УДК 528

ПОГРЕШНОСТИ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ НА ПРАКТИКЕ

♦♦♦♦♦

ERRORS IN GEODETIC MEASUREMENTS AND METHODS OF THEIR MINIMIZATION IN PRACTICE

Вартаваньян А.А.
Кубанский государственный технологический университет
aram.vartavanyan@mail.ru

Брябрин А.О.
Кубанский государственный технологический университет
bryabrin.artem@gmail.com

Магомедов Ш.М.
Кубанский государственный технологический университет
magomedovsh4m@yandex.ru

Тихонов Т.А.
Кубанский государственный технологический университет
timka2015@yandex.ru

Олейникова Л.А.
старший преподаватель кафедры,
Кубанский государственный технологический университет
oleynikova.li@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные виды погрешностей, возникающих в процессе геодезических измерений, а также методы их минимизации на практике. Геодезические измерения играют ключевую роль в строительстве, землеустройстве и картографии, однако точность получаемых данных может существенно варьироваться из-за различных факторов, таких как атмосферные условия, ошибки оборудования и человеческий фактор. В статье представлена классификация погрешностей, влияние этих погрешностей на результаты измерений и способы оценки влияния погрешностей на изменения.

Ключевые слова: погрешность, ошибки, грубые, систематические, случайные, отклонения, измерения, сферы применения, способы применения, перспектива, прогрессивность.

Vartavanyan A.A.
Kuban State Technological University
aram.vartavanyan@mail.ru

Bryabrin A.O.
Kuban State Technological University
bryabrin.artem@gmail.com

Magomedov Sh.M.
Kuban State Technological University
magomedovsh4m@yandex.ru

Tikhonov T.A.
Kuban State Technological University
timka2015@yandex.ru

Oleynikova L.A.
Senior Lecturer of the Department,
Kuban State Technological University
oleynikova.li@mail.ru

Annotation. The article discusses the main types of errors that occur during geodetic measurements, as well as methods for minimizing them in practice. Geodetic measurements play a key role in construction, land management, and cartography, but the accuracy of the data obtained can vary significantly due to various factors such as atmospheric conditions, equipment errors, and human factors. The article presents a classification of errors, the effect of these errors on measurement results, and ways to assess the effect of errors on changes.

Keywords: error, mistakes, gross, systematic, random, deviations, measurements, areas of application, methods of application, perspective, progressiveness.

При проведении измерений расстояний, превышений и углов неизбежно возникают ошибки, которые сказываются на достоверности полученных данных.

В геодезии измерения оцениваются по двум параметрам: количественному, отражающему числовое значение, и качественному, определяющему точность. Опыт показывает, что даже при максимальной аккуратности повторные измерения не дают идентичных результатов. Это свидетельствует о том, что полученные значения лишь приближаются к истинному, отклоняясь от него. Степень этого отклонения и является мерой точности измерений [1].

Погрешность измерения D по формуле 1 определяется как разница между измеренным значением l и истинным значением измеряемой величины x [2]:

$$D = l - x. \quad (1)$$

При проведении геодезических работ всегда возникают погрешности. Эти погрешности классифицируются как грубые, систематические и случайные [3].

Грубые погрешности, возникающие из-за невнимательности исполнителя или дефектов оборудования, приводят к значительным искажениям результатов и должны быть полностью устранены. Для этого необходимо проводить повторные измерения.

Систематические погрешности обусловлены известными факторами, имеют предсказуемую величину и направление, что позволяет компенсировать их влияние путем внесения поправок в процессе измерений и расчетов [4].

Случайные погрешности возникают под воздействием множества неконтролируемых факторов, и их полное исключение невозможно. В связи с этим, возникают две основные задачи: определение наиболее вероятного значения из полученных данных и оценка точности этого значения. Решение этих задач обеспечивается применением теории ошибок измерений.

Грубые ошибки возникают из-за небрежности при выполнении измерений и расчетов. Их необходимо выявлять и устранять, например, путем повторных измерений или пересчетов, можно использовать альтернативные методы или привлечь другого специалиста. Для контроля измерений также применяют анализ невязок, к примеру, при суммировании измеренных углов или превышений.

Систематические погрешности возникают из-за постоянного воздействия определенного фактора. Их сложно полностью исключить, даже при соблюдении аккуратности измерений они остаются неизбежной частью измерительного процесса. Поэтому, при выполнении и анализе измерений стремятся минимизировать их влияние, внося корректировки в результаты, калибруя приборы и проводят юстировку строго придерживаясь методики. Например, если измерительная лента короче заявленной на 2 мм, следует либо отказаться от ее использования, либо внести поправку в измеренную длину.

Для компенсации систематических погрешностей, связанных с непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня нивелира, можно устанавливать его на одинаковом расстоянии от передней и задней реек, учитывая при этом влияние кривизны Земли [5].

