

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЕТИ СГУЩЕНИЯ КООРДИНАТНОЙ ОСНОВЫ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ РАЗВИТИЯ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Мячина Анастасия Александровна, аспирант

Астраханский государственный университет
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1
E-mail: romashko_nastya@mail.ru

Бармин Александр Николаевич
доктор географических наук, профессор

Астраханский государственный университет
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1
E-mail: abarmin60@mail.ru

Когда плотности пунктов государственной геодезической сети (ГГС) не достаточно, строят сети сгущения, которые используют в качестве исходных при создании обоснования топографических съемок. Сеть геодезических пунктов располагают на местности согласно составленному для нее проекту. Практика выполнения измерений показывает: как бы тщательно ни производились измерения с применением самых точных инструментов, при многократном их повторении все численные значения измеряемых величин будут разными, отличными друг от друга, так как каждая измеренная величина содержит ошибку. Величины погрешностей геодезических измерений и способы их подсчета определяются условиями, в которых производятся измерения. Поэтому они характеризуют не только точность измерений, но и определяют условия, при которых могут быть получены результаты измерений с необходимой точностью. Вот почему при рассмотрении вопросов, связанных с определением необходимой точности геодезической и топографической основы при проведении изыскательских работ, необходимо знать способы подсчета ошибок измерений и определять условия их возникновения, при которых измерения могут быть выполнены с заданной точностью и с наименьшими затратами. Учет погрешностей производится на основании теории ошибок измерения. Уменьшение влияния этих ошибок на конечный результат достигается в процессе увязки или уравнивания [14]. В данной работе указаны условия соблюдения точности проектирования сети, отражены расчеты оценки точности на различных ступенях построения, определены такие характеристики положения пунктов сгущения, как суммарная ошибка исходных данных, вес и величина обратного веса слабой стороны сети, точность базисных сторон, ошибка логарифма слабой стороны и другие. По результатам оценки точности проекта установлен класс триангуляционной сети сгущения.

Ключевые слова: государственная геодезическая сеть, проектирование сети сгущения, геодезическое измерение, обратный вес результата измерения, точность базисных сторон

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF THE NETWORK OF THE CONCENTRATION ON THE EXAMPLE OF DEVELOPMENT OF TRIANGULATION

Myachina Anastasiya A.

Post-graduate student

Astrakhan State University

1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation

E-mail: romashko_nastya@mail.ru

Barmin Aleksandr N.

D.Sc. in Geography, Professor

Astrakhan State University

1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation

E-mail: abarmin@mail.ru

If the density of the points of the state geodetic network (SGN) is not enough, then build a network of concentration, which are used as input to create justification for the shooting of topographic surveys. Network of geodetic stations on the ground have compiled according to her project. The practice of the measurements shows that no matter how carefully the measurements using the most precise instruments, with their multiple repetition of all the numerical values of the measured values will be different, different from each other, as each measured value contains an error. The values of the errors of geodetic measurements and methods of calculation are determined by the conditions in which the measurements are made. Therefore, they are characterized not only accuracy but also define conditions under which the results can be obtained with the required measurement accuracy. That's why when dealing with issues related to the definition of the necessary precision geodetic and topographic data during the survey work, it is necessary to know the ways of counting errors of measurement and to determine the conditions of their occurrence, in which measurements can be performed with the required accuracy and cost. Accounting errors made on the basis of the theory of measurement errors. Reducing the impact of these errors on the final result is achieved in the process of alignment or balance. [14] In this paper, we present conditions comply accuracy of network design, assess the accuracy of the calculations are reflected in different stages of construction, as well as identify characteristics such provisions of accumulation, as the total error of initial data, the weight and value of the inverse weight underdog network, the accuracy of the basis of the parties, the error of the logarithm of the weak parties and others. The evaluation of the accuracy of the project have class triangulation network concentration.

Keywords: State Geodetic Network, design of the network concentration, geodetic measurement, reverse weight measurement result, the accuracy of the basis of the parties

При проведении различных геодезических, землеустроительных мероприятий на большой территории необходимы топографические съемки, произведенные на основе сети геодезических пунктов, плановое положение которых на земной поверхности определено в единой системе координат, а высотное – в единой системе высот. Когда плотности пунктов государственной геодезической сети (ГГС) не достаточно, сеть сгущают дополнительными пунктами. Впоследствии они используются в качестве исходных при создании съемочного обоснования топо-графических съемок [11]. Сгущение сети начинается с такого проектирования проложения геодезических пунктов,

чтобы использование их сети приводило к более равномерному распределению по территории влияния погрешностей измерений и обеспечивало контроль выполняемых топографо-геодезических работ [7, 8].

