

Эволюция методов измерений — от «Пи» до «Пи-Пи-Пи»

DOI: 10.17273/CADGIS.2016.2.5

Гулин В.Н. директор ООО «Индор-Центр» (г. Москва)

Современные технологии геодезических измерений обеспечивают сбор пространственных данных высокой степени точности и детальности, что позволяет вывести на новый уровень эффективность работ на всех стадиях жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры, включая разработку проектной документации, строительство (ремонт, реконструкцию) и эксплуатацию автомобильных дорог. В данной статье рассмотрены некоторые поворотные точки эволюции методов геодезических измерений, приведено описание современных технологий позиционирования и тех возможностей, которые они открывают применительно к дорожной отрасли.

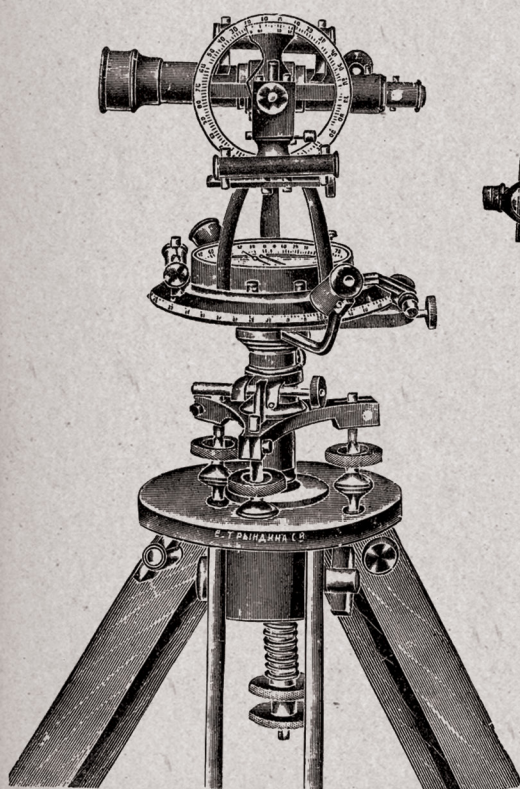


Рис. № 4021.

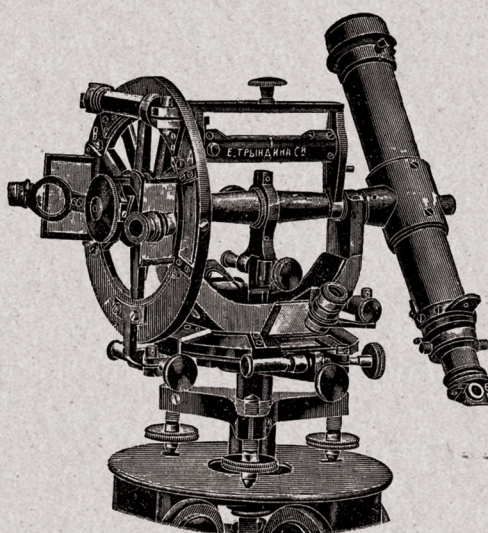


Рис. № 4025.

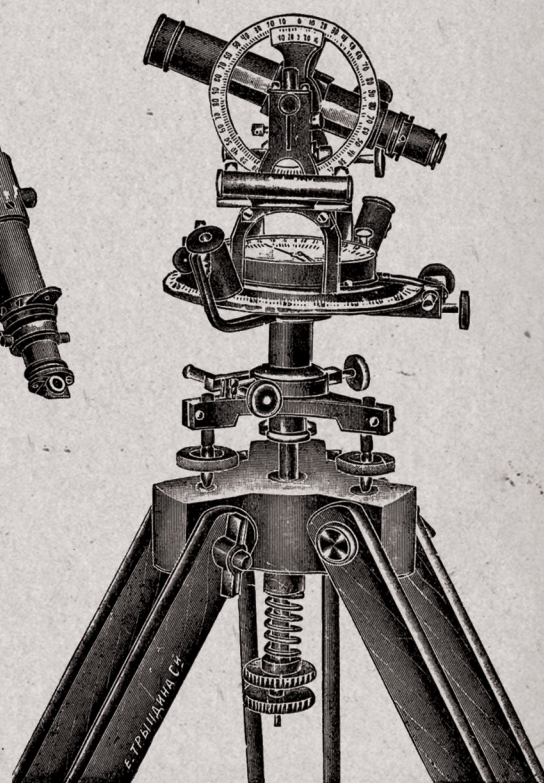


Рис. № 4020.

