

# К 140-ЛЕТИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ РОССИИ\*

**Г.Л. Хинкис** (Колледж геодезии и картографии МИИГАиК)

В 1968 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал на Предприятии № 2 (Хабаровск), в ГПИ и НИИГА «Аэропроект» МГА СССР. С 1972 г. работает в Колледже геодезии и картографии МИИГАиК (ранее — Московский топографический политехникум), с 1990 г. по настоящее время — директор. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

**В.Л. Зайченко** (Московский колледж архитектуры и строительства № 7)

В 1967 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал в Якутском АГП и ЦНИИГАиК, служил в частях ВТС ВС СССР (1968–1970), работал в МИИГАиК, Московском колледже архитектуры и строительных искусств, Колледже геодезии и картографии МИИГАиК. В настоящее время работает в Московском колледже архитектуры и строительства № 7. Кандидат технических наук, доцент.

Главная высотная основа Российской Федерации в настоящее время реализуется государственной нивелирной сетью пунктов I и II классов.

Эта сеть включает более 400 тыс. км линий высокоточного геометрического нивелирования, образующих более тысячи замкнутых полигонов и более ста тысяч нивелирных пунктов. Это уникальное по своему масштабу, точности и значению для экономики и науки страны геодезическое построение не имеет аналогов в мире. Вся нивелирная сеть на территории России от Калининграда до Владивостока опирается на один исходный пункт — Кронштадтский футшток, в котором средний многолетний уровень Балтийского моря принят за начало отсчета нормальных высот (Балтийская система высот 1977 г.).

Работа по созданию единой высотной сети на всей территории России началась в середине XIX века, когда российскими учеными и специалистами была

понята необходимость и будущее значение такого геодезического построения.

Геодезическую деятельность нельзя рассматривать отдельно от той исторической и экономической ситуации, в которой она осуществляется.

Вторая половина XIX века занимает особое место в российской истории. По значимости данный период можно сравнить только с эпохой реформ Петра I. 18 февраля 1855 г. на престол вступил Александр II (1818–1881). С этого момента в стране начались преобразования, затрагивавшие все стороны общественной жизни: отмена крепостного права, земельная, городская, судебная, военная реформы, реформа в образовании.

Продолжалась расширяться территория государства. Активизировался рост промышленности. Развивалась сеть железных дорог. Осуществлялся поиск и разработка месторождений нефти и других полезных ископаемых. Происходили из-

менения в области землепользования (необходимость в межевании земель). Все это и многое другое потребовало выполнения систематических геодезических работ.

Известный российский геодезист, астроном и педагог Н.Я. Цингер (1842–1918) в 1878 г. писал, что точное определение разности высот точек земной поверхности становится все более и более необходимым как в интересах чисто научных, так и практических; что надежных гипсометрических данных недостаточно, так как многие из пунктов триангуляции, расположенных на европейской части России, не имеют точных высот [1].

Действительно, до 1870-х гг. в России геодезисты использовали два основных метода измерения высот точек местности: барометрический и тригонометрический.

По результатам барометрического нивелирования вычислялись высоты точек местности для отображения рельефа

\* В статье приводятся данные в метрической системе. В описанный период в России при проведении геодезических работ в качестве единиц измерения длины использовались верста и сажень.

на картах. Часть точек земной поверхности над уровнем моря, в том числе и астрономические пункты, определялись в первой половине XIX века переносными ртутными барометрами (барометр Фортена), а несколько позже — переносными металлическими барометрами-анероидами (барометр Види) [2]. В 1812 г. естествоиспытатели Отто Энгельгардт (1779–1842) и Иван Паррот (1791–1841) этим методом впервые осуществили измерение высот между Черным и Каспийским морями [3].

