

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ВЫСОКОТОЧНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ВЫСОТ

## А.Э. Зубарев (МИИГАиК)

В 2008 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета работает в компании «Ракурс» и в МИИГАиК на кафедре высшей геодезии.

## С.В. Лебедев (МИИГАиК)

В 1963 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Забайкальском АГП и в 15-й экспедиции Гидропроекта. С 1965 г. работает в МИИГАиК на кафедре высшей геодезии, в настоящее время — профессор. Доктор технических наук.

## И.Е. Надеждина (МИИГАиК)

В 2005 г. окончила геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания университета работает в МИИГАиК, в настоящее время — ассистент на кафедре высшей геодезии.

## Ю.Е. Федосеев (МИИГАиК)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-геодезист». После окончания института работал на предприятиях Министерства среднего машиностроения СССР. В 1974 г. поступил в аспирантуру МИИГАиК и после защиты кандидатской диссертации работал на кафедре прикладной геодезии ассистентом, доцентом и профессором. С 2001 г. по 2004 г. работал главным инженером МЦГК. В настоящее время — ведущий научный сотрудник НИЧ МИИГАиК.

Наиболее трудоемким процессом геодезического обеспечения территорий высокоточными данными на современном этапе развития техники и технологии является создание и поддержание в рабочем состоянии высокоточных высотных сетей.

### ▼ Геометрическое нивелирование

В массовом производстве в достаточном количестве имеются электронные нивелиры, однако отсутствуют нормативные документы, определяющие порядок работы с этим типом инструментов. Традиционные методики, описанные в нормативных документах (инструкциях, руководствах и т. п.), создавались, исходя из предпосылки прева-

лирования действия случайных ошибок измерения, основным источником которых являлись процессы, связанные с личными ошибками исполнителей. Использование электронных нивелиров практически полностью исключает влияние этого источника ошибок. Однако действие всех источников систематических ошибок сохраняется, мало того, появляются дополнительные источники, обусловленные именно конструкцией электронных нивелиров.

В качестве примера приведем ряд наиболее острых, на наш взгляд, нерешенных проблем:

— отсутствие методик калибровки реек и обработки результатов измерений с учетом калибровочных поправок;

— наличие разных методик, описанных только в общих чертах и реализованных в программных средствах, обеспечивающих соблюдение главного условия нивелира (контроль стабильности визирного луча), включая вычисление угла  $i$ ;

— наличие в электронных нивелирах, по сути, двух оптических трактов, которые можно использовать как отдельно, так и совместно, что при неодинаковой освещенности разных реек приводит к дополнительным погрешностям (авторы столкнулись с этой проблемой при переходе в помещение и обратно, выполняя работы на территории Московского Кремля);

— отсутствие методик наблюдений на станции нивелиро-

вания, учитывающих автоматизацию регистрации получаемой информации.

Кроме того, методики изменений, описанные в действующих инструкциях, ориентированы на меры борьбы с ошибками, большинство из которых отсутствует в цифровых нивелирах, но не предусматривают возникновения систематических ошибок. На производстве получают невязки, формально допустимые, но с превалярованием одного знака.

В связи с этим методика нивелирования с применением цифровых нивелиров должна реализовывать иной подход, гарантирующий повышение точности измерений.

Необходимо разработать нормативный документ, дополняющий действующую инструкцию на случай применения электронных нивелиров. В нем должны найти отражение следующие разделы:

1. Требования к приборам, допускаемым к проведению высокоточных работ.

2. Методика метрологической аттестации нивелиров и реек. Регламент метрологической аттестации.

3. Методика проверок нивелиров и реек, выполняемых исполнителем в процессе производственных работ. Регламент этих проверок.

4. Рекогносцировка. Выбор и подготовка трассы для нивелирования.

5. Особенности методики работы на станции в зависимости от класса точности.

6. Допуски при работе на станции и их учет. Контрольные записи в журнале.

