

УДК 621.316

Потапов М.А., главный инженер (ООО «СГП-АДК»), научный сотрудник  
каф. МДиГ ГИ (КузГТУ), Михайлова Т.В., к.т.н., доцент, зав. каф. МДиГ  
ГИ (КузГТУ)  
г. Кемерово

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПУНКТОВ ОПОРНОЙ СЕТИ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА

Горнодобывающие предприятия, особенно ведущие разработку месторождения открытым способом, занимают значительные площади. Это связано с особенностью залегания полезного ископаемого и необходимости складировать отвалы «пустой» горной массы, как в случае добычи, например, каменного угля. Поэтому площади могут достигать 150 км<sup>2</sup>. Таким образом цифровая аэрофотосъёмка (ЦАФС), в т.ч. с БПЛА, является самым эффективным инструментом получения актуальных пространственных данных для разработки проекта геологоразведочных работ и проектной документации для строительства.

Свод правил на инженерно-геодезические изыскания в строительстве [1] в п. 5.3.2.11 предписывает при производстве ЦАФС создавать сеть базовых станций и опознаков по правилам опорной сети и съёмочной сети соответственно. Опознаки используются для фотограмметрического уравнивания, а базовые станции для определения координат центров фотографирования во время авиационных работ. В тоже время базовые станции, являясь пунктами опорной сети являются исходными для определения координат опознаков. Таковых исходных пунктов для съёмочной сети (опознаков) для спутниковых геодезических определений должно быть не менее 5 по высоте и 4 в плане согласно п. 5.3.19 [1].

В свою очередь исходными для съёмочной сети являются пункты опорной сети (ОГС), геодезической сети специального назначения (ГССН) или пункты Государственной геодезической сети (ГГС), если вышеуказанные сети не создаются (п. 5.3.2.1 [1]). Случай использования для съёмочной сети ГССН, как исходной предписывает значительную работу по обоснованию необходимости проектированию и созданию, поэтому здесь не рассматривается. А использование как исходных пунктов ГГС затруднено ввиду их плохой сохранности, необходимости их выбора за пределами влияния горных работ в т.ч. подземных. Кроме того, большинство инженерно-геодезических изысканий ведётся в сетях, основанных на системе координат 1942 года (СК-42) – местных, либо локальных предприятий, т.к. только с 01.01.2021 года координаты лицензионных границ новых участков недр выдаются в Государственной системе координат 2011 года (ГСК-

2011) [2]. Ошибки между пунктами в СК-42, вызванных методическими подходами к её созданию, позволяет выбирать в качестве исходных пункты не ниже 3 класса, а то и 2 класса, изначально расположенных на значительном удалении друг от друга. Таким образом при ЦАФС, независимо от площади съёмки, оптимальным является создание минимум 5 базовых станций, являющихся исходными и в плане, и по высоте, определённых от пунктов ГГС.

Если обратиться к порядку получения координат базовых станций п. 5.1.2 и 5.1.5[1], то для них также требуется 5 исходных по высоте пункта ГГС с высотой определённый геометрическим нивелированием, и 4 исходных пункта в плане классом не ниже четвёртого. При использовании спутникового геодезического метода предписывается применять только сетевой метод согласно недействующего норматива [3]. Сетевой метод предписывает независимые определения координат пунктов ОГС, так чтобы на каждый пункт сети сходилось не менее 3-х векторов (базовых линий). На рисунке 1 показан пример сети из [3] и как такой метод реализуется на практике при планово-высотной подготовке ЦАФС.

