

К ОБСУЖДЕНИЮ ПРИМЕНЕНИЯ В ГЕОДЕЗИИ ТЕРМИНОВ «ОШИБКА» И «ПОГРЕШНОСТЬ»

Антон Викторович Никонов

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ведущий инженер; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

В статье затронут терминологический вопрос, вызванный применением в современной геодезической литературе разных терминов – «погрешность» и «ошибка». Приводятся результаты дискуссии по этому вопросу, которая развернулась на страницах журнала «Геодезия и картография» в 1970–1980-ые гг. Прослеживается изменение терминов и определений в трех метрологических стандартах 1970, 1999 и 2013 гг. Отмечается, что для сохранения чистоты и строгости отечественного геодезического языка целесообразно применять термины «ошибка» и «средняя квадратическая ошибка» вместо терминов «погрешность» и «среднее квадратическое отклонение» соответственно.

Ключевые слова: термин, метрология, ошибка, погрешность, среднее квадратическое отклонение, среднее арифметическое, точность измерений, оценка по внутренней сходимости.

TO DISCUSSION ON APPLICATION OF TERMS "ERROR" AND "UNCERTAINTY" IN GEODESY

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Leading Engineer; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

The article deals with the terminological question caused by the use of different terms in modern geodetic literature – "error" and "uncertainty". The results of the discussion on this issue, which took place on the pages of the journal «Geodesy and Cartography» in 1970-1980s, are presented. There is a change in terms and definitions in the three metrological standards of 1970, 1999 and 2013. It is noted that to maintain the purity and rigor of the national geodetic language, it is advisable to use the terms "error" and "mean square error" instead of the terms "error" and "standard deviation".

Key words: term, metrology, error, uncertainty, standard deviation, arithmetic mean, measurement accuracy, estimation by internal convergence.

Введение

Термин – это слово или сочетание слов, служащих для точного обозначения определенного понятия какой-либо специальной области знаний [1]. Пожалуй, одним из первых вопрос о правильности применения геодезических терминов был поднят В. А. Червяковым в статьях [1, 2]. Автор этих статей отмечает случаи, когда для одного понятия существует несколько терминов (синонимия

терминов), приводя следующие примеры: ошибка – погрешность, жесткий (пункт) – твердый – исходный, съемочное обоснование – рабочее обоснование, уравнивание – уравновешивание, тригонометрическое (нивелирование) – геодезическое и т.д. [1]. Если в прошлом многие из этих терминов были равно употребляемы, то сегодня такие термины, как твердый пункт, уравновешивание, рабочее обоснование, геодезическое нивелирование считаются устаревшими и практически не применяются. Таким образом, со временем происходит процесс естественной «отбраковки» в терминологии.

Однако, не всегда из двух терминов-синонимов безболезненно получалось сохранить в использовании наиболее подходящий. Например, с 1971 г. был введен в действие общетехнический стандарт ГОСТ 16263–70 [3], в котором приводится термин «погрешность измерения», а термин «ошибка измерения» использовать не рекомендуется. На защиту традиционного для геодезии термина «ошибка» встал известный военный геодезист Б. С. Кузьмин [4] на страницах журнала «Геодезия и картография» [5]. Он отмечает, что в геодезической литературе слово ошибка применяется несравненно шире, чем погрешность, с ним связано название дисциплины «Теория ошибок измерений», оно прочно вошло в название видов ошибок измерений, в ряд определений научных понятий, например «ошибка веса». Слово ошибка гибче, чем слово погрешность, от него легко образуются новые слова: ошибочность, ошибаться, ошибочный и т.д. [5].

Несмотря на приведенные в статье [5] доводы в пользу термина «ошибка», в значительной части геодезической литературы и научных статьях стал применяться термин «погрешность». В 1979 г. в журнале «Геодезия и картография» напечатано письмо, направленное видными учеными-геодезистами, в котором выражено несогласие с изъятием из геодезической литературы термина «ошибка».

В 1980 г. Госстандарт СССР рассмотрел ходатайство рабочей группы «Научная терминология в метрологии» о сохранении наряду с термином «погрешность» термина «ошибка», и ввиду широкого применения последнего в ряде точных наук, снял запрет на применение термина «ошибка измерения» в учебной и научно-технической литературе в области геодезии [6].

