

УДК 629.7.054.07

## Методика оценки альтиметров по критерию обобщенной эффективности

Говако А. С. ✉, Погорелов А. А.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация

<sup>2</sup> Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

**Постановка задачи:** необходимость использования альтиметров для измерения высоты при малой эффективности и дороговизне известных методик оценки требует разработки новой методики для выявления преимуществ, недостатков и особенностей эксплуатации каждой модели. **Целью работы** является проведение сравнительного анализа четырех альтиметров по критерию обобщенной эффективности, складывающемуся из следующих параметров: цена, диапазон рабочих температур, максимальная рабочая высота, относительная погрешность измерений, вес и потребляемая мощность. **Используемые методы:** сравнение альтиметров при помощи критерия обобщенной эффективности. **Результат:** использование представленной методики оценки альтиметров выявило особенности каждой модели, что позволило представить рекомендации по применению их в конкретных условиях. Элементами **новизны** представленного решения является использование критерия обобщенной эффективности для оценки альтиметров. **Теоретическая/Практическая значимость:** результаты сравнительного анализа предлагается использовать при определении модели альтиметра для применения на различных видах самолетов, различной максимальной высоте полета. Методика оценки по критерию обобщенной эффективности позволит принимать решения о покупке любых выбранных для исследования электронных приборов, проводить по ним сравнительный анализ, определять достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** альтиметр, критерий обобщенной эффективности, бортовая аппаратура, сравнительная оценка

### Актуальность исследования

Альтиметры являются важной составляющей современной бортовой аппаратуры самолета. Правильное измерение и контроль высоты — залог безопасности полета, поэтому на современном летательном аппарате средства, измеряющие высоту полета, часто дублируются, а отказ хотя бы одного из этих приборов расценивается как предпосылка к летному происшествию [1].

Помимо авиации альтиметры используются в геодезии (при проведении геодезических работ и создании карт местности), в сельском хозяйстве (для оценки и контроля уровня воды в поливных системах), а также в альпинизме (для определения точной высоты и контроля изменений при вертикальном перемещении).

Актуальность сравнения альтиметров обусловлена необходимостью выбора из всего разнообразия моделей оптимального устройства для различных целей и условий использования, возможного улучшения характеристик и отслеживания новых технологий и инноваций.

### Библиографическая ссылка на статью:

Говако А. С., Погорелов А. А. Методика оценки альтиметров по критерию обобщенной эффективности // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 2. С. 3. EDN: ZCZYUO

### Reference for citation:

Govako A., Pogorelov A. Methodology for Measuring Altimeters according to the Criterion Generalized Effectiveness // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 2. P. 3. EDN: ZCZYUO

## Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью сравнительного анализа альтиметров были определены основные задачи настоящего исследования:

1. Поиск в Интернете и выбор моделей альтиметров для сравнения.
2. Определение сравниваемых характеристик и сбор информации по ним.
3. Расчет критерия эффективности каждой выбранной характеристики, критерия обобщенной эффективности и определение коэффициентов важности.
4. Анализ полученных результатов.

## Методика сравнения альтиметров при помощи критерия обобщенной эффективности

Методика сравнения альтиметров при помощи критерия обобщенной эффективности представляет собой комплексный подход, который позволяет оценить и сравнить характеристики и эффективность работы различных приборов. Она может быть использована для выбора оптимального прибора для конкретных условий эксплуатации или оценки качества работы уже существующих устройств [2].

Достоинства этой методики состоят в том, что она позволяет без особых материальных затрат провести качественное сравнение, учесть все основные характеристики и аспекты работы оцениваемого устройства. Другие методики, такие как тестирование в различных условиях, которое предполагает оценку эффективности при помощи проведения испытаний с изменением температуры, влажности, давления и т. д., или оценка удовлетворенности пользователей на основе результатов опроса о качестве данного устройства, такими преимуществами не обладают [3–6].

Основные этапы применения методики:

*Этап 1.* Определение критериев оценки: перед началом сравнения необходимо определить критерии, по которым будут оцениваться приборы. В нашем случае это критерий обобщенной эффективности, складывающийся из критерия эффективности следующих характеристик: цена, диапазон рабочих температур, максимальная высота над уровнем моря, относительная погрешность, вес и потребляемая мощность.

*Этап 2.* Оценка приборов по критериям эффективности характеристик: на основе собранных данных проводится оценка каждого прибора по выбранным критериям. Для этого используем метод сравнения абсолютных значений.

