

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI - 10.32743/UniTech.2021.87.6.11986

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ СГУЩЕНИЯ
ВБЛИЗИ КАРЬЕРА**Мирмахмудов Эркин Рахимжанович**

канд. физ.-мат. наук, доцент,
кафедра геодезии и геоинформатики,
Национальный университет Узбекистана,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: erkin_mir@mail.ru

Ковалев Никита Владимирович

доцент,
кафедра маркшейдерии и геодезии,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Ниязов Вахиджон Рузиевич

докторант,
кафедра геодезии и кадастра,
Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт,
Республика Узбекистан, г. Самарканд

Рахимова Мухлиса Хасановна

докторант,
кафедра маркшейдерии и геодезии,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

OPTIMAL METHOD FOR DESIGNING GEODETIC DENSITY NETWORK
IN THE NEAR QUARRY**Erkin Mirmakhmudov**

Associate prof., Ph.D.,
geodesy and geoinformatics department,
National University of Uzbekistan
Uzbekistan, Tashkent

Nikita Kovalev

associate prof.,
mine surveying and geodesy department,
Tashkent State Technical University
Uzbekistan, Tashkent

Vakhidjon Niyazov

Postgraduate,
geodesy and cadastre department,
Samarkand state architecture and building institute,
Uzbekistan, Samarkand

Mukhlisa Rakhimova

Postgraduate
mine surveying and geodesy department,
Tashkent State Technical University
Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В данной статье описаны основные требования к проектированию опорной геодезической сети сгущения вблизи карьера. Изложены классические методы сгущения по угловым измерениям и требования к ним. Оптимальное расположение определяемых пунктов для маркшейдерии приводится в данной работе. Разработана оптимальная схема определения координат определяемых пунктов в окрестности карьера "Мурунтау", используя решение прямой геодезической задачи. Целесообразность предварительного расчета точности координат определяемых пунктов рекомендуется в статье. Отмечается роль ГНСС при повышении точности пунктов триангуляции и разработке новой высокоточной геодезической сети вблизи карьера. Подчеркивается, что пункты проектируемой сети должны быть основой при проведении инженерно-изыскательских работ, а также источником для составления цифровых топографических карт крупного масштаба района горных работ.

ABSTRACT

This article describes the basic requirements for the design of the geodetic control network of the concentration near the open pit. The classical methods of thickening the geodetic network by angular measurements and the requirements for them are presented. The optimal location of the determined points of the geodetic network for mine surveying is given in this work. An optimal scheme for determining the coordinates of the determined points in the vicinity of the "Muruntau" open-pit mine has been developed, using the solution of a direct geodetic problem. The expediency of a preliminary calculation of the accuracy of the coordinates of the determined points is recommended in the article. The role of GNSS in improving the accuracy of triangulation points and developing a new high-precision geodetic network near the open pit is noted. It is emphasized that the points of the reference geodetic network should be the basis for engineering and survey work, as well as a source for compiling large-scale digital topographic maps of the mining area.

Ключевые слова: геодезическая сеть, триангуляция, нивелирование, маркшейдерия, карьер, оптимизация, предварительная точность, ГНСС.

Keywords: geodetic network, triangulation, leveling, mine surveying, optimization, preliminary accuracy, GNSS.

Введение

Геодезические сети сгущения приобретают особый статус и требуют пристального внимания со стороны топографо-геодезических организаций, так как маркшейдерские работы в окрестности горных рудников опираются на геодезические пункты, координаты которых определены высокоточными цифровыми инструментами. Однако встречаются карьеры, где вблизи которых отсутствуют опознавательные знаки или же расположены очень далеко от места поиска полезных ископаемых. В окрестности этих объектов следует детально произвести проектирование опорной геодезической сети с учетом рельефа местности и конфигурации сети [1]. Поэтому очень важно на стадии проектирования соблюсти определенные требования к геометрии сети, выполнив предварительный расчет точности координат. Такая процедура, к сожалению, не всегда выполняется во время инженерно-изыскательских работ, что приводит к не предсказуемым результатам и снижению точности координат определяемых пунктов.

В данной работе рассмотрены способы оптимизации сети сгущения вокруг некоторых карьеров Республики Узбекистана [2]. Известно, что в окрестности этих сооружений должны быть пункты государственной геодезической сети (ГГС), но на практике не везде соблюдается это требование. Возникает задача о проектировании высокоточной геодезической сети на основе современных геоинформационных технологий.