Результаты

В 1983 г. выходит еще одна короткая заметка Б. С. Кузьмина о терминах «ошибка» и «погрешность» [7]. Автором отмечается, что В. В. Витковский, Ф. Н. Красовский и другие выдающиеся отечественные геодезисты термин погрешность применяли целенаправленно как синоним для улучшения стиля изложения и в случаях, когда речь шла о влиянии на измерения отдельных причин, например о действии инструментальных погрешностей. В известных случаях действие погрешностей может ослабляться, они могут не допускаться, что существенно отличает их от ошибок, неизбежных в результате любых измерений даже при безупречном их выполнении [7].

Казалось бы, после снятия запрета на использование термина «ошибка» геодезисты должны были применять именно его, однако, внесенная стандартом [3]

путаница в терминологии присутствует до сих пор. Дискуссии [1, 5, 7, 8] на страницах журнала «Геодезия и картография» остались в прошлом, а современные своды правил и геодезические инструкции оперируют именно термином «погрешность» [9, 10] (пожалуй, за исключением только инструкции по нивелированию [11]). Более того, в заменяющих ГОСТ [3] рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 [12] к определению погрешность результата измерения вновь появляется примечание: «синонимом термина погрешность измерения является термин ошибка измерения, применять который не рекомендуется как менее удачный». С 2015 г. начинает действовать новая редакция Рекомендаций РМГ 29-2013 [13], в которых используется исключительно термин «погрешность» без каких-либо примечаний и оговорок, таким образом, метрологи добились давно поставленной задачи – изъять из обращения термин «ошибка». Заметим, что классики геодезии для лаконичности изложения материала даже в одном предложении могли использовать оба термина, например: «...и, следовательно, квадрат обусловленной ошибками визирований погрешности в угол α равен...» [14, с. 494].

В действующих Рекомендациях [13] внесены существенные изменения в толкование ряда терминов. В частности, погрешность результата измерения определяется, как разность между измеренным значением величины и опорным значением величины. В свою очередь опорным значением называют такое значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода. Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно. И наконец, принятое значение – значение величины, по согласованию приписанное величине для данной цели. Безусловно, такое «многоярусное» изложение терминов не отвечает требованиям доходчивости и простоты, и затрудняет их использование, особенно в учебном процессе.

Тенденция к корректировке терминологии характерна также и для зарубежных нормативных документов. Например, в редакции стандарта по гидрографическим съемкам 2008 г. перестал употребляться термин «ошибка» (error), который в большинстве случаев заменен на «неопределенность» (uncertainty). Данное изменение объясняется тем, что ошибка есть отклонение измеренного значения величины от ее истинного значения, а поскольку истинное значение в общем случае не известно, то и ошибка не может быть определена. Неопределенность – интервал (относительно заданного значения), который будет содержать истинное значение измерения с определенной доверительной вероятностью [15].

Рассмотрим определение еще одного термина, наиболее распространенного при оценке точности измерений. В ГОСТ [3] включен термин «среднее квадратическое отклонение результата наблюдения», определяемый как параметр функции распределения результатов наблюдений, характеризующий их рассеивание и равный корню квадратному из дисперсии результата наблюдения (с положительным знаком). Б. С. Кузьмин отметил, что такое определение, требующее знания довольно сложных понятий, вряд ли будет понятно широкому кругу

лиц, не изучивших теории вероятностей и математической статистики [5]. Также он указал, что в геодезической литературе данному термину соответствует термин «средняя квадратическая ошибка», в связи с чем, не ясно, почему в [3] погрешность (ошибка) заменена отклонением.

В [16] указано, что характеристикой рассеивания той же размерности, какую имеет случайная величина X и ее математическое ожидание MX , служит среднее квадратическое отклонение, которое представляет собой корень квадратный из дисперсии, взятый с положительным знаком и обозначаемый σ . Для эмпирического распределения характеристиками рассеивания являются эмпирическая дисперсия $\overline{s^2}$ и эмпирическое среднее квадратическое отклонение \overline{s} . Там же указано, что при малых выборках ($n < 30$) среднее квадратическое отклонение \overline{s} обычно вычисляют по формуле

$$\overline{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Авторы монографии [16] замечают, что формулу (1) в геодезии называют формулой Бесселя и используют для вычисления средней квадратической ошибки m результатов наблюдений, а разности $x_i - \bar{x}$, по сути, являются отклонениями случайных значений x_i от их среднего арифметического значения \bar{x} , а не ошибками.