*Этап 3.* Расчет обобщенного показателя эффективности: после оценки каждого прибора по отдельным критериям необходимо рассчитать обобщенный показатель эффективности. Это позволит получить общую оценку каждого прибора и провести их сравнение.

*Этап 4.* Анализ результатов: на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, какой прибор является наиболее оптимальным для заданных условий эксплуатации.

Необходимо учитывать специфику применения и требования к безопасности полетов, чтобы обеспечить надежную и эффективную работу оборудования. Методика сравнения двух пилотажно-навигационных приборов с использованием критерия обобщенной эффективности является действенным инструментом для принятия обоснованных решений при выборе оборудования для авиации. Он позволяет учесть все важные аспекты работы приборов и получить объективную оценку их эффективности.

Расчет обобщенной эффективности каждой модели будет производиться по формуле:

$$\sum_n = a_n + b_n + c_n + d_n + e_n + f_n, \quad (1)$$

где  $a$  — эффективность цены, рассчитывается по формуле:

$$a_n = \frac{C_{min}}{C_n}, \quad (2)$$

где:  $C_{min}$  — минимальная цена среди альтиметров;  $C_n$  — цена  $n$ -го альтиметра;

$b$  — эффективность диапазона рабочих температур, рассчитывается по формуле:

$$b_n = \frac{T_n}{T_{max}}, \quad (3)$$

где:  $T_{max}$  — максимальный диапазон рабочих температур среди альтиметров;  $T_n$  — диапазон рабочих температур  $n$ -го альтиметра;

$c$  — эффективность максимальной рабочей высоты, рассчитывается по формуле:

$$c_n = \frac{h_n}{h_{max}}, \quad (4)$$

где:  $h_{max}$  — максимальная рабочая высота среди альтиметров;  $h_n$  — максимальная рабочая высота  $n$ -го альтиметра;

$d$  — эффективность относительной погрешности, рассчитывается по формуле:

$$d_n = \frac{\varepsilon_{min}}{\varepsilon_n}, \quad (5)$$

где:  $\varepsilon_{min}$  — минимальная относительная погрешность измерений среди альтиметров;  $\varepsilon_n$  — относительная погрешность измерений  $n$ -го альтиметра;

$e$  — эффективность веса, рассчитывается по формуле:

$$e_n = \frac{m_{min}}{m_n}, \quad (6)$$

где:  $m_{min}$  — минимальный вес среди выбранных альтиметров;  $m_n$  — вес  $n$ -го альтиметра;

$f$  — эффективность потребляемой мощности, рассчитывается по формуле:

$$f_n = \frac{W_{min}}{W_n}, \quad (7)$$

где:  $W_{min}$  — минимальная потребляемая мощность среди выбранных альтиметров;  $W_n$  — потребляемая мощность  $n$ -го альтиметра.

Разработанная методика позволяет оценивать эффективности приборов новым способом, основанным на расчете критерия обобщенной эффективности. Каждая составляющая формулы представляет собой эффективность выбранной для оценки характеристики прибора.

### Пример применения методики

Рассмотрим использование методики применительно к следующим альтиметрам:

1. Indu Altimeter;
2. Winter Instruments 4 HM 6;
3. UMA 5-411-20;
4. P/N 2M11C (KUB 700).

На первом этапе, в соответствии с представленной методикой, определим критерий оценки. В работе будет учитываться критерий обобщенной эффективности. Значения выбранных технических характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики сравниваемых альтиметров

№	Модель	Цена (С)	Диапазон рабочих температур (Т)	Максимальная высота над уровнем моря (h)	Относительная погрешность (ε)	Вес (m)	Потребляемая мощность (W)
1	Indu Altimeter	54 629 р.	от -30°C до +60°C	10 000 м	3 %	0,240 кг	1,44 Вт
2	Winter Instruments 4 HM 6	50 150 р.	От -35°C до +55°C	6 000 м	2 %	0,230 кг	2,00 Вт
3	UMA 5-411-20	45 031 р.	От -20°C до +40°C	6 100 м	2 %	0,200 кг	1,80 Вт
4	P/N 2M11C (KUB700)	61 200 р.	От -30°C до +65°C	13 716 м	4 %	0,264 кг	2,40 Вт

На втором этапе на основе собранных данных проведем оценку каждого прибора по критерию эффективности характеристик и представим результаты в таблице 2.