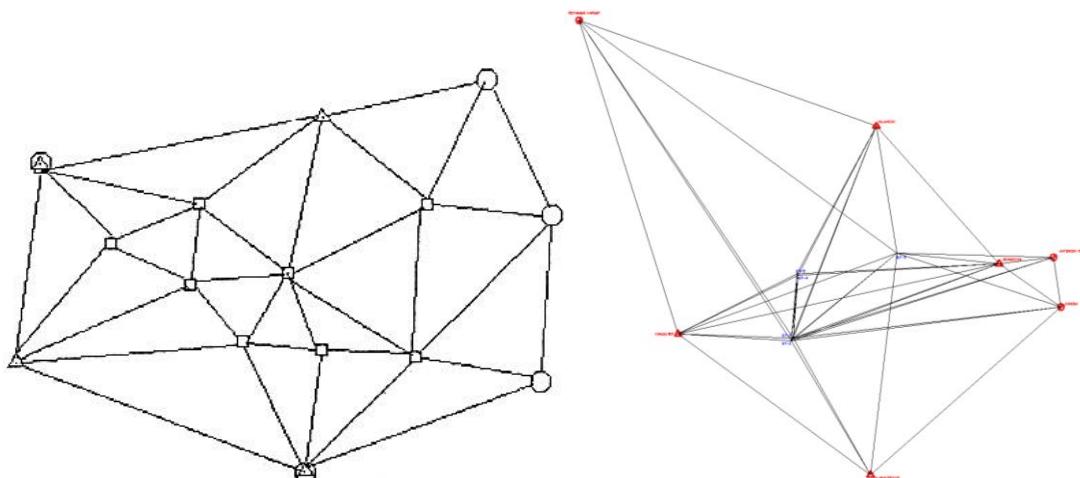


Рисунок 1. Пример сетевого метода из НТА (слева) и на реальном объекте (справа)

Исходя из вышесказанного, наибольшие трудозатраты вызывает необходимость производить измерения между смежными пунктами ГГС, а также обязательное закрепление базовых станций долговременными центрами, при их минимальном числе не менее 5 шт. На рисунке 2 показаны примеры закрепления на пне свежесрубленного дерева диаметром не менее 35 см и типом центра 136. Оба этих способа достаточно затратные по времени и стоимости расходных материалов, а в случае с центром 136 требуется ещё время, необходимое для «усадки» всей конструкции.

В 2022 году ООО «СГП-АДК» выполнило серию работ по ЦАФС для проектирования горнодобывающих предприятий. Все работы были выполнены в соответствии с требованиями, описанными выше. По завершении

всех работ нами было отобрано 5 объектов для проверки предположения об избыточности требований [1] и [3] для создания планово-высотного обоснования ЦАФС. В таблице 1 приведён список объектов и их характеристики.



Рисунок 2. Способы долговременного закрепления центров базовых станций

Таблица 1. Объекты исследования

Название участка	Субъект РФ	Площадь, га	Среднее расстояние от базовых станций до ГГС, м	Количество опознавательных знаков	Масштаб создаваемого плана, сеч. рельефа
Объединённый отвал	Кузбасс	367	9125	9	1:2000, 2 м
Амуроголь	Амурская область	6437	15177	42	1:5000, 2 м
Бунгурский	Кузбасс	700	8635	10	1:2000, 2 м
Черемховуголь	Иркутская область	1768	10116	20	1:2000, 1 м
Чуазасский	Кузбасс	2752	22915	18	1:2000, 2 м

В нашем исследовании сетевой метод с 5-ю базовыми станциями сначала упрощается до лучевого, затем рассматривается сетевой метод с 3-

мя базовыми станциями, а потом и он упрощается до лучевого как на рисунке 3

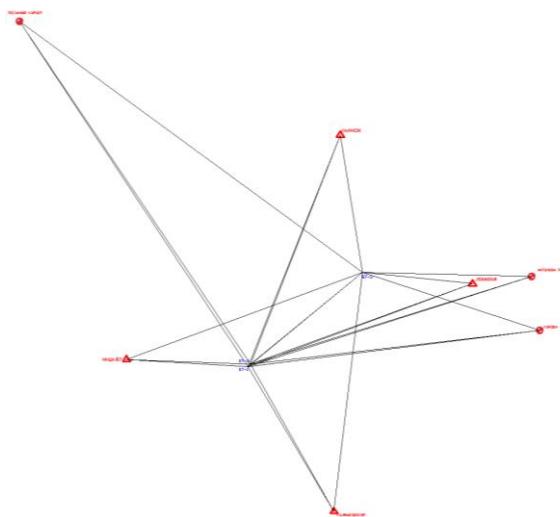


Рисунок 3. Лучевой метод с тремя базовыми станциями

Оценке подлежало конечное СКО на опознаке, полученное при координировании от базовых станций, координаты которых вычислены разными методами. Также контролировалось СКО самих базовых станций. Для построения сетей везде использовано оборудование Javad Triumph 1M, двухчастотное и трёхсистемное. Обработка результатов проведена в Trimble business center 5 и Magnet Tools 5.

В результате из 18 базовых станций, созданных на пяти объектах и более чем на 100 опознаках только единожды СКО базовой станции, превысило допуск по высоте (0,032 м при допуске 0,03 м) для объекта Черемховуголь, где самое большое среднее расстояние от базовых станций до ГГС. Подробно результаты оценки представлены в приложении к настоящему докладу.