7. Передача протокола измерений в память компьютера.

8. Предварительная оценка результатов измерений. Определение участков, на которых необходимо повторить полевые измерения.

9. Порядок передачи и приема результатов полевых измере-

ний для их камеральной обработки.

10. Процедура введения метрологических поправок.

11. Методика уравнивания результатов геодезических измерений с преваляющим влиянием систематических источников ошибок.

12. Особенности методики полевых и камеральных работ при выполнении повторных циклов измерений, например при геодинамических исследованиях.

По всем перечисленным направлениям авторами проделаны определенные работы, результаты которых частично опубликованы. Однако они велись спонтанно, без единой постановки задачи. Наиболее упорядоченные работы выполнялись по техническим заданиям ГУП «Мосгоргеотрест». На основании этих работ были подготовлены стандарты предприятия, нормативные документы, например, выпущено пособие [1].

Необходимо признать, что полученные результаты и разработанные фрагменты методик носят несогласованный и отрывочный характер, так как ограниченное финансирование не предусматривало системных исследований и, тем более, проведения достаточно обширных экспериментально-производственных работ.

Имеющиеся данные, на наш взгляд, недостаточны для подготовки всеобъемлющих рекомендаций с их передачей в производство.

Конечной целью разработок по этому направлению должно стать предоставление экспериментальных методик для их практической апробации с последующим выпуском нормативного документа.

#### ▼ **Тригонометрическое нивелирование**

Технически нет строгих требований к выполнению высокоточного тригонометрического нивелирования, а также

инструкций и теоретически обоснованной методики, позволяющей оценить возможности тригонометрического нивелирования. Несмотря на это, применение электронных тахеометров в производстве для решения различных задач в инженерной геодезии только возрастает. Современное состояние дел в области строительства и инженерных изысканий неминуемо сводится к процессу автоматизации геодезических работ, поэтому повсеместное внедрение оптико-электронных приборов вполне обосновано.

Существуют научные исследования в области высокоточного тригонометрического нивелирования. Они относятся, в основном, к использованию оптико-механических приборов, а именно теодолитов, однако данные исследования не нашли массового применения в производстве. Методики, направленные на применение оптико-механических приборов, явно требуют существенной доработки, частичной переработки и переосмысления и не могут быть полностью перенесены без должных исследований на оптико-электронные приборы.

Необходимо разработать нормативный документ, который дополнит существующие научные исследования современными результатами. В него должны войти: оценка области применения метода, требования к качеству выполнения работ, а также следующие разделы.

1. Классы работ, требующие использования высокоточного тригонометрического нивелирования.

2. Требования к средствам измерения и их аттестации.

3. Методика полевой проверки и юстировки приборов.

4. Методика работы на станции, позволяющая ослабить влияние ряда приборных ошибок.

5. Методика контроля на всех этапах работ.

6. Требования к повторным наблюдениям.

7. Методика уравнивания результатов измерений с учетом влияния различных источников систематических ошибок в зависимости от типов задач.

8. Требования к отчетной документации.

В настоящее время у авторов имеются различные наработки в данной области исследования. Опубликованы статьи по совместной обработке разнородной информации на примере линейно-угловых сетей. Однако необходимо признать, что полученные результаты имеют лишь теоретический фундамент и практически не были опробованы в полевых условиях на производственных объектах из-за ограниченного финансирования.

На наш взгляд, при измерениях с помощью высокоточных электронных тахеометров можно достичь точности высокоточного геометрического нивелирования, используя метод триго-

нометрического нивелирования короткими лучами (до 150 м).

Наибольший эффект от применения этого метода можно ожидать на территориях городов и участках местности с большими уклонами, например при работе на дамбах гидротехнических сооружений.

Необходимо признать, что, несмотря на наличие всех разработок, полноценное внедрение их в массовое производство не может быть проведено на данном этапе.