В старой версии Рекомендаций [12], как основной, используется термин средняя квадратическая погрешность измерений (СКП) и определяется как оценка s рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле (1).

В [12] отмечается, что на практике широко распространен термин среднее квадратическое отклонение (СКО). Под отклонением, в соответствии с формулой (1), понимают отклонение единичных результатов в ряду измерений от их *среднего арифметического значения*. В том же документе погрешность измерения определяется как отклонение результата измерения от *истинного* значения измеряемой величины. Если в результаты измерений введены поправки на действие систематических погрешностей, то отклонения представляют собой случайные погрешности. Поэтому с точки зрения упорядочения совокупности терминов, родовым среди которых является термин «погрешность измерения», предложено применять термин «средняя квадратическая погрешность». При обработке ряда результатов измерений, свободных от систематических погрешностей, СКП и СКО являются одинаковой оценкой рассеяния результатов единичных измерений [12].

Однако, в действующих Рекомендациях [13] вновь возвращаются к термину «среднее квадратическое отклонение» практически сохраняя трактовку ГОСТ [3]. Оценкой среднего квадратического отклонения называют выборочное стандартное отклонение, вычисляемое по той же формуле (1). В примечаниях указывается, что выборочное стандартное отклонение иногда неправильно называют средней квадратической погрешностью [13]. На этот раз метрологи предлагают вместо термина «ошибка» применять термин «погрешность», а при оценке точности измерений использовать «среднее квадратическое отклонение» вместо «средней квадратической погрешности».

Обсуждение

На наш взгляд, в своей деятельности геодезисты должны применять традиционные термины «ошибка», «средняя квадратическая ошибка», а не вносить искусственные, конъюнктурные изменения в профессиональный технический язык. В особенности, из теории обработки геодезических измерений нельзя изъять такие понятия, как «ошибка единицы веса», «ошибка функции измеренных величин» и т.д. Нет необходимости искусственно исказить понятийный аппарат, который используется при написании таких классических трудов как [14, 17–20].

В то же время, следует иметь в виду, что при наличии систематической ошибки, используя формулу (1) мы произведем оценку точности измерений «по внутренней сходимости». Например, при многократных определениях превышения из одностороннего тригонометрического нивелирования, средняя квадратическая ошибка по внутренней сходимости составила $m=4$ мм, но в то же время из-за систематического влияния вертикальной рефракции разница между истинным значением превышения (из геометрического нивелирования) и средним арифметическим из 30 измерений тахеометром составила $\Delta=+40$ мм [21]. В данном случае, величина 4 мм, как отмечалось ранее, характеризует степень уклонения отдельных измерений от среднего арифметического, но не отражает действительную точность результата измерений из-за систематического влияния рефракции.

В геодезии, исключение систематических ошибок производится или путем введения поправок в результаты измерений, если закон действия того или иного источника ошибок известен и величина ее может быть вычислена по этому закону (например, исправление результатов нивелирования за среднюю длину метрового интервала комплекта реек), или в процессе самого измерения, конструируя соответствующим образом инструмент или выбирая надлежащий способ измерения [22]. Примером второго случая может служить измерение углов при двух положениях круга или выполнение нивелирования способом из середины. Кроме того, в геодезии принято производить оценку точности не только по внутренней сходимости результатов, но и используя более надежные критерии (контроли): сумма превышений в замкнутом ходе должна равняться нулю, сумма углов в треугольнике 180° и т.д. Использование подобного рода контролей позволяет выявить наличие в результатах измерений неприемлемых по величине

ошибок (в том числе и систематических). Поэтому, на наш взгляд, применение при оценке точности геодезических измерений термина «средняя квадратическая ошибка» (а не отклонение) вполне обоснованно. В случаях, когда явно ожидается систематическое влияние какого-либо фактора (например, визирный луч проходит близко к нагретой поверхности), следует понимать, что средняя квадратическая ошибка для ряда равноточных измерений, определенная по формуле (1), дает оценку точности по внутренней сходимости.