Внедрение цифровых измерительных приборов позволяет решить проблему проектирования и расчета точности с минимальными затратами времени и на высоком научно-техническом уровне. Помимо этого, разработка пространственной цифровой модели

карьера и его окрестности даст полезную информацию о рельефе исследуемого района и динамике изменений слоев, находящихся под карьером. С этой точки зрения, позиционные измерения, произведенные традиционными инструментами и которые будут выполнены с помощью современных цифровых геодезических инструментов, представляют ценную информацию при выполнении горных работ.

Классические методы сгущения сети

Обычно в окрестности горных предприятий имеются ГГС, которые подразделяются на сети I и II разрядов, служащие для обеспечения топографических съемок крупных масштабов и решения инженерно-технических задач [3]. Пункты плановой опорной сети должны быть расположены с плотностью 4 знака на 1 км², а для высотного положения I репер на 5 км с учетом рельефа местности и характера горных работ. Конструкция опорных сетей может быть в виде треугольников, четырехугольников или же многоугольников в зависимости от размера и конфигурации месторождения. На пунктах I разряда устанавливают простые пирамиды и сигналы, а для II разряда допускается установка вех [4].

В окрестности карьера создается густая сеть в виде нивелирных марок и реперов, которая должна быть привязана к государственной нивелирной сети. В зависимости от способа разработки производится нивелирование IV класса или техническое нивелирование [5]. При этом надо учесть, что горные работы ведутся непрерывно, а тахеометрические съемки производят в течение всего периода разработки месторождения. Это означает, что маркшейдерские сети необходимо периодически повторять, т.к. точки предыдущих съемок оказываются уничтоженными,

а восстановить их не всегда возможно. Тахеометрическая съемка рельефа, выполняемая за пределами горных работ, должна представлять собой отдельный ход. На карьерах, где прокладка полигонов является трудоемкой работой, положение пунктов съёмочного обоснования может быть определено методом прямых и обратных засечек (рис.1), используя формулу Юнга [6].

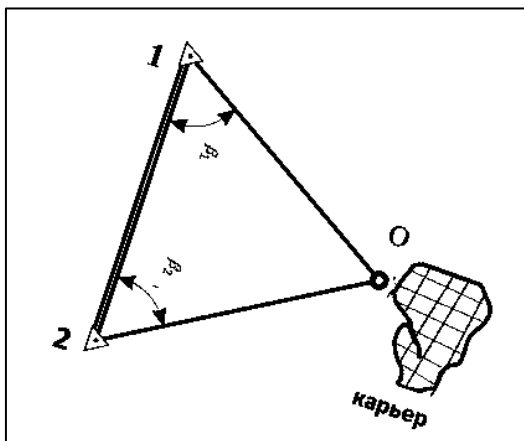


Рисунок 1. Схема определения положения пункта “O”

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + y_2 - y_1}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \\ y_0 &= \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - x_2 + x_1}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \end{aligned} \right\} (1)$$

Если же известны расстояния до определяемого пункта (рис.2), то поправка между известными и определяемыми точками (S_1, S_2) вычисляется по формуле (2).

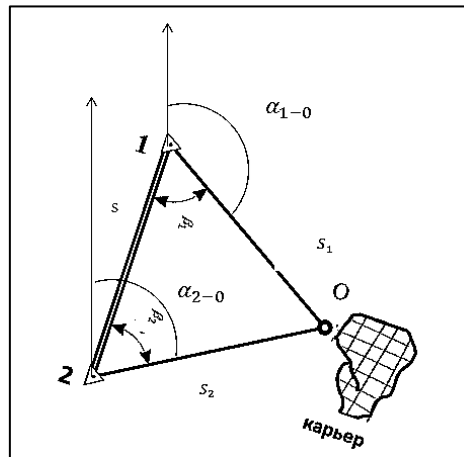


Рисунок 2. Схемы определения приращений координат

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{1-0} &= \frac{S_{12} \sin \beta_2 \cos (\alpha_{12} - \beta_1)}{\sin (\beta_1 - \beta_2)} \\ \Delta x_{1-0} &= \frac{S_{12} \cos \alpha_{12} \cos \beta_2 \sin \beta_1 + S_{12} \sin \alpha_{12} \sin \beta_2 \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \cos \beta_2 + \cos \beta_1 \sin \beta_2} \end{aligned} \right\} (2)$$

где S_{12} - расстояние между двумя пунктами, α_{12} - дирекционный угол, β_1, β_2 - измеренные углы.