Конечная цель разработок в этом вопросе сводится к доведению методик до уровня, пригодного для их передачи на экспериментально-производственный уровень проверки, и впоследствии — к подготовке полноценного нормативного документа для внедрения в массовое производство.

#### ▼ **Спутниковое нивелирование**

В последнее время тема спутникового нивелирования (опре-

деления высот точек местности методами космической геодезии) широко освещается в геодезической литературе. Но нет нормативного документа, регламентирующего порядок проведения данного вида работ, хотя Концепция развития отрасли геодезии и картографии до 2020 г. предусматривает применение этого метода определения высот. Тем острее встает вопрос о необходимости создания нормативных документов, регулирующих это направление.

При обработке результатов спутникового нивелирования инженер сталкивается с рядом задач, требующих его высокой квалификации, теоретических знаний из различных областей геодезии (сфероидическая геодезия, прикладная геодезия, физическая геодезия, радиогеодезия), а также умения применять специализированное программное обеспечение.

Отсутствие этих знаний ведет к получению результатов, не сопоставимых с геометрическим

#### ▼ **Толкование некоторых терминов, используемых в статье\*** (Прим. ред.)

**Высота** — расстояние от отсчетной поверхности до выбранной точки по нормали к этой поверхности. Примечание. Высота точки, расположенная выше отсчетной поверхности, является положительной, а ниже нее — отрицательной [ГОСТ Р 52572–2006].

**Высота геодезическая** — высота точки земной поверхности над поверхностью референц-эллипсоида, отсчитанная по нормали к эллипсоиду. Высота геодезическая определяется как сумма нормальной высоты и аномалии высоты. Аномалия высоты является высотой квазигеоида над поверхностью референц-эллипсоида. Высоты геодезические используются для редуцирования измеренных элементов геодезических сетей на поверхность референц-эллипсоида по методу проектирования, предложенному Ф.Н. Красовским. Практически нормальная высота совпадает с высотой над средним уровнем моря.

**Геодезическая высота (Н)** — расстояние от эллипсоида до точки на физической поверхности Земли по нормали к ее поверхности [ГОСТ Р 52572–2006]. Высота точки над поверхностью земного эллипсоида [ГОСТ 22268–76].

**Динамическая высота** — величина, численно равная отношению геопотенциальной величины в данной точке к некоторому постоянному значению ускорения силы тяжести Земли [ГОСТ 22268–76].

**Нормальная высота (Н<sup>н</sup>)** — величина, численно равная отношению геопотенциальной величины в данной точке к среднему значению нормальной силы тяжести Земли по отрезку, отложенному от поверхности земного эллипсоида [ГОСТ 22268–76].

Разность геопотенциала в данной точке и в начале счета высот, деленная на среднее значение нормальной силы тяжести на отрезке силовой линии нормального поля, соответствующем определяемой высоте [ГОСТ Р 52572–2006].

**Ортометрическая высота** — высота точки над поверхностью геоида [ГОСТ 22268–76].

Расстояние от точки на земной поверхности до поверхности геоида, измеряемое по направлению отвесной линии (высота относительно среднего уровня моря).

**Эллипсоидальная высота** — вертикальное расстояние между положением точки на земной поверхности и поверхностью эллипсоида.

\* Справочник стандартов и употребляемых (распространенных) терминов по геодезии, картографии, топографии, геоинформационным системам, пространственным данным / В.Н. Александров, М.А. Базина, И.Г. Журкин, Л.В. Корнилова, В.Г. Плешков, Г.Г. Побединский, А.В. Ребрий, О.В. Тимкина. — М.: Братишка, 2007. — 736 с.

нивелированием, и, как следствие, невозможности их интерпретации [2].

Следует отметить, что в зарубежной литературе под спутниковым нивелированием понимается определение ортометрических высот.