Тригонометрический метод определения высот пунктов триангуляции применил в 1816 г. известный военный геодезист и астроном К.И. Теннер (1783–1859). Им были вычислены высоты 100 пунктов сети 1 класса и 1225 пунктов 2 класса Виленской триангуляции [4]. К.И. Теннер ввел в практику обязательное определение высот опорных пунктов этим методом. Данный метод был в то время наиболее точным и удовлетворял требованиям топографов и картографов при изображении на картах рельефа штриховым способом.

В 1836–1837 гг. тригонометрический метод нивелирования использовался российскими астрономами и геодезистами А.Н. Савичем (1810–1883) и Е.Е. Саблером (1810–1864) под руководством В.Я. Струве (1793–1864) в целях определения разностей уровней Азовского и Каспийского морей. В результате проложения хода параллактической полигонометрии между Таганрогом и Черным Рынком (в настоящее время — п. Кочубей, Республика Дагестан) длиной в 878,6 км было определено плановое и высотное положение 30 населенных пунктов и ряда гор Кавказа: Бештау, Эльбруса, Казбека и др. Уровень Кас-

пийского моря из этих определений оказался на 26 м ниже Азовского, т. е. близким к значению, полученному впоследствии из точных измерений методом геометрического нивелирования [5].

Вплоть до 1870-х гг. на территории России не было создано сети пунктов с надежно определенными значениями абсолютных нормальных высот. Это было связано и с принятым в то время методом изображения рельефа на картах штрихами (гашюрами), дававшим по существу только представление о неровности местности и о превышениях (уклонах) между точками местности. Вследствие этого, вопрос абсолютных высот был не актуален, и их точные значения, полученные при проложении нивелирных ходов, не использовались.

Но, в связи с расширением в России строительства железных дорог, проведения работ по исследованию водного режима рек, изучения геологического строения недр, а также с совершенствованием техники и тактики военного дела, все сильнее стала появляться потребность в точном отображении рельефа на картах. Повысились и требования к качественной стороне определения высот опорных пунктов. Метод изображения рельефа штрихами по Леману или Болотову был заменен методом горизонталей. Он был предложен французским королевским географом и картографом Ф. Бюашем (1700–1773) и разработан в 1771 г. физиком М. Дюкарла (1738–1816). При таком методе изображения рельефа горизонталей на смежных съемочных планшетах при их сводке должны быть отнесены к одному и тому же исходному уровню. Этому условию не отвечали в достаточной степени значения высот рельефа местности, по-

лученные барометрическим методом. В России изображение рельефа горизонталями стало основным, начиная со второй половины XIX века, что и явилось причиной развития особого вида геодезических работ — геометрического нивелирования.

В то время геодезической общественностью разных стран поднимался вопрос о необходимости применения геометрического нивелирования как более точного метода определения нормальных высот точек земной поверхности (Первая международная геодезическая конференция, Берлин, 1864 г., [www.iag-aig.org](http://www.iag-aig.org)).

В России создание единой государственной высотной основы позволило бы решить следующие задачи [6]:

- закрепить пункты сети, высоты которых точно известны и могут служить данными для других геодезических работ;

- определить разности уровней морей, омывающих территорию России;

- изучить вертикальные движения земной поверхности.

В 1858 г. О.В. Струве (1819–1905), сын В.Я. Струве, впервые выполнил опытное геометрическое нивелирование в окрестностях Пулковской обсерватории [7].

Началом развития опорной высотной сети в России можно считать 1859 г. В этом году начальник астрономических и геодезических работ в Финляндии, полковник Э.И. Форш (1828–1896) с целью экономии средств и времени предложил при топографических съемках в качестве планово-высотного обоснования использовать астрономические пункты, расположенные через 53–80 км. Между ними прокладывались точные нивелирные ходы с помощью сконструированного им

и изготовленного Г.К. Брауэром в мастерских при Пулковской обсерватории специального инструмента (рис. 1), названного нивелир-теодолит [8].