Введение

Многие отрасли хозяйственной деятельности сегодня не могут обойтись без соответствующего координатного обеспечения, что достигается применением средств и методов геодезических измерений. Дорожная отрасль — не исключение. Однако внедрение новых технологий измерений в практику происходит всегда с некоторой задержкой. Эта задержка может происходить по разным причинам: ввиду отсутствия необходимых инвестиций на приобретение передовых средств измерений, отставания нормативной базы, регламентирующей применение новых технологий, а порой просто из-за отсутствия понимания того, как именно новые средства и методы измерений могут повысить эффективность выполнения текущих и перспективных задач. Именно на устранение последней из перечисленных выше причин нацелена данная статья. Прежде чем перейти к современным технологиям, рассмотрим краткую ретроспективу того, как все начиналось и какой эволюционный путь пришлось пройти методам и средствам геодезических измерений с давних времён до наших дней.

Слово «геодезия» происходит от греческих слов «geo» — Земля и «desio» — разделяю. Значение слова (в переводе с греческого — «землеразделение») указывает на те практические задачи, которые привели к возникновению этой дисциплины в глубокой древности.

Тем не менее с момента зарождения геодезии требования к ней претерпели серьёзные изменения, которые были продиктованы общим развитием научного мировоззрения человечества и теми практическими задачами, которые приходилось решать на каждом этапе этого развития. Если абстрагироваться от специальных задач, решаемых сегодня геодезией в интересах отдельных областей человеческой деятельности, то справедливо будет следующее её обобщённое определение:

Геодезия — наука, занимающаяся изучением формы, размеров и гравитационного поля Земли, определением координат точек земной поверх-

ности и их изменений во времени, а также отображением земной поверхности на топографических картах и планах.

Для целей данной статьи историю развития геодезии мы разделим на пять основных этапов, каждый из которых имеет характерные особенности, наложившие свой отпечаток на развитие средств и методов геодезических измерений:

- Начальный период развития геодезии;
- Развитие геодезии в XVI–XVII вв.;
- Развитие геодезии с XVIII до середины XX в.;
- Развитие геодезии во второй половине XX в.;
- Развитие геодезии в XXI в.

Кратко рассмотрим основные отличительные особенности каждого этапа [1–4].

Начальный период развития геодезии

В контексте данной статьи полагается, что начальный период развития геодезии имеет продолжительность с древних времён до конца XV в. н.э. Он характеризуется появлением первых теоретических и практических основ этой дисциплины, постепенным распространением геодезических методов измерений в различных областях хозяйственной деятельности, разработкой первых средств измерений, становлением геодезии как самостоятельной науки.

По совокупности дошедших до нас артефактов принято считать, что геодезия как самостоятельная область человеческой деятельности берёт своё начало в Древнем Египте в третьем тысячелетии до нашей эры. Имеются документальные доказательства того, что в XVIII в. до н.э. в Древнем Египте регулярно выполнялись землемерные работы с целью определения площадей земельных участков и восстановления их границ после сезонных разливов реки Нил [5]. Помимо решения землемерных задач специальные методы измерений применялись при возведении различных инженерных сооружений: пирамид, храмов, дворцов, каналов и т.п. Результаты измерений на земной поверхности использовались также для составления планов и карт различных территорий. Уже в X в. до н.э. в Китае топографическая съёмка страны выполнялась на плановой основе. Также до наших дней дошло более 200 глиняных табличек древних шумеров и вавилонян с нанесёнными на них общегеографическими и специальными картами.

Серьёзное развитие геодезия получила в Древней Греции. В частности, были составлены первые карты мира (6 в. до н.э.), сформирована идея о шарообразности Земли, сформированы основные положения геометрии Евклида и астрономии Птолемея, введены понятия широты и долготы, сетки параллелей и меридианов, — это лишь краткий перечень достижений древних греков в развитии геодезии.