Таблица 2. Критерии эффективности характеристик альтиметров

№	Модель	Эффективность цены	Эффективность диапазона рабочих температур	Эффективность максимальной высоты над уровнем моря	Эффективность относительной погрешности	Эффективность веса	Эффективность потребляемой мощности
1	Indu Altimeter	0,82	0,95	0,73	0,67	0,83	1
2	Winter Instruments 4 HM 6	0,89	0,95	0,44	1	0,87	0,72
3	UMA 5-411-20	1	0,63	0,44	1	1	0,8
4	P/N 2M11C (KUB700)	0,74	1	1	0,4	0,75	0,6

На третьем этапе рассчитываем показатель обобщенной эффективности для каждой модели альтиметра по формуле (1):

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \frac{45031}{54629} + \frac{90}{95} + \frac{10000}{13716} + \frac{2}{3} + \frac{0,2}{0,24} + \frac{1,44}{1,44} \approx 5; \\ \Sigma_2 &= \frac{45031}{50150} + \frac{90}{95} + \frac{6000}{13716} + \frac{2}{2} + \frac{0,2}{0,23} + \frac{1,44}{2} \approx 4,87; \\ \Sigma_3 &= \frac{45031}{45031} + \frac{60}{95} + \frac{6100}{13716} + \frac{2}{2} + \frac{0,2}{0,2} + \frac{1,44}{1,8} \approx 4,79; \\ \Sigma_4 &= \frac{45031}{61200} + \frac{95}{95} + \frac{13716}{13716} + \frac{2}{4} + \frac{0,2}{0,264} + \frac{1,44}{2,4} \approx 4,59. \end{aligned}$$

На четвертом этапе проанализируем полученные результаты и сделаем выводы об эффективности каждого альтиметра для заданных условий эксплуатации.

1) Indu Altimeter имеет наибольший критерий обобщенной эффективности. Он является самым оптимальным выбором для крупных и высокоскоростных пассажирских авиалайнеров [7, 8] из всех рассмотренных моделей, а также имеет наибольшую максимальную высоту полета для такого типа летательных аппаратов (10 000 м).

2) Winter Instruments 4 HM 6 и UMA 5-411-20 имеют более низкий критерий обобщенной эффективности, однако обладают преимуществом в цене, относительной погрешности и весе. Эти альтиметры стоит использовать на небольших самолетах гражданской авиации и некоторых реактивных самолетах [7, 8], которые летают на высоте не более 6 000 м.

3) P/N 2M11C (KUB 700) имеет наименьший критерий обобщенной эффективности, однако обладает преимуществом в диапазоне рабочих температур и максимальной высоте над уровнем моря. Этот альтиметр может использоваться как на крупных и высокоскоростных пассажирских авиалайнерах, так и на истребителях [7, 8].

### Выводы

Разработанная методика позволяет сравнить альтиметры при помощи критерия обобщенной эффективности, использование которого обладает определенной новизной.

Исследование проводилось с целью получения результатов сравнительного анализа для определения оптимальных условий эксплуатации и выявления преимуществ каждой выбранной модели альтиметров.

В ходе апробации методики была произведена сравнительная оценка четырех альтиметров по следующим параметрам: цена, диапазон рабочих температур, максимальная высота над уровнем моря, относительная погрешность, вес, потребляемая мощность. Был рассчитан обобщенный показатель эффективности, который выражает общее качество каждой модели. Результаты расчетов приведены в таблице 3:

Таблица 3. Обобщенный показатель эффективности

№	Модель	Обобщенный показатель эффективности
1	Indu Altimeter	5,00
2	Winter Instruments 4 HM 6	4,87
3	UMA 5-411-20	4,79
4	P/N 2M11C (KUB700)	4,59

Исследование показало, что общее качество лучше всего у Indu Altimeter, также он обладает наименьшей потребляемой мощностью, поэтому его следует применять на крупных и высокоскоростных пассажирских авиалайнерах [7, 8]. Winter Instruments 4 HM 6 и UMA 5-411-20 обладают приблизительно схожим общим качеством и рекомендуются к применению на небольших самолетах гражданской авиации и некоторых реактивных самолетах [7, 8], при этом UMA 5-411-20 обладает наименьшей ценой и весом. P/N 2M11C (KUB 700) имеет наименьшее общее качество, но обладает наибольшей максимальной высотой над уровнем моря и наибольшим диапазоном рабочих температур, что указывает на возможность использования его как на крупных и высокоскоростных пассажирских авиалайнерах, так и на истребителях [7, 8].