Нивелир-теодолит по конструкции мало чем отличался от десятисекундного универсала, применявшегося в то время, за исключением того, что вместо вертикального круга десятисекундной точности он имел два сектора с верньерами, точность которых была 4". Кроме того, обязательной принадлежностью нивелир-теодолита служили две рейки, длиной более 4 м. На каждой рейке имелось по 4 марки. Рейки устанавливались вертикально. На каждой станции измерялись: расстояния по рейке, углы наклона на марку и горизонтальный угол поворота хода в точке стояния прибора. По этим данным впоследствии вычислялись координаты точек хода и превышение между ними. Средняя квадратическая погрешность передачи высот на 1 км хода в нивелир-теодолитных ходах была порядка 11 мм.

Аналогичные работы были выполнены при съемке в Казанской и Костромской губерниях, где триангуляция для плано-высотного обоснования была признана не выгодной из-за большой залесенности местности.

Ввиду успешного применения нивелир-теодолита на съемках в Финляндии, планировалось использовать этот прибор также для проложения нивелирных ходов вдоль железных дорог в целях создания высотной опоры. В 1871–1872 гг. работы по проложению нивелирных ходов вдоль Балтийской железной дороги выполнялись под руководством Н.Я. Цингера [1]. Он исследовал целесообразность применения для точного определения нормальных высот нивелир-

теодолита. Следует отметить, что именно в эти годы им впервые была осуществлена привязка к нулю Кронштадтского футштока нивелирной марки (№ 173 на железнодорожной станции Ораниенбаум) [7]. Н.Я. Цингер был инициатором создания единой высотной сети на всей территории России.

Были проложены нивелирные ходы по Балтийской железной дороге и по части Варшавской дороги (от г. Двинска до ст. Лапы). Полученные результаты показали, что при расстоянии от инструмента до рек в 213,4 м средняя квадратическая погрешность на 1 км хода в лучшем случае выражалась величиной в 8 мм [1]. Таким образом, точность таких ходов оказалась грубой, уступая даже современному нивелированию II класса (средняя квадратическая погрешность 5 мм на 1 км хода).

В 1873 г. Военно-топографический отдел Главного штаба (ВТО ГШ) перешел к созданию единой высотной сети России методом геометрического нивелирования. Работы выполнялись на основе разработанных в том же году рекомендаций Международной геодезической ассоциации (МГА, International Association of Geodesy) по проведению геометрического нивелирования, что положило начало появлению единых технических требований к созданию нивелирных сетей в России. Эти технические требования были сформированы в первой отечественной инструкции-предписании для точного нивелирования (1873 г.), принятой Корпусом военных топографов [9]. Она предусматривала общие положения создания высотной сети, правила обращения с нивелирами, конструкцию и способ закладки нивелирных марок и реперов, порядок работы на станции и спо-



Рис. 1

Нивелир-теодолит Брауэра из музея ВАГП (Нижний Новгород). Фото предоставлено С.В. Еруковым и Ю.С. Гусевым

соб обработки результатов. Инструкция учитывала решение МГА, рекомендовавшей всем странам, выполняющим геодезические работы в общегосударственных интересах, определять высоты пунктов опорной сети геометрическим нивелированием со средней квадратической погрешностью 3–5 мм на 1 км хода. Это позволяло использовать результаты нивелирования не только в картографических целях, но и для решения научных задач.

Первое геометрическое нивелирование [9] было выполнено в 1873–1874 гг. военными геодезистами, поручиками Ленчевским, Федотовым, Котовским, между Москвой и Санкт-Петербургом и обратно, от Москвы до станции Бологое. Для работы был применен технический нивелир с увеличением зрительной трубы 6–8<sup>x</sup>. Точность нивелирования составила 6 мм на 1 км хода. Нивелирный ход начинался от Кронштадтского футштока и измеряемые точки закреплялись на местности металлическими грунтовыми знаками, реперами и марками, закладывавшимися в стены каменных зданий. Был разработан способ точного нивелирования, получивший название «русский». Надо отметить, что геодезисты Корпуса военных топографов

одни из первых в мире применили метод геометрического нивелирования для определения высот точек земной поверхности. Во Франции этот метод был использован в 1884 г., а в Швеции — в 1886 г. [7].

В 1875–1877 гг. работы по нивелированию проводились уже более совершенным нивелиром с увеличением зрительной трубы 13–14<sup>x</sup> и уровнем на подставке (конструкция механика Вольфрама). В 1875 г. было проложено 1090 км нивелирных ходов, в 1876 г. — 996 км, а в 1877 г. — 975 км. Эти работы имели не только практическое, но и научное значение. Они позволили выявить причины, влияющие на точность определения высот методом геометрического нивелирования, и установить допуски на проведение работ на станции [6].

Материалы, накопившиеся в результате этих работ, были проанализированы известным военным геодезистом и картографом А.А. Тилло (1839–1899), который уделял много внимания развитию точного нивелирования в России. Он установил, что случайная погрешность на 1 км хода достигает 6,2 мм, а систематическая — 0,9 мм [10]. А.А. Тилло разработал проект и руководил Арало-Каспийской экспедицией по проведению точного нивелирования для определения уровней Аральского и Каспийского морей (1873–1874 гг.).

В 1877 г. работы по геометрическому нивелированию в России были приостановлены, в основном из-за войны с Турцией. Возобновились они только в 1881 г.

Для проведения работ Корпусом военных топографов была разработана программа создания государственной нивелирной сети в европейской части России [8]. Программа предусматривала следующее:

1. Проложить нивелирные линии по меридианным направлениям для связи Балтийского моря с Черным.

2. Проложить нивелирные линии вдоль параллелей 47,5° и 52°, поскольку с ними совпадало планируемое направление железных дорог.

3. Проложить нивелирные линии вдоль Балтийского и Черноморско-Азовского побережий для кратчайшей связи футштоков, расположенных на этих морях.

4. Проложить нивелирные линии вдоль железных дорог, идущих на запад, для связи с нивелирными сетями государств Западной Европы.

Предполагалось, что сеть общей длиной 24,7 тыс. км будет создана за 12 лет. Нивелирные линии должны были образовывать 7 полигонов. Отдельные линии было намечено проложить до городов Поти, Баку, Оренбург и Астрахань [6].

Эта программа включала решение не только практических, но и научных задач. Среди них:

- определение уровней Балтийского, Черного и Азовского морей;
- связь нивелирной сети России через нивелирные сети на территории Пруссии и Австро-Венгрии с Северным и Средиземным морями;

- установка 3–4 особых марок и принятие мер для их сохранения, с целью последующих исследований вертикальных движений континентов.

Научно-практическая дальновидность разработчиков программы позволила спустя 90 лет, в 1971 г., в Москве, в ходе работы XV Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза представить результаты исследований вертикальных движений земной коры Восточной Европы, выполненных геодезистами СССР, Польши, Чехосло-

вакии, ГДР и Венгрии в виде сводной карты Восточной Европы в масштабе 1:2 500 000 [11].

В 1881 г. впервые была разработана и принята общеобязательная инструкция для проведения работ по точному нивелированию [12]. Она предусматривала проложение нивелирных ходов в прямом и обратном направлениях двумя исполнителями. Наблюдения выполнялись по так называемому «русско-швейцарскому методу». Длина визирного луча допускалась до 85 м. Т. е. случайная погрешность нивелирования на 1 км не должна была превосходить 3 мм.

Бригада, выполнявшая нивелирование, состояла из 7–10 человек. Измерения начинались с восходом солнца, а заканчивались в 9–10 часов утра. Затем работы возобновлялись в 15–16 часов и заканчивались после захода солнца [6].

Высотные марки закладывались через 20–30 км. На каждой марке была надпись «нивелировка Главного штаба», а также ее номер и год закладки.