Следует отметить, что в самом начале своего существования геодезия развивалась в тес-



Рис. 1. Фрагмент папируса писца Ахмеса

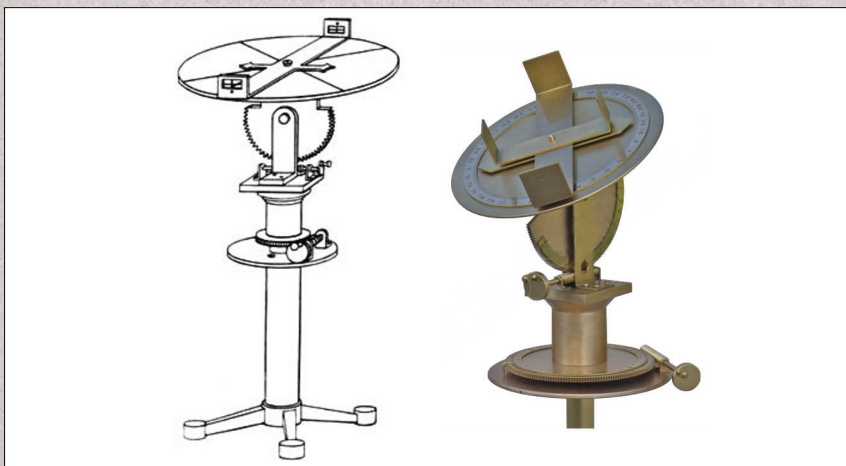


Рис. 2. Диоптра Герона

нейшей взаимосвязи с геометрией, долгое время эти две дисциплины взаимно дополняли и развивали друг друга. Показателен тот факт, что в древнеегипетском «Папирусе писца Ахмеса» (рис. 1), датированном XVII в. до н.э., содержатся правила производства полевых съёмок и вычисления площадей земельных участков, а также приводится значение числа «пи» ($256/81 \approx 3,1605$), причём это одно из самых древних письменных упоминаний этого числа, дошедшее до нашего времени.

К сожалению, период примерно с VI до конца XV в. н.э. был периодом упадка геодезии, как и многих других наук, хотя в это время и происходили отдельные значимые события: выход первого учебника по геодезии (Аль-Бирун, 1025 г.), первые геодезические измерения в России в 1068 г. — измерение по льду ширины Керченского пролива между Керчью и Таманью, в Китае создана первая печатная карта (XII в. н.э.) и др.

С точки зрения средств измерений в древние века использовались достаточно примитивные инструменты: мерная бечева (верёвка с узлами, расположенными с фиксированными интервалами), отвес, треугольник, землемерный крест и другие простейшие средства для замера углов, превышений и расстояний. Позже был изобретён водяной нивелир в виде прибора с сообщающимися сосудами, заполненными водой. Важными событиями стали: изобретение Героном Александрийским диоптры — приспособления для измерения горизонтальных и вертикальных углов (рис. 2), и одометра — приспособления для из-

мерения пройденного пути, астролябии и квадранта (первое упоминание в 840 г.), изобретение компаса в Китае и его появление в Средиземноморье в X–XI вв.

Развитие геодезии в XVI–XVII вв.

Этот период называют периодом возрождения геодезии. Резко возрастает потребность в геодезических измерениях, происходят важные открытия в математике, астрономии, механике, оптике. Создаются новые типы геодезических инструментов, геодезия обрывает новыми составными дисциплинами.

Основным двигателем бурного развития геодезии стала пора Великих географических открытий (последние годы XV – вторая половина XVI в.). Активное освоение новых земель требовало оперативного создания и обновления топографических карт. Первое кругосветное путешествие Фернана Магеллана в 1519–1521 гг. подтвердило факт шарообразности Земли, что дало новый импульс разработке целого ряда картографических проекций (в том числе проекции Меркатора), позволяющих с наименьшими искажениями отображать шарообразную земную поверхность на плоскости. В XVI в. был разработан метод триангуляции, масштаб стал повсеместно применяться на военных и гражданских картах. В XVII в. разработана прямоугольная система координат, предложен метод координатного описания геометрических объектов (Р. Декарт, 1637 г.), Ньютон опубликовал основы теории фигуры Земли (1687 г.).

На этот период приходится целый ряд изобретений в области геодезического приборостроения. В XVI в. разработан полиметр — прототип теодолита, в середине XVI в. термин «теодолит» впервые был использован в специальной литературе. В XVII в. была изобретена зрительная труба (1609 г.); разработан верньер (отсчётное устройство), создана мензула (1611 г.), для мензульной съёмки стала применяться линейка с диоптрами и масштаб; на середину века приходится первое упоминание экера — прибора для отложения прямых углов; во второй половине XVII в. появились цилиндрические уровни и сетка нитей в зрительной трубе.

Развитие геодезии с XVIII до середины XX в.

Этот период характеризуется значительными достижениями в разработке фундаментальных теоретических основ геодезии и её составных дисциплин (топографии, гравиметрии, фотограмметрии, картографии, астрономо-геодезии, высшей геодезии и др.); появлением большого числа новых геодезических инструментов и методов съёмки; созданием государственных опорных геодезических и нивелирных сетей; появлением многