнала на входе прибора Δx .

Для стрелочных приборов имеет вид

$$S = dy/dx,$$

где dl – перемещение конца стрелки, dx - изменение измеряемой величины.

Для равномерных шкал

$$S = S_{\text{н\delta}} = \text{const},$$

$$S_{\text{н\delta}} = l/x_N,$$

где l – длина шкалы, x_N - диапазон измерений.

Для неравномерных шкал чувствительность – величина переменная, характеризуется коэффициентом неравномерности шкалы – отношением максимальной чувствительности S^{max} к минимальной S^{min} :

$$J = S^{\text{max}} / S^{\text{min}}$$

Чувствительность является мерой, при помощи которой сравнивают приборы для измерения одинаковых физических величин (чем выше чувствительность, тем прибор лучше). Величину, обратную чувствительности, называют постоянной прибора $C = 1/S$. Она равна цене деления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

- **Порог чувствительности** – изменение входного сигнала, вызывающее наименьшее изменение выходного сигнала, которое может быть обнаружено наблюдателем.

- **Вариация** (гистерезис) – разность между показаниями средства измерений в данной точке диапазона измерения при возрастании и убывании измерений.

4. Динамические характеристики средств измерений. Отражают инерционные свойства средств измерения. Позволяют по данным о входном сигнале рассчитать динамические составляющие погрешностей результата измерений (полные динамические характеристики), либо определить допустимость использования данного средства измерения (частные характеристики). К полным динамическим характеристикам относятся:

- Дифференциальное уравнение, решение которого позволяет оценивать динамическую погрешность и получить исправленный результат измерений, если известны его коэффициенты.

- Передаточная функция $K(p) = y(p)/x(p)$ – отношение изображения выходной величины динамической системы $y(p)$ к изображению входной величины $x(p)$.

- Переходная характеристика – отклик средства измерения на ступенчатое возмущение единичной высоты.

- Импульсная переходная характеристика - реакция средства измерения на воздействие дельта - функции.

К частным динамическим характеристикам относятся время реакции, постоянная времени, амплитудно-частотная характеристика и другие.

Стабильность СИ — качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик.

Нормирование метрологических характеристик. Метрологические характеристики, присущие данному средству измерений, определяются только в случае образцовых средств измерений. Для рабочих СИ информация об их метрологических характеристиках содержится в нормах, которые устанавливаются в нормативно-технических документах для совокупности приборов данного типа.

СИ можно использовать только тогда, когда известны их МХ. Обычно указываются номинальные значения параметров средств измерений и допускаемые отклонения от них. Как правило, реальные метрологические характеристики имеют отклонения от их номинальных значений. Поэтому устанавливают границы для отклонений реальных метрологических характеристик от номинальных значений — нормируют их. Нормирование МХ СИ позволяет избежать произвольного установления их характеристик разработчиками и делает эти средства взаимозаменяемыми.

К НМХ относят также номинальное значение однозначной меры, характеристики систематической и случайной составляющих погрешности средства измерений, вид выходного кода, область рабочих частот, быстродействие, надежность средств измерений и пр. Для средств измерений устанавливаются нормальные и рабочие условия применения.

Нормальные условия: температура воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$, атмосферное давление $(100 \pm 4)\text{кПа}$, напряжение питающей сети $(220 \pm 4)\text{В}$, частота питающей сети $(50 \pm 1)\text{Гц}$. Рабочие условия характеризуются рабочей областью значений влияющих величин (7 групп), например, температура для различных групп лежит в пределах $(+10 \dots -70)^\circ\text{C}$.

Для средств измерений отдельно нормируется погрешность в нормальных условиях применения (основная) и погрешности (дополнительные), имеющие место при выходе влияющих величин за пределы нормальной области, но остающихся в пределах рабочей области. Дополнительная погрешность имеет такой же вид, что и основная (абсолютная, приведенная, относительная). Дополнительные погрешности, вызванные различными влияющими факторами, должны нормироваться раздельно.