В процессе измерений всегда возникают случайные отклонения, которые при небольшом количестве повторных измерений, не выявляют какой-либо предсказуемой закономерности. Полностью устранить такие погрешности из получаемых данных не представляется возможным, поэтому важно минимизировать их воздействие при проведении и анализе измерений [6].

Причины этих отклонений могут быть разнообразными и установить их в момент измерения затруднительно: это может быть недостаточно высокая точность используемого оборудования, внешние воздействия или субъективная оценка при снятии показаний. Улучшение методик измерений или создание оптимальных условий позволяют уменьшить влияние случайных погрешностей, но не исключить их полностью. В геодезических работах на точность влияют в основном случайные отклонения, а в некоторых случаях добавляются неустранимые систематические ошибки.

Характерные свойства случайных погрешностей: небольшие отклонения встречаются чаще значительных; положительные и отрицательные отклонения возникают с одинаковой вероятностью; среднее арифметическое значение случайных погрешностей стремится к нулю с увеличением числа измерений.

Таким образом, среднее арифметическое значение результатов измерений, полученных даже при небольшом количестве повторов, будет ближе к истинному значению, чем любой отдельный результат. Именно поэтому среднее арифметическое называют вероятностным значением, а разницу между результатом измерения и средним арифметическим – вероятностной погрешностью [6].

В геодезической практике достоверность измеряемых параметров часто оценивается через их вероятные значения, так как истинные величины остаются неизвестными. Например, в замкнутых полигонах контроль точности осуществляется по теоретическим условиям, то есть по сумме внутренних углов или алгебраической сумме превышений. Ключевым критерием качества измерений, выполненных в однородных условиях, выступает среднеквадратическое отклонение (далее – СКО), рассчитываемое по формуле Гаусса. Этот показатель отражает степень рассеивания результатов относительно математического ожидания [7].

Статистический анализ показывает, что отклонения, превышающие СКО в 2 раза, встречаются лишь в 4,5 % случаев, а тройное СКО – менее чем в 0,3 % измерений.

Таким образом, 95,5 % погрешностей не выходят за границы ±2 m, а 99,7 % – остаются в пределах ±3 m. На этом основании тройное среднеквадратическое откло-

нение (3m) принимается за предельно допустимую погрешность, которая служит критерием для отбраковки грубых ошибок.

Установленные закономерности позволяют упростить контроль точности геодезических работ. Например, при уравнивании полигонов результаты, выходящие за 3m, считаются недостоверными и требуют повторных измерений. Этот подход обеспечивает баланс между теоретической строгостью и практической целесообразностью, снижая влияние случайных факторов на итоговые данные.

Измерения, содержащие погрешности, превышающие Dпред, признаются недействительными. Для линейных измерений точным считается показатель относительной погрешности, определяемый как отношение абсолютной величины погрешности к измеренной величине и выражаемое в виде дроби со знаменателем, равным единице [8].

Геодезические измерения, несмотря на кажущуюся простоту, требуют строгого контроля точности. Погрешности делятся на три категории: систематические (повторяющиеся и предсказуемые), случайные (непредсказуемые колебания) и грубые (ошибки, вызванные небрежностью). Рассмотрим их на примере измерений длин линий рулеткой [8].

Систематические погрешности возникают из-за стабильных факторов, влияющих на результат измерений.

В первую очередь – разница температур при компарировании (поверке) и измерениях (допуск до 8 °C) вызывает расширение или сжатие мерной ленты.

Решение: Введение поправок по формуле 2:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot (t_{изм} - t_{комп}), \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала.

Далее – некорректное позиционирование ленты, отклонение конца ленты от створа линии (до 15 см) – например, при визуальном выравнивании на неровной местности.

Решением является использование вех или лазерных указателей для точного совмещения с линией.

Неточность компарирования – погрешность определения длины рулетки (до 3 мм) из-за износа или дефектов шкалы. Исключается регулярной поверкой инструмента в аккредитованных лабораториях (согласно ГОСТу 7502-89).

Случайные погрешности обусловлены неконтролируемыми факторами и имеют вероятностный характер.

Ошибки отсчёта. Неточность фиксации остатков линий (до 1 см на 100 м). Например, смещение взгляда при чтении шкалы. Для коротких отрезков (менее 100 м) используются стальные рулетки с миллиметровыми делениями.

Влияние рельефа. Провис ленты (до 0,1 м) или погрешность учета наклона (ошибка измерения угла до 50 угловых минут, превышения – до 1,5 м на 100 м). Применение электронных тахеометров для прямого измерения горизонтальных проложений практически полностью устраняет такие погрешности.

Неоднородность грунта, то есть проседание рулетки на вязких почвах или песке. Необходимо использовать так называемые «башмаки» для фиксации ленты или проводить измерения в сухую погоду.