Используя формулы (1), (2) необходимо произвести предварительный расчет точности координат, хотя на практике придерживаются инструкций и положений, изданных главным управлением геодезии и картографии [7].

Оптимизация проектирования сети

Современные тахеометры позволяют измерять не только горизонтальный и вертикальный угол, но и расстояние с высокой точностью до пункта, где устанавливается отражатель (рис.3). В последние годы появились универсальные тахеометры, где встроены приемники глобального спутникового позиционирования [8]. Из-за ограниченности финансирования приходится использовать эти определения отдельно, решая методом последовательных приближений.



Рисунок 3. Отражатель и тахеометр на геодезическом пункте

В [1] решался вопрос как при заданных параметрах на измерения определялись конечные результаты с наибольшей точностью или как требуемую точность определяемых неизвестных получить с минимальными затратами. Описано было, что этого можно достичь путем оптимального распределения весов измеряемых величин. Здесь решается задача при заданных позиционных измерениях получить оптимальную точность сети. Положение пунктов должно удовлетворять некоторой заданной системе ограничений, которую следует рассчитать с помощью известных формул и уравнений. Такую систему ограничений условно можно назвать областью оптимизации определяемых точек. Определение оптимального расположения пунктов имеет практический смысл только в том случае, когда положение отдельных точек может быть выбрано произвольно или хотя бы в пределах заданной области построения. Известно, что точность измеренных величин в триангуляционных, трилатерационных и полигонометрических сетях зависит, кроме условий измерений, также и от геометрии сети.

Проблема проектирования с последующей оптимизацией остается актуальной во всех республиках, включая Узбекистан. Более детально этой проблеме уделено внимание в работе [9], где рассмотрены методы математического проектирования, используя аналитические и численные выражений системы нормальных уравнений, а также освещены вопросы предварительного вычисления точности измерений с учетом экономических принципов планирования народного хозяйства.

Благодаря прогрессу в изготовлении высокоточных тахеометров, позволяющих производить измерения с автоматической регистрацией отсчетов

горизонтального и вертикального кругов, а также измерения расстояний, стало возможным построение специальных геодезических сетей. С внедрением в геодезическую практику спутниковых измерений [10] и компьютерной технологии появилась возможность определения координат пунктов с более высокой точностью, где не требуется знать прямой видимости между определяемыми пунктами, а также отпадает необходимость в постройке наружных знаков. Применение ГНСС привели к необходимости разработки СГС вокруг промышленных объектов.

Рекомендации и выводы

Использование методов математического программирования позволит получить наилучшее по точности и экономической выгоды схемы геодезических построений вокруг особо важных объектов. Проектирование методами математического программирования приобретает все большее значение в связи поиском полезных ископаемых. Например, в окрестности горно-добывающего карьера “Зармитан” геодезическая сеть отсутствует или же пункты расположены очень далеко (рис.4). Имеется один пункт “Каратапа”, который находится в 1 км от объекта. Даже если имеются пункты с достаточной плотностью вблизи карьеров, все равно необходимо произвести уточнение координат с использованием современных высокоточных спутниковых приемников. Тем самым достигается повышение точности планово-высотных координат в приемлемой картографической проекции Гаусса – Крюгера [11]. Конечно, в таких случаях целесообразно выполнить привязку координат к WGS 84.

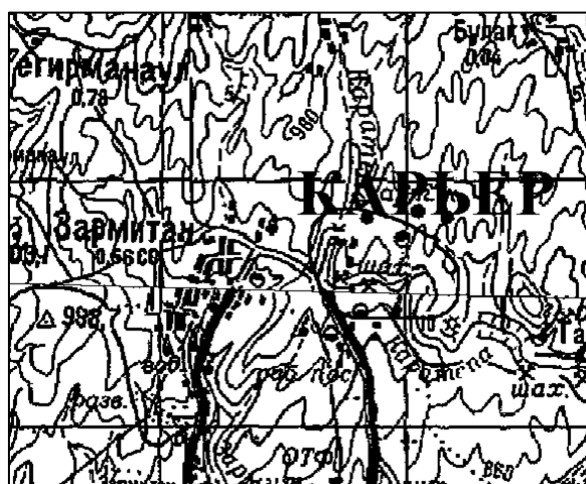


Рисунок 4. Фрагмент топографической карты карьера “Зармитан”

В [5] подробно изложено обязательное требование при ГНСС измерениях, где необходимо произвести привязку к ГГС с соблюдением всех положений, закрепленных в инструкции. Обязательным этапом в проектировании должна быть оценка точности отдельных ее элементов и установление соответствия полученных результатов заданным требованием.