Для выполнения программы и технических требований, определенных инструкцией, в 1881 г. в механической мастерской ВТО ГШ было изготовлено 6 нивелиров, названных ВТО-1 [1]. Приведем основные характеристики этого типа нивелиров: увеличение зрительной трубы, переключаемой в лагерах, около 40<sup>x</sup>, цена деления цилиндрического уровня, прикрепленного к подставке нивелира, 4–5".

В Швейцарии по заказу ВТО ГШ были изготовлены трехметровые рейки. На одной стороне рейки деления были нанесены черным цветом, а на другой — красным цветом. Рейки перед началом полевых работ компарировались.

Значительный вклад в совершенствование методики

точного нивелирования внес известный военный геодезист и астроном Д.Д. Гедеонов (1854–1908). В 1881–1882 гг. в воинском звании штабс-капитана он принимал участие в работах по нивелированию в западной части России. Изучая результаты нивелирования этих лет, он сделал вывод, что их точность по сравнению с данными 1873–1875 гг. выше, а случайные погрешности на 1 км хода составляют 3–4 мм [12]. Однако эти значения погрешностей по сравнению с зарубежными данными оставляли желать лучшего, отмечал он в работе [13], в которой предложил новую методику точного нивелирования.

Для ослабления влияния случайных и систематических погрешностей Д.Д. Гедеонов предложил отказаться от нивелиров с уровнем на подставке. По его проекту был сконструирован нивелир ВТО-II (рис. 2), где впервые цилиндрический уровень с ценой деления 2–7" соединили со зрительной трубой с увеличением 35–40<sup>x</sup>. Им же была предложена и новая методика наблюдений на станции (симметричный во времени порядок отсчетов по рейкам, контрольные вычисления в поле на станциях и др.).

Все это нашло отражение в новой, третьей по счету инструкции для проведения работ по точному нивелированию, утвержденной ВТО ГШ в 1883 г. [14]. По ней в России с 1883 г. по 1913 г. создавалась государственная высотная опорная сеть. Согласно этой инструкции случайная погрешность нивелирования на 1 км хода должна была составлять 2–3 мм, а систематическая — 0,5 мм.

В 1894 г. под руководством полковника С.Д. Рыльке (1843–1899) было проведено

первое уравнивание нивелирной сети, созданной в России в период с 1871 г. по 1893 г., и по этим данным составлен Каталог высот [15]. Он содержал высоты 1092 марок, установленных на линиях нивелирования длиной 12 000 км. Точность нормальных высот из уравнивания характеризовалась погрешностью не более 3 мм на 1 км хода. Опиралась сеть на 12 урвнемрных станций, из которых пять находились на берегах Балтийского моря, четыре — на Черном море и три — на Азовском. В двух местах нивелирная сеть России была связана с нивелирной сетью Австро-Венгрии и в двух — с нивелирной сетью Пруссии [6].

Как отмечается в книге [16]: «При обработке исходных данных выяснилось, что уровень Черного и Азовского морей ниже уровня Балтийского моря на 0,85 м. Этот неожиданный результат привел С.Д. Рыльке к принятию своеобразного решения. Он принимает значения уровней всех морей одинаковыми и все отметки своего каталога приводит к новому нулю высот — к «общему среднему уровню Балтийского и Черного морей». В этом каталоге значе-



Рис. 2

Нивелир ВТО-II из музея ВАГП (Нижний Новгород). Фото предоставлено С.В. Еруковым и Ю.С. Гусевым

ния высот были даны в «Балтийско-Черноморской системе» с округлением до 2 мм. Эти отметки действовали до 1934 г., представляя надежные данные для изображения рельефа на картах.

Создание государственной нивелирной сети России, заложившей фундамент для современного картографирования страны, было достигнуто благодаря разработке теории, методики и нормативной базы точного нивелирования, а также совершенствования парка средств измерений. Во всем этом велика роль Военно-топографического отдела Главного штаба и Корпуса военных топографов.