Заключение

На наш взгляд, в учебной, научной и нормативной литературе по геодезии надлежит использовать в качестве основных термины «ошибка измерений», «средняя квадратическая ошибка», а термин «погрешность» лишь в отдельных случаях, как синоним для улучшения стиля изложения.

Стандарты по метрологии могут постоянно корректироваться, а их разработчики изодраться в придумывании новых толкований терминов, но геодезисты должны оберегать чистоту и строгость отечественного геодезического языка.

Из приведенного анализа можно заключить, что величина, найденная по формуле (1), может именоваться средней квадратической ошибкой, если ошибки, неизбежно сопровождающие измерения имеют случайное распределение, а систематические ошибки в сравнении с ними пренебрежимо малы или устранены. Иначе (при наличии систематических ошибок), результат, полученный по формуле (1), является оценкой точности по внутренней сходимости, т.е. характеризует степень рассеяния отдельных результатов измерений относительно арифметической середины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Червяков В. А. Упорядочение терминологии в геодезии // Геодезия и картография. – 1962. – №12. – С. 22–26.
2. Червяков В. А. О некоторых геодезических терминах // Геодезия и картография. – 1961. – №7. – С. 63–67.
3. ГОСТ 16263-70 Метрология. Термины и определения. – Введ. 01.01.71. – М.: Издательство стандартов, 1970. – 54 с.
4. Долгов Е. И. Геодезист, командир, педагог, ученый (к 100-летию со дня рождения известного советского геодезиста, начальника НИИ ТС РККА в 1941–1942 гг., полковника Кузьмина Бориса Сергеевича) // НТСб 29-го НИИ МО РФ, № 1. ДСП. – 2001. – С. 142–165.
5. Кузьмин Б. С. О терминах «ошибка», «поправка», «точность» и «погрешность» // Геодезия и картография. – 1972. – №8. – С. 21–23.
6. Теплых А. Н. К вопросу о понятиях «ошибка» и «погрешность» измерения // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 4, ч. 2. – С. 160–163.
7. Кузьмин Б. С. Еще раз о терминах «ошибка» и «погрешность» // Геодезия и картография. – 1983. – №3. – С. 29–30.
8. Кузьмин Б. С. О некоторых вопросах теории ошибок измерений // Геодезия и картография. – 1974. – №8. – С. 13–19.

9. Никонов А. В. Проблема актуализации СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – №4. – С. 9–19.
10. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. – М.: ЦНИИГАиК, 2003. – 181 с.
11. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
12. РМГ 29-99 Метрология. Основные термины и определения – Введ. 01.01.2001. – М.: Стандартиформ, 2008. – 90 с.
13. РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартиформ, 2014. – 56 с.
14. Красовский Ф. Н. Избранные сочинения Т. III / под ред. А. И. Дурнева и Г. В. Баградуни. – М.: Геодезиздат, 1955. – 816 с.
15. ИО Standards For Hydrographic Surveys (S-44), Draft 5-th Edition 03 November 2007. – 28 p.
16. Смирнов Н. В., Белугин Д. А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. – М.: Недра, 1969. – 379 с.
17. Витковский В. В. Топография. Изд. 4-е, исправленное и дополненное / под ред. военинженера I ранга, профессора, доктора географических наук А. В. Граура. – Л.: Управление Военно-Топографической службы Генерального Штаба РККА, 1940. – 679 с.
18. Иордан В. Руководство по геодезии. Т.1 Уравнительные вычисления по способу наименьших квадратов. – М.: Редбюро ГУГК при СНК СССР, 1939. – 692 с.
19. Герасимов И. М. Практическое руководство по вычислению триангуляции II, III и IV классов / под ред. полковника А. К. Максимова и подполковника Б. С. Кузьмина. – М.: Геодезиздат, 1941. – 448 с.
20. Бессель Ф. В. Избранные геодезические сочинения / под общей редакцией С. Г. Судакова. – М.: Геодезиздат, 1961. – 282 с.
21. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №1. – С. 28–34.
22. Кузьмин Б. С. Основы теории ошибок измерений. – М.: Воениздат, 1946. – 116 с.

© А. В. Никонов, 2020