В общем виде суммарная абсолютная погрешность СИ при влияющих факторах

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_0 + \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2},$$

где Δ_0 — основная погрешность СИ, Δ_i — дополнительная погрешность, вызванная изменением i — го влияющего фактора.

Нормирование погрешностей СИ. Одной из важнейших метрологических характеристик СИ является их погрешность, знание которой необходимо для оценивания погрешности измерения.

Кроме погрешности СИ суммарную погрешность составляют также погрешности метода измерений и оператора, проводящего измерения.

Погрешности СИ могут быть обусловлены различными причинами. Погрешности конкретных экземпляров средств измерений устанавливают только для эталонов. Для

остальных средств измерений вся информация об их погрешностях представляет собой те нормы, которые для них установлены.

В основе нормирования погрешностей СИ лежат следующие основные положения:

1. В качестве норм указывают пределы допускаемых погрешностей, включающие в себя систематические и случайные составляющие. Под **пределом допускаемой погрешности** понимается наибольшее значение погрешности СИ, при котором оно еще признается годным к применению. Данная норма отражает то положение, что средства измерений можно применять с однократным считыванием показаний.

2. Порознь нормируют все свойства СИ, влияющие на их точность: отдельно нормируют основную погрешность, по отдельности – все дополнительные погрешности и другие свойства, влияющие на точность измерений. При выполнении данного требования обеспечивается максимальная однородность средств измерений одного типа, то есть близкие значения дополнительных погрешностей, обусловленных одними и теми же факторами. Это дает возможность заменять один прибор другим однотипным без возможного увеличения суммарной погрешности.

Пределы допускаемых погрешностей средств измерения применяются для абсолютной, относительной погрешности и приведенной погрешностей. В зависимости от вида взаимодействия с входным сигналом они могут быть аддитивными и мультипликативными.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности выражаются следующим образом:

1. При чисто аддитивной погрешности полоса погрешностей остается неизменной для любых значений измеряемой величины x

$$\Delta = \pm a.$$

2. При мультипликативной погрешности полоса погрешности увеличивается в зависимости от x

$$\Delta = \pm bx.$$

3. При одновременном присутствии аддитивной и мультипликативной составляющих полоса погрешностей имеет трапецеидальную форму. Текущее значение абсолютной погрешности Δ в функции измеряемой величины x описывается соотношением

$$\Delta = \pm (a + bx),$$

где x – показание измерительного прибора, a и b – положительные числа, не зависящие от x .

4. В виде функции $\Delta = f(x)$, графика, таблицы при неравномерном изменении погрешности в зависимости от входного сигнала. Выражается в абсолютных единицах физической величины.

Если мультипликативная погрешность преобладает над аддитивной, то нормируется предел допускаемой относительной погрешности, так как последняя (относительная погрешность) будет постоянной по диапазону измерений и выражается одним числом

$$\delta = \Delta / x = \pm q,$$

где q – отвлеченное положительное число.

Для аддитивной и мультипликативной погрешности формула имеет вид:

$$\delta = \Delta/x = \pm \left[c + d \left(\frac{x_i}{x} - 1 \right) \right],$$

где xk — конечное значение диапазона измерений прибора; c и d - относительные величины.

Первое слагаемое в этой формуле имеет смысл относительной погрешности при $x = xk$, второе — характеризует рост относительной погрешности при уменьшении показаний прибора.

Пределы допускаемой приведенной погрешности (в процентах) следует устанавливать по формуле

$$\gamma = 100\Delta / x_N = \pm p$$

где x_N – нормирующее значение; p - отвлеченное положительное число из ряда 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6, умноженное на 10^n ($n = 1, 0, -1, -2$ и так далее)

Нормирующее значение принимается равным:

- конечному значению рабочей части шкалы $x_N = xk$, когда нулевая отметка находится на краю или вне рабочей части шкалы (равномерная шкала);

- арифметической сумме значений рабочей части шкалы, когда нулевая отметка находится внутри шкалы;

- длине шкалы, если она существенно неравномерна. В этом случае, поскольку длина выражается в миллиметрах, то абсолютную погрешность надо выражать также в миллиметрах;

- номинальному значению x , если средство измерений предназначено для измерений отклонения измеряемой величины от номинального значения.