Для того чтобы проектируемая сеть отвечала требованиям точности построения сгущения следует выполнить следующие условия:

16. В высших ступенях измерений (исходных данных) влияние ошибок определения положения пунктов должно быть мало по сравнению с ошибками собственных измерений в этой ступени;

17. Рекомендуется, чтобы в последующих ступенях влияние ошибок исходных данных на результаты измерений не превышало 10–20 %. В таком случае коэффициент обеспечения точности « K » при переходе от одной ступени обоснования к следующим может быть 2,2–1,5 ($K=2,0$) [10, 15].

18. Предельная ошибка в положении пункта съемочного обоснования Δ_s относительно пунктов старших ступеней не должна превышать 0,2 мм в масштабе плана на открытой местности [1] (в данном расчете рассмотрен масштаб M 1: 500, т.к. он лучше отвечает требованиям к точности построения пунктов геодезической сети сгущения), т. е.

$$\Delta_3 = 0,2 \times 500 = 100(\text{мм})$$

В то же время $\Delta_3 = t \times m_3$, где t – коэффициент перехода от среднего квадратического m_3 к предельному Δ_3 . При доверительной вероятности $\beta = 0,90$, $t = 2,0$. Следовательно, среднюю квадратическую ошибку в положении пункта съемочного обоснования можно принять равной

$$m_s = \Delta_s \div t = 50(\text{мм}) \quad [6]$$

19. Приняв, что $m_s = \Delta_s \div t = 50(\text{мм})$, m_1, m_2, m_3 – средние квадратические ошибки в положении первой, второй, третьей ступени обоснования, принятым значением « K », находим средние ошибки в каждой ступени, т.е.

$$m_3 = 50(\text{мм}),$$

$$m_2 = m_3 \div K = 50 \div 2 = 25(\text{мм}), \quad m_1 = m_2 \div K = 25 \div 2 = 12,5(\text{мм}).$$

Полученные ошибки исходных данных будут использоваться при определении класса запроектированной сети. Необходимо рассчитать суммарную ошибку M в положении пункта съемочного обоснования относительно к исходным пунктам триангуляции, которая определяется по следующей формуле:

$$M = \sqrt{(m_1)^2 + (m_2)^2 + (m_3)^2} \quad [4, 5];$$

$$M = \sqrt{(12,5)^2 + (25)^2 + (50)^2} = 57,28(\text{мм})$$

Суммарная ошибка M отличается от средней квадратической m_3 на 7,28 мм. Это и есть неучтенное влияние ошибок исходных данных в первой и второй ступнях, что составляет 14,5 %. Так как это значение находится в рамках рекомендуемых, когда влияние ошибок исходных данных в последующих ступенях на результаты измерений не должно превышать 10–20 %, в последующих расчетах допускается пренебречь ошибками исходных данных.

Для оценки точности проекта триангуляционной сети и установления класса, т.е. для нахождения среднеквадратических ошибок $m\beta$ и $m\beta \div B$,

воспользуемся ранее найденной величиной m_1 , которую следует рассматривать как ошибку слабой стороны $m_1 = m_a$ [2].

Расчет точности ведется по формуле:

$$m_{\lg a} = m_\beta \times \sqrt{1 \div P_f},$$

где $m_{\lg a}$ – ошибка логарифма слабой стороны сети (в единицах 6-го знака);

m_β – искомая ошибка измеренного угла.

При проектировании и обработке неравноточных измерений вводят новую характеристику точности измерения – вес [9].

Вес результата измерения p определяют по формуле:

$$p = k \div \sigma^2,$$

где k – произвольно выбранное число, но одно и то же для всех весов, участвующих в решении задачи; σ^2 – дисперсия результата измерения. Точное значение дисперсии σ^2 никогда не известно, поэтому вес вычисляют по формуле:

$$p = k \div m^2, \text{ т.е. принимают } \sigma^2 = m^2,$$

где m – средняя квадратическая погрешность, полученная по достаточному числу результатов [3].