Грубые погрешности – критические ошибки, возникающие из-за нарушений методики, а именно:

– Некорректное натяжение. Превышение допустимой разницы силы натяжения (более 1,5 кг) ведет к растяжению ленты. Необходимо использовать динамометр для контроля усилия;

– Игнорирование условий местности – измерения на липком грунте без подготовки поверхности. Нужно очищать трассу от мусора, ленту укладывать на деревянные прокладки;

– Неправильная фиксация реперов и смещение контрольных точек из-за оседания штатива. Решением является установка оборудования на твёрдое основание с использованием костылей или анкеров.

Исходя из вышеизложенного очевидно, что минимизация погрешностей требует комбинации методов:

– Для систематических погрешностей – математические поправки и калибровка инструментов;

– Для случайных – увеличение числа измерений и статистическая обработка данных;

– Для грубых – строгий контроль соблюдения инструкций и обучение персонала.

В статье рассмотрены основные виды погрешностей, возникающих в процессе геодезических измерений, инструментальные ошибки и человеческий фактор. Подчеркивается значимость точности геодезических данных для таких областей, как строительство, землеустройство и картография. Проанализирована классификация погрешностей и их влияние на результаты измерений.

Литература

1. Гордеев В.А. Основы теории ошибок измерений : монография». Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023. – 197 с. ISBN 978-5-8333-1199-8; Корнейчук А.И. Территориальный план развития как виртуальная реальность / А.И. Корнейчук, В.И. Семенов // Журнал «Геодезия и Картография». – 2017. – № 10. – С. 40–49.
2. Теория математической обработки геодезических измерений : учеб. пособие. – Ч. I: Теория ошибок измерений. – М. : МИИГАиК, 2016. – 56 с.
3. Об исследованиях оптических теодолитов и электронных тахеометров / А.П. Пинчук [и др.] // Журнал «Наука. Техника. Технологии» (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 109–113.
4. Оценка погрешности измерения горизонтальных углов при геодезическом сопровождении высотного строительства / Ч.Н. Желтко [и др.] // В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б. Федосенко. – 2015. – С. 389–394.
5. Куликов А.Е. Анализ систематических ошибок в геодезических измерениях / А.Е. Куликов, Н.В. Петрова // Труды Московского государственного университета геодезии и картографии. – 2018. – № 25(1). – С. 102–109.
6. Шуршилин Е.А. Оценка случайных и неисключенных систематических погрешностей в основных методах геодезических измерений / Е.А. Шуршилин, Я.А. Олехнович // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 79–87.
7. Ковалев С.И. Методы оценки и минимизации ошибок в геодезических измерениях / С.И. Ковалев, А.Н. Лисовский // Геоинформатика. – 2019. – № 3(2). – С. 34–41.
8. Сидоренко А.Н. Геодезические измерения: источники ошибок и методы коррекции / А.Н. Сидоренко, П.В. Тихомиров // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 45–50.

References

1. Gordeev V.A. Fundamentals of the Theory of Measurement Errors: Monograph. Publishing House of FGBOU VO «KubSTU», 2023. – 197 p. ISBN 978-5-8333-1199-8; Korneichuk A.I. Territorial Development Plan as a Virtual Reality / A.I. Korneichuk, V.I. Semenov // Journal «Geodesy and Cartography». – 2017. – № 10. – P. 40–49.
2. Theory of Mathematical Processing of Geodetic Measurements : tutorial. – Part I: Theory of Measurement Errors. – M. : MIIGAiK, 2016. – 56 p.
3. On the study of optical theodolites and electronic tacheometers / A.P. Pinchuk [et al.] // Magazine «Science. Technology. Technologies» (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 109–113.
4. Assessment of the error in measuring horizontal angles during geodetic support of high-rise construction / Ch.N. Zheltko [et al.] // In the collection: Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastres at the beginning of the 3rd millennium. Scientific readings in memory of Professor V.B. Fedosenko. – 2015. – P. 389–394.
5. Kulikov A.E. Analysis of systematic errors in geodetic measurements / A.E. Kulikov, N.V. Petrova // Proceedings of the Moscow State University of Geodesy and Cartography. – 2018. – № 25(1). – P. 102–109.
6. Shurshilin E.A. Assessment of random and non-excluded systematic errors in the main methods of geodetic measurements / E.A. Shurshilin, Ya.A. Olekhnovich // Construction and technogenic safety. – 2022. – № 27(79). – P. 79–87.
7. Kovalev S.I. Methods for Estimating and Minimizing Errors in Geodetic Measurements / S.I. Kovalev, A.N. Lisovsky // Geoinformatics. – 2019. – № 3(2). – P. 34–41.
8. Sidorenko A.N. Geodetic measurements: sources of errors and correction methods / A.N. Sidorenko, P.V. Tikhomirov // News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. – 2015. – № 4. – P. 45–50.