Все перечисленные причины появления погрешностей приводят к тому, что многократно снятые характеристики прибора или серии однотипных приборов занимают на графике некоторую полосу - полосу погрешностей. Некоторая детерминированная средняя линия этой полосы принимается за номинальную характеристику прибора, указывается в паспорте и используется для определения результатов измерения. Отсюда погрешность данного измерительного прибора есть разность между реальной и номинальной его характеристикой, то есть не число, а функция измеряемой величины.

Оценка достоверности результата измерений, то есть определение погрешности измерений – одна из основных задач метрологии. Это одно из важных мероприятий по обеспечению единства измерений. Не располагая информацией о значении и характере погрешности Δ , измерение нельзя считать достоверным.

В подобных условиях возникает необходимость интеграции аэронавигационных составляющих различных систем, которая позволит обеспечивать функционирование автоматизированных систем управления, улучшать мобильное реагирование на изменение обстановки, достигать функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета [4].

Любые измерения приобретают какую-то значимость лишь тогда, когда их результатам можно доверять. Измерения проводят с различными целями:

- для наблюдения за количественными и качественными изменениями объекта измерений;

- когда необходимо удостовериться в том, что производимая продукция соответствует заданным качественным и количественным свойствам (признакам);

- для определения неизвестных свойств объекта измерений.

Оценка параметра – относительная истина, с увеличением числа измерений она приближается к абсолютной. В соответствии с этим из основной задачи вытекают две другие, подчиненные ей, задачи [8]:

Первая – установление способов получения оценок, обеспечивающих наилучшее приближение к истинным параметрам генеральной совокупности;

Вторая – апостериорное оценивание достигнутой точности приближения (оценивание дисперсии оценки). Такая задача наз. прямой. Обратная ей – определение необходимой точности измерений для обеспечения заданной точности оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В любом случае главным в результате измерения всегда остается оценка истинного значения физической величины (действительное значение) *х_{ист}*. Истинное значение *х_{ист}* рассматривается как идеальная в качественном и количественном отношении характеристика данной физической величины. Истинное значение величины неизвестно, и его применяют только в теоретических исследованиях. Какими бы точными не были средства и методы измерений, как бы тщательно измерения не выполнялись, их результат всегда отличается от истинного значения измеряемой величины, то есть определяется с некоторой погрешностью Δ . В общем случае задача контроля метрологических характеристик (МХ) средств измерений в процессе их эксплуатации на основе применения групповой оценки сводится к формированию группы однородных по назначению средств измерений (СИ). Применение СИ в качестве средства контроля МХ возможно, если будет обеспечена погрешность, меньшая погрешности каждого СИ, входящего в группу СИ (групповое СИ), достаточная надежность, небольшие габариты и масса, умеренная стоимость, оперативность применения.

REFERENCES

1. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
2. Вестник КГУ, 2017. № 2
3. D.E.Eshmuradov, N.M.Turaeva, T.D. Elmuradov «Methods of Presentation of Aeronautical Information» Design Engineering, ISSN: 0011-9342 | Year 2021 Issue: 8 | Pages: 12173-12181.
4. Эшмурадов Д. Э., Элмурадов Т. Д., Тураева Н. М. Автоматизация обработки аэронавигационной информации на основе многоагентных технологий //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2022. – Т. 25. – №. 1. – С. 65-76.
5. В. А. ПРИЛЕПСКИЙ АВИАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ. Издательство Самарского университета, 2016г., 22 с.
6. В. С. Пышнов. Основные этапы развития самолета. М.: «Машиностроение», 1984. — 94 с.
7. 9. Сытин, Л.Е. Все об авиации / Л.Е. Сытин. - М.: Астрель, 2016. - 884 с.

8. А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря Метрология, стандартизация, сертификация. М.:Логос, 2003 -в нем глава 4.Метрологическая надежность средств измерений. 150 с.