#### Хронология создания государственной нивелирной сети России и других государств

- 1857–1864 гг. — создается нивелирная сеть во Франции.
- 1867–1868 гг. — создается нивелирная сеть в Германии.
- 1873 г. — начало создания в России единой высотной сети методом геометрического нивелирования.
- 1875 г. — создается нивелирная сеть в Голландии.
- 1876 г. — создается нивелирная сеть в Италии.
- 1881 г. — осуществлена связь нивелирных сетей России и Пруссии.
- 1883 г. — осуществлена связь нивелирных сетей России и Австро-Венгрии.
- 1884 г. — создана нивелирная сеть в Японии.
- 1890 г. — создана нивелирная сеть в США.
- 1894 г. — составлен первый каталог высот государственной нивелирной сети России по измерениям за период с 1871 г. по 1893 г.

### ▼ Список литературы

1. Цингер Н.Я. Опыт нивелирных работ с нивелир-теодолитом по железным дорогам Балтийской и Санкт-Петербургско-Варшавской от Динабурга до станции Лапы. Записки ВТО ГШ. — СПб., 1878. — Ч. XXXVI.
2. Кусов В.С. Измерение Земли: История геодезических инструментов. — М.: Дизайн. Информация. Картография, 2009. — 256 с.
3. Engelhardt O., Parrot J. Reise in die Krim und den Kaukasus. Б., 2 т., 1815.
4. Тетерин Г.Н. История геодезии с древнейших времен. — Новосибирск: СГА, 2001.
5. Кашин Л.А. Построение классической астрономо-геодезической сети России и СССР (1816–1991 гг.). — М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1999.
6. Мещерский И.Н. К столетию государственной нивелирной сети // Геодезия и картография. — 1973. — № 7.
7. Тетерин Г.Н., Синянская М.Л. Библиографический и хронологический справочник (Геодезия до XX века). — Новосибирск: Сибпринт, 2009.
8. Вировец А.М. Краткий очерк развития основных геодезических работ в России до 1917 г. (в сборнике «XX лет советской геодезии и картографии»). — М.: ГУГК при СНК СССР, 1939. — Т. 1.
9. О нивелирной сети СССР / Под общ. ред. Л.А. Кашина и Л.С. Хренова. — М.: Недра, 1979.
10. Тилло А.А. Результаты нивелирных работ, произведенных ВТО ГШ от 1871 г. по 1877 г. Записки ВТО ГШ. — СПб., 1883 г. — Ч. XXXVIII.
11. Буланже Ю.Д. и др. Сводная карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы // Симпозиум по современным движениям земной коры. — М.: ЦНИИГАиК, 1971.
12. Геометрические нивелировки ВТО ГШ, возобновленные в 1881 г. Записки ВТО ГШ. — СПб., 1883. — Ч. XXXVIII.
13. Записка Генерального штаба штабс-капитана Гедеонова о выгоднейшем способе нивелирования. Записки ВТО ГШ. — СПб., 1884. — Ч. XXXIX.
14. Инструкция для производства точных нивелировок в 1883 г. Записки ВТО ГШ. — СПб., 1884. — Ч. XXXIX.
15. Рыльке С.Д. Каталог высот русской нивелирной сети с 1871 г. по 1893 г. (с отчетною картою). — СПб: Военная тип., 1894. — 106 с.
16. Кусов В.С. Памятники отечественной картографии: Учебное пособие. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. — 146 с.

### RESUME

It is noted that the developed theory, technique and the regulatory base of the precise geodetic leveling together with the instruments available provided for the creation of Russia's state vertical control network in the metric system of measurements in 1873. At present this network is implemented as the state vertical control network of the first- and second order leveling in the normal 1977 Baltic elevation system.

**ГЕОМЕТР Центр**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ;  
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ;  
ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДДЕРЖКА, ОБУЧЕНИЕ**

[info@geometer-center.ru](mailto:info@geometer-center.ru) [www.geometer-center.ru](http://www.geometer-center.ru)