При последовательном «ухудшении» метода определения координат базовых станций относительно требований СП 317.1325800.2017 выявлены минимальные, в пределах 20 мм, абсолютные отклонения пространственного положения. Рост СКО не превысил допустимых значений. Всё это никак не сказалось на качестве положения центров опознаков в пространстве (не более 12 мм); допуск для СКО также с запасом удовлетворён.

Проводя дальнейшие исследования на разном оборудовании и программном обеспечении в разных условиях необходимо сократить минимальное число базовых станций до трёх и закрепить лучевой метод как позволяющий достичь необходимой точности планово-высотной подготовки цифровой аэрофотосъёмки горных предприятий с БПЛА в рамках инженерно-геодезических изысканий. Также необходимо распространить действие ГОСТ 59562-2021 [4] на инженерные изыскания в строительстве.

Список литературы:

1. СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ" (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 22.12.2017 N 1702/пр) (ред. от 30.05.2022)
2. Письмо Федерального агентства по недропользованию от 15.02.2021 № ЕК-04-30/2081
3. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. "Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS" (утв. и введен в действие Приказом Роскартографии от 18.01.2002 N 3-пр)
4. ГОСТ Р 59562-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Съемка аэрофототопографическая. Технические требования"(утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.06.2021 N 542-ст)

Информация об авторах:

Потапов М.А., научный сотрудник кафедры МДиГ ГИ КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, potarovma@kuzstu.ru; главный инженер ООО «СГП-АДК», 650066, г. Кемерово, пр. Октябрьский, д. 28б, potapov@sgp.su

Михайлова Т.В., к.т.н., доцент, заведующая кафедры МДиГ ГИ КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, mdg@kuzstu.ru

Приложение

**Результаты оценки средней квадратической ошибки пунктов планово-высотной подготовки цифровой аэрофотосъёмки с БПЛА**

Допуски СКО для базовых станций составляют 0,05 м в плане и 0,03 см по высоте. Для опознаков приведены допуски СКО для M 1:500 сечением рельефа 0,5 м – 0,08 и 0,06 см соответственно.

1. Объединённый отвал. Талдинский разрез



Максимум: 0,026 м

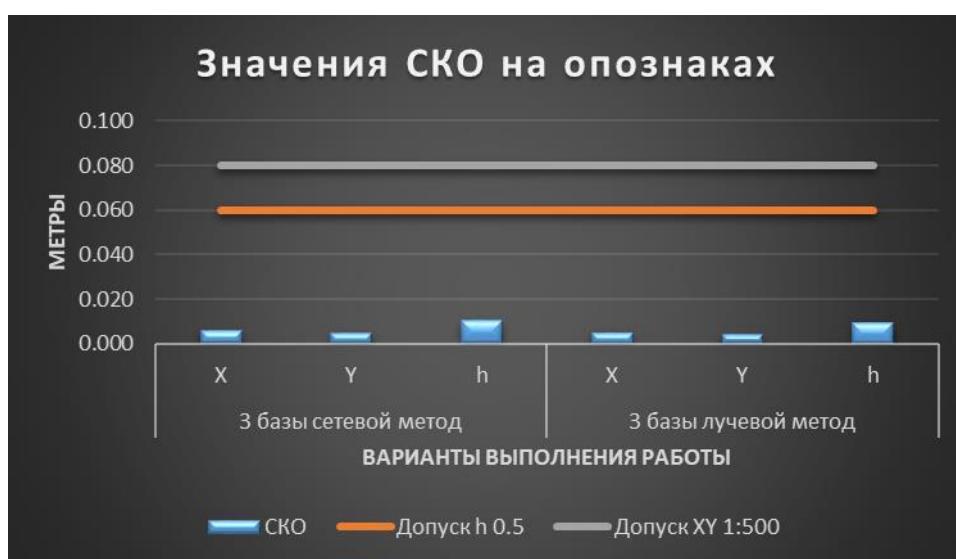


Максимум: 0,029 м

2. Амуруголь. Здесь создавалось всего три базовых станции, приведена оценка лучевого метода относительно сетевого



Максимум: 0,011 м



Максимум: 0,015 м

3. Бунгурский разрез. Значения по осям X и Y объединены.



Максимум: 0,021 м



Максимум: 0,006 м

4. Черемховуголь.



Максимум: 0,032 м – на одной из базовых станций превышен допуск



Максимум: 0,013 м

5. Чуазасский. Здесь создавалось всего три базовых станции, приведена оценка лучевого метода относительно сетевого



Максимум: 0,030 м – равно допуску



Максимум: 0,085 м – превышен допуск для M 1:500, но не превышен для масштаба 1:2000 м и сечения 2 м, для которого проводилась работа.