Разработка схемы сети сгущения является основным этапом при ГНСС измерениях вблизи особо важных объектов. На самом деле, из-за физико-географических условий местности трудно добиться одинаковых углов и расстояний между пунктами, что приходится производить модификацию геодезической сети [12]. Например, для карьера “Мурунтау”

произведены модельные расчеты, позволяющие построить оптимальную схему сети (рис.5). При избыточном количестве измерений используется параметрический способ уравнивания Гаусса - Дулитля

с промежуточным контролем элиминационных строк. В результате координаты пунктов становятся на несколько порядков выше по точности и уровню качества.

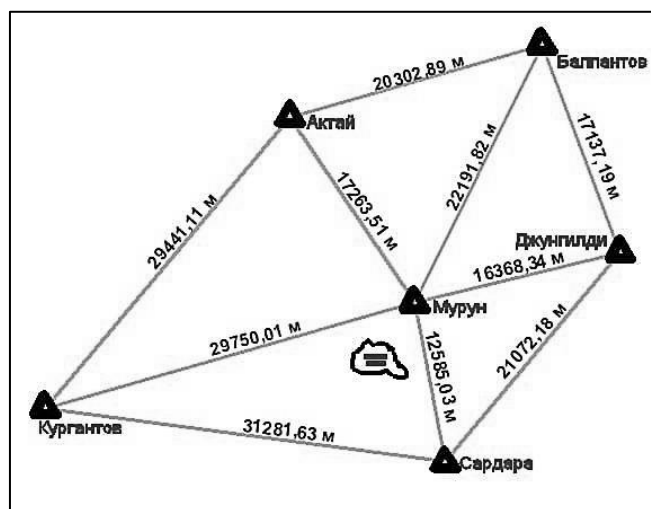


Рисунок 5. Геодезическая сеть вокруг карьера Мурунтау

Заключение

В настоящее время традиционные сети вокруг карьера следует реанимировать и на их центрах произвести ГНСС измерения в пространственной геодезической системе координат. В результате создается точная математическая основа топографических планов и карт, которые будут источниками формирования цифровой модели рельефа карьера и его окрестности. Предварительный расчет точности

выявит места оптимальной конфигурации пунктов с учетом рельефа и геометрического ориентации относительно базиса.

Таким образом, оптимальное расположение опорной геодезической сети приведет к корректному решению системы нормальных уравнений и получению поправок к исходным координатам. В будущем необходимо рассмотреть вопрос оптимизации геодезической сети в окрестности всех карьеров Республики Узбекистан.

Список литературы:

1. Тамутис З.П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. – М.: Недра, 1979 г. – 127 с.
2. Мирмахмудов Э.Р., Кадыров Ф.Т., Ниязов В.Р. Рекогносцировка геодезических пунктов в окрестности карьера “Мурунтау”: сб. статей по материалам V - Международной научно-практической конференции. Уфа, 29 января 2021. С. 159-168.
3. Закатов П.С. Курс Высшей геодезии. – М.: Недра, 1976.
4. Попов В.Н., Букринский В.А., Бруевич П.Н., Боровский Д.И. и др. Геодезия и маркшейдерия. – М. Недра, 2017.- 456 с.
5. Мирмахмудов Э.Р., Ниязов В.Р., Аралов М.М. Проектирование геодезической сети сгущения в окрестности промышленных объектов // Вестник науки. Научный журнал. №5-1(7), С. 212-220.
6. Тихонова Т.С., Ваганов И.В. Определение координат дополнительных пунктов: лабораторный практикум. Пермь: –ИПЦ «Прокрость», 2018. 53 с.
7. Большаков В.Д., Гадаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. –М.:Недра,1977. – 368 с.
8. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – М: Картгеоцентр, 2005. Т. 1. – 334 с.
9. Тамутис З.П. Проектирования инженерных геодезических сетей.–М.: Недра, 1990. – 138 с.
10. Бойко Е.Г., Кленецкий Б.М., Ландис И.М., Устинов Г.А. Использование искусственных спутников Земли для построения геодезических сетей. –М.:Недра, 1977.- 376 с.
11. Маркузе Ю.И. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ. –М.: Недра, 1989. –248 с.
12. Маркузе Ю.И. Основы уравнивательных вычислений. –М.: Недра, 1990.–240 с.