Методику оценки альтиметров по критерию обобщенной эффективности можно использовать при определении эффективности любого прибора, у которого можно определить эталонное значение характеристики только по наибольшему или наименьшему значению среди всех остальных выбранных для сравнения устройств.

В дальнейшем планируется развитие представленной методики в направлении учета факторов, которые затруднительно оценить при помощи числового значения, полученного из соотношения эталонного и оцениваемого значения, например, такие факторы, как удобство использования и площадь, занимаемая на приборной панели.

### Литература

1. Романов А. А. Анализ основных тенденций развития спутниковых альтиметров: «подрывные» или эволюционные технологии? // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5. Вып. 4. С. 3–13. DOI: 10.30894/issn2409-0239.2018.5.4.3.13. EDN: DWJMRO

2. Хнаев О. А., Данилов А. М. Синтез обобщенного критерия качества // Молодой ученый. 2014. № 21 (80). С. 240–242. EDN: TCUZML. URL: <https://moluch.ru/archive/80/14552/> (дата обращения 18.05.2024)

3. Пархимович В. А., Ципенко В. Г. Практическая аэродинамика: учебное пособие для вузов. 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2024. 326 с. EDN: QTSVPH
4. Симонов А. Н. Волков Р. В., Дворников С. В. Основы построения и функционирования угломерных систем координатометрии источников радиоизлучений: учебное пособие. СПб.: ФГКВУВО «Военная Академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ, 2017. 248 с. EDN: XRBXML
5. Дворников С. В., Фокин Г. А., Аль-Одхари А. Х., Федоренко И. В. Оценка влияния свойств сигнала *PRS LTE* на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2017. № 4. С. 94–103. EDN: YQWNLJ
6. Дворников С. В., Симонов А. Н., Богдановский С. В. Способ позиционирования беспилотного летательного аппарата на основе поляризационно-адаптивной обработки радиосигналов от реперных станций // Телекоммуникации. 2017. № 8. С. 36–42. EDN: ZDNGYN
7. ГОСТ 22837-77. Оборудование самолетов и вертолетов пилотажно-навигационное бортовое. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1978. 9 с.
8. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы: учебное пособие: в 2 ч. / сост. Е. В. Антонец, В. И. Смирнов, Г. А. Федосеева. Ч. 1. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007. 119 с.

**Статья поступила 03 июня 2024 г.**  
**Одобрена после рецензирования 6 июня 2024 г.**  
**Принята к публикации 10 июня 2024 г.**

### **Информация об авторах**

*Говако Александр Сергеевич* — студент института радиотехники и инфокоммуникационных технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. E-mail: sasha\_govako@mail.ru

*Погорелов Андрей Анатольевич* — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. E-mail: aprod@yandex.ru

# Methodology for Measuring Altimeters according to the Criterion Generalized Effectiveness

A. Govako , A. Pogorelov

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, 190000, Russian Federation

<sup>2</sup> Military Academy of Communications, St. Petersburg, 194064, Russian Federation

**Purpose:** given the importance of altimeters due to their ability to measure altitude and the inefficiency and costliness of known estimation methods, it is necessary to develop a new methodology, use it on the devices selected for comparison, and identify the advantages, disadvantages, and operational features of each model. The purpose of the work is to carry out a comparative analysis of four altimeters according to the following parameters: price, operating temperature range, maximum operating altitude, relative measurement error, weight and power consumption. **Methods used:** comparison of altimeters using a generalized performance criterion. **Result:** the use of the presented methodology for evaluating altimeters revealed the features of each model, which made it possible to provide recommendations for their use in specific conditions. The elements of **novelty** of the presented solution are the use of generalized efficiency criterion and importance coefficients. **Theoretical/Practical Significance:** the results of the comparative analysis are proposed to be used in determining the altimeter model for use on different types of aircraft, different maximum flight altitudes. The method of evaluation by the criterion of generalized efficiency will allow to make decisions on the purchase of any electronic devices selected for the study, to conduct a comparative analysis of them, to determine the advantages and disadvantages of each device.

**Key words:** altimeter, efficiency, airplane, on-board equipment

## Information about Author

Govako Alexander — student of the Institute of Radio Engineering and Infocommunication Technologies (Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation). E-mail: sasha\_govako@mail.ru

Pogorelov A. A. — Ph. D. of Engineering Sciences, Professor of the Department Radiocommunication (Military Academy of Communications). E-mail: anpog@yandex.ru