Поскольку k – произвольное число, то вес – это относительная характеристика точности. Она дает представление о точности результат измерения только при сравнении с весом других результатов. Как видно из определения веса, отношение весов не изменяется, если их увеличить или уменьшить в одно и то же число раз. Это является одним из свойств весов. Если двум результатам измерения соответствуют веса:

$$p1 = k \div m1^2, \quad p2 = k \div m2^2,$$

то разделив первое равенство на второе, получим

$$p1 \div p2 = m2^2 \div m1^2;$$

т.е. веса двух измерений обратно пропорциональны квадратам средних квадратических погрешностей этих измерений. Это равенство выражает второе свойство весов.

При $k=1$, согласно формуле $p = 1 \div m^2$, $m^2 = 1 \div p$. Величину $1/p$ называют обратным весом [13, 16].

Рассмотрим подробнее один из этапов оценки проекта сети сгущения методом триангуляции, этап вычисления обратного веса $1/p$ слабой стороны для триангуляционных построений на примере сети сгущения, проектируемой на территории Приволжского района Астраханской области.

Исходные пункты триангуляции и их обозначение:

1 - пт Началово (2 класс)

2 - пт Закутумная (3 класс)

3 - пт Ильмень Сахарный (3 класс)

пт 1, пт 2 – проектируемые пункты сети сгущения

$$R = \delta A^2 + \delta B^2 + \delta A^2 \times \delta B^2$$

$$R1 = \delta 3^2 + \delta 1^2 + \delta 3^2 \times \delta 1^2$$

$$\delta 3^2 = 2,105544 * \text{ctg } 20^\circ 31' = 2,105544 * 2,78 = 5,85$$

$$\delta l^2 = 2,105544 * \text{ctg } 21^\circ 26' = 2,105544 * 2,63 = 5,54$$

$$R1 = 5,85 + 5,54 + 5,85 * 5,54 = 22,78$$

$$R2 = \delta^2 nm1 + \delta^2 l + \delta^2 nm1 * \delta^2 l$$

$$\delta^2 nm1 = 2,105544 * \text{ctg } 81^\circ 10' = 2,105544 * 0,16 = 0,33$$

$$\delta l^2 = 2,105544 * \text{ctg } 20^\circ 08' = 2,105544 * 2,75 = 5,79$$

$$R2 = 0,33 + 5,79 + 0,33 * 5,79 = 8,03$$

$$R3 = \delta^2 l + \delta^2 2 + \delta^2 l * \delta^2 2$$

$$\delta^2 l = 2,105544 * \text{ctg } 20^\circ 26' = 2,105544 * 2,75 = 5,79$$

$$\delta l^2 = 2,105544 * \text{ctg } 26^\circ 40' = 2,105544 * 2,02 = 4,25$$

$$R3 = 5,79 + 4,25 + 5,79 * 4,25 = 34,64$$

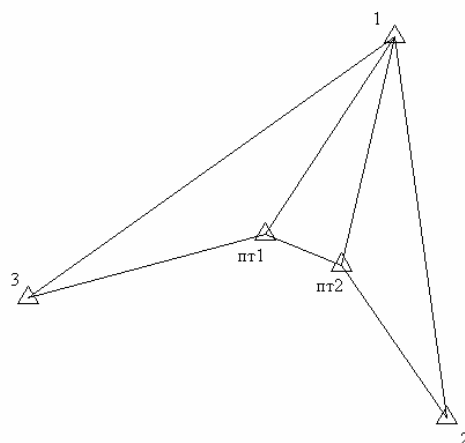


Схема 1. Расположение пунктов сети сгущения

Таблица 1

Расчет обратного веса слабой стороны сети

№ Треугольника	Название вершин	Фигуры	Связующие углы	R_i	Коефф. для соответствующей фигуры	Q_i
1	пт1 – 3, 1	треугольник	$20^\circ 31'$ $21^\circ 26'$	22,78	4/3	30,37
2	пт1 – пт2 – 1	треугольник	$81^\circ 10'$ $20^\circ 08'$	8,03	4/3	10,70
3	пт2 – 1, 2	треугольник	$20^\circ 26'$ $26^\circ 40'$	34,64	4/3	46,18

Обратный вес слабой стороны $1/p = \sum Q_i = 87,25$.