Необходимо создать методический, а потом и нормативный документ, дающий четкие инструкции по проведению и обработке результатов спутникового нивелирования. В него должны войти следующие разделы:

1. Требования к приборам.
2. Методика метрологической аттестации спутникового оборудования.
3. Рекогносцировка точек для спутникового нивелирования с учетом особенностей условий прохождения сигнала.
4. Методика работы на станции в зависимости от требуемой точности и класса прибора.
5. Методика обработки измерений, включающая вопросы:

— совместной обработки измерений, выполненных при использовании приборов разных производителей и типов;

— конвертирования данных в разные форматы;

— введения поправок за влияние ионосферы, тропосферы, а также слоев воздуха вблизи поверхности Земли;

— определения положения фазового центра антенны.

Разногласия по последнему вопросу и различные реализации частных решений на практике могут привести к результатам, отличающимся по точности в несколько сантиметров.

Отдельная глава должна быть посвящена вопросам, связанным с системами высот, в частности, таким как:

— методика получения нормальной высоты из геодезических (эллипсоидальных) высот;

— методика распространения нормальных высот на основе спутникового нивелирования.

В настоящее время у специалистов, выполняющих геодези-

ческие работы, и у разработчиков оборудования существует путаница в этих вопросах, причем не только из-за разногласия в терминологии, но и из-за российских требований к соблюдению режимных ограничений.

Перечисленные проблемы имеют решения, но говорить об их широком практическом применении еще преждевременно.

Должны быть рассмотрены вопросы, связанные с созданием единой программы обработки результатов спутникового нивелирования.

Выполненные авторами эксперименты по оценке возможной точности получения превышений, т. е. разности геодезических высот, позволяют надеяться на достижение средней квадратической погрешности порядка 4–6 мм при расстояниях до 5–25 км. Однако эти эксперименты необходимо повторить.

#### ▼ **Комбинированные методы**

Наиболее эффективным путем решения описанных выше проблем, на наш взгляд, является организация работ с применением комбинированной методики работ. То есть на одной и той же территории совместно используется геометрическое, тригонометрическое и спутниковое нивелирование, причем имеются точки, отметки которых определены как из совместных измерений, так и только одним из методов. Например, при выполнении работ на закрытой и открытой территории, в помещениях или под землей целесообразно создавать отдельные сети, которые объединяются в одно целое через совместные точки и перекрывающиеся участки.

Описание работ такого типа в технической литературе и, тем более, в нормативных документах, отсутствует полностью.

Результаты проведенных работ на территории Мытищинского района Московской области позволяют надеяться и утверж-

дать, что совместное использование геометрического (электронные и оптические нивелиры) и спутникового нивелирования способно обеспечить всю территорию нормальными высотами. При этом предельная погрешность нормальных высот может составлять порядка 3–4 см (в первом приближении) и 10 мм (во втором приближении).

Превышение между двумя реперами, удаленными не менее чем на 3 км, целесообразно получать с точностью нивелирования III класса.

Экономическая выгода от использования такой технологии очевидна. Но для ее практического применения необходимо проделать большой объем как теоретических, так и экспериментальных работ, включая в последние и экспериментально-производственные работы.

#### ▼ **Список литературы**

1. Гаврилов С.Г., Никулин М.А., Федосеев Ю.Е. Мониторинг деформационных процессов геодезическими методами. Дополнение Пособия к МГСН 2.07-01 Основания, фундаменты и подземные сооружения. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений. Ч. 2. Москва, Правительство Москвы, Москомархитектура, 2005.

2. Федосеев Ю.Е. Особенности применения спутникового нивелирования для построения городских высотных сетей // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. — 2005. — № 2(7).

#### **RESUME**

The authors, drawing on their own long experience, analyze the problems arising from the use of electronic levels and total stations, as well as satellite equipment in the absence of the necessary instructions and manuals. Proposals for conducting research, production and experimental work and preparation of regulatory and technical documents for widespread use of geometric, trigonometric and satellite leveling techniques are given.