Из формулы ошибки логарифма слабой стороны сети, находим соотношения:

$$m_{\lg a} = (m_a \div a) \times 0,43 \times 10,$$

где $m_{\lg a}$ – ошибка логарифма слабой стороны; a – длина слабой стороны (указывается в метрах);

$$m_{\lg a} = (12,5 \div 987490) \times 0,43 \times 10 = 5,443(\text{мм})$$

На основе найденного обратного веса слабой стороны и рассчитанной ошибки логарифма слабой стороны сети подсчитаем ошибку измеренного угла:

$$m_{\beta} = m_{\lg a} \div \sqrt{1 \div P_f}$$
$$m_{\beta} = 5,443 \div 9,34 = 0,52 ''$$

Рассчитаем точность базисных сторон, руководствуясь следующим: при уравнивании триангуляционных сетей находим поправки только в углы (направления), считая, что базисы не содержат ошибок.

Для этого необходимо измерять базисы с определенным запасом точности:

$$m_B \div S = m_{\lg a} \div M,$$

где M – модуль десятичных логарифмов, равный $0,434294 \times 106$ [12]

$$m_S = (m_{\lg a} \times s) \div M$$
$$m_S = (0,05443 \times 5214,10) \div 0,434294 \times 106$$
$$m_S = 1 \div 213778$$

Вывод: точность измерения базисов соответствует требованиям, предъявляемым к сетям 4 класса.

По результатам вычислений запроектированную сеть следует отнести к 4 классу. Это удовлетворяет требованиям использования пунктов полученной геодезической сети в качестве исходных при создании съемочного обоснования топографических съемок и решения различных задач землеустройства и землепользования.

Список литературы

1. Атрошко Е. К. Геодезия в промышленном и гражданском строительстве / Е. К. Атрошко, М. М. Иванова, В. Б. Марендич. – Гомель : Белорусский Государственный Университет Транспорта, 2009. – 56 с.
2. Багратуни Г. В. Справочник по геодезическим разбивочным работам / Г. В. Багратуни, В. Ф. Лукьянов, Я. А. Сокольский, А. Н. Сухов. – Москва : Недра, 1982. – 90 с.
3. Беляев Б. И. Практикум по математической обработке маркшейдерско-геодезических измерений : учебное пособие для вузов / Б. И. Беляев. – Москва : Недра, 1989. – 274 с.
4. Большаков В. Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений : учебное пособие для вузов / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе. – Москва : Недра, 1984. – 202 с.
5. Большаков В. Д. Уравнивание геодезических построений : справочное пособие / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе, В. В. Голубев. – Москва : Недра, 1989. – 189 с.
6. Герасимов А. П. Уравнивание государственной геодезической сети / А. П. Герасимов. – Москва : Картгеоцентр – Геодезиздат, 1996. – 88 с.
7. Ермаков В. С. Инженерная геодезия. Геодезические сети / В. С. Ермаков, Е. Б. Михаленко, Н. Н. Загрядская, Н. Д. Беляев, Ф. Н. Духовской. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2003. – 41 с.
8. Курошев Г. Д. Топография : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Г. Д. Курошев. – Москва : Академия, 2011. – 140 с.
9. Машимов М. М. Геодезия. Теоретическая геодезия : справочное пособие / М. М. Машимов. – Москва : Недра, 1991. – 187 с.
10. Михаленко Е. Б. Инженерная геодезия. Решение основных инженерных задач на планах и картах / Е. Б. Михаленко, Н. Н. Загрядская, Н. Д. Беляев и другие. – Санкт-Петербург : Политехнический университет, 2006. – 78 с.
11. Мячина А. А. Проблема топографо-геодезического обеспечения рационального землепользования / А. А. Мячина // Человек. Природа. Общество. Актуальные проблемы : материалы Международной молодежной конференции в рамках фестиваля науки (7 сентября 2012 г.). – Воронеж, 2012. – 22 с.

12. Неведова Г. А. Теория математической обработки геодезических измерений в конспективном изложении / Г. А. Неведова, В. А. Ащеулов. – Новосибирск : Сибирская государственная геодезическая академия, 2009. – 51 с.
13. Позняк А. С. Алгоритмы и программы для решения типовых геодезических задач / А. С. Позняк. – Минск : Белорусский национальный технический институт, 2008. – 27 с.
14. Субботин И. Е. Справочник строителя по инженерной геодезии / И. Е. Субботин, А. С. Мазницкий. – Киев : Будівельник, 1972. – С. 28–29.
15. Судаков С. Г. Основные геодезические сети / С. Г. Судаков. – Москва : Недра, 1975. – 268 с.
16. Телеганов Н. А. Метод и системы координат в геодезии / Н. А. Телеганов, Г. Н. Тетерин. – Новосибирск : Сибирская государственная геодезическая академия, 2008. – 54 с.

References

1. Atroshko Ye. K., Ivanova M. M., Marendich V. B. *Geodeziya v promyshlennom i grazhdanskom stroitelstve* [Surveying in the industrial and civil engineering], Gomel, Belarusian State University of Transport Publ. House, 2009. 56 p.
2. Bagratuni G. V., Lukyanov V. F., Sokolskiy Ya. A., Sukhov A. N. *Spravochnik po geodezicheskim razbivochnym rabotam* [Reference on geodetic marking works], Moscow, Nedra Publ., 1982. 90 p.
3. Belyaev B. I. *Praktikum po matematicheskoy obrabotke marksheydersko-geodezicheskikh izmereniy* [Practicum on mathematical processing of surveying and geodetic measurements], Moscow, Nedra Publ., 1989. 274 p.
4. Bolshakov V. D., Markuze Yu. I. *Praktikum po teorii matematicheskoy obrabotki geodezicheskikh izmereniy* [Practicum on the theory of mathematical processing of geodetic measurements], Moscow, Nedra Publ., 1984. 202 p.
5. Bolshakov V. D., Markuze Yu. I., Golubev V. V. *Uravniwanie geodezicheskikh postroeniy* [Equalizing of the geodesic constructions], Moscow, Nedra Publ., 1989. 189 p.
6. Gerasimov A. P. *Uravniwanie gosudarstvennoy geodezicheskoy seti* [Equalization of the state geodetic network], Moscow, Kartgeotsentr – Geodezizdat Publ., 1996. 88 p.
7. Yermakov V. S., Mikhaleiko Ye. B., Zagryadskaya N. N., Belyaev N. D., Dukhovskoy F. N. *Inzhenernaya geodeziya. Geodezicheskie seti* [Engineering geodesy. Geodetic network], Saint Petersburg, St. Petersburg State Polytechnical University Publ. House, 2003. 41 p.
8. Kuroshv G. D. *Topografiya* [Topography], Moscow, Akademiya Publ., 2011. 140 p.
9. Mashimov M. M. *Geodeziya. Teoreticheskaya geodeziya* [Geodesy. Theoretic geodesy], Moscow, Nedra Publ., 1991. 187 p.
10. Mikhaleiko Ye. B., Zagryadskaya N. N., Belyaev N. D. et al. *Inzhenernaya geodeziya. Reshenie osnovnykh inzhenernykh zadach na planakh i kartakh* [Engineering geodesy. The solution of basic engineering problems on the plans and maps], Saint Petersburg, St. Petersburg State Polytechnical University Publ. House, 2006. 78 p.
11. Myachina A. A. Problema topografo-geodezicheskogo obespecheniya ratsionalnogo zemlepolzovaniya [The problem of topographic and geodesic provide of rational land management]. *Chelovek. Priroda. Obshchestvo. Aktualnye problemy : materialy Mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii v ramkakh festivala nauki (7 sentyabrya 2012 g.)* [People. Nature. Society. Actual problems. Proceedings of the International Youth Conference under the Science Festival (September 7, 2012)], Voronezh, 2012. 22p.
12. Nefedova G. A., Ashcheulov V. A. *Teoriya matematicheskoy obrabotki geodezicheskikh izmereniy v konspektivnom izlozhenii* [The theory of mathematical processing of geodetic measurements in a synoptic presentation], Novosibirsk, Siberian State Academy of Geodesy Publ. House, 2009. 51 p.
13. Poznyak A. S. Algoritmy i programmy dlya resheniya tipovykh geodezicheskikh zadach [Algorithms and software for typical geodetic problems], Minsk, Belarusian National Technical University Publ. House, 2008. 27 p.
14. Subbotin I. Ye., Maznitskiy A. S. *Spravochnik stroitelya po inzhenernoy geodezii* [Directory of builder on engineering geodesy], Kiev, Budivelnik Publ., 1972, pp. 28–29.
15. Sudaakov S. G. *Osnovnye geodezicheskie seti* [Basic geodetic network], Moscow, Nedra Publ., 1975. 268 p.
16. Teleganov N. A., Teterin G. N. *Metod i sistemy koordinat v geodezii* [The method and systems of coordinates in geodesy], Novosibirsk, Siberian State Academy of Geodesy Publ. House, 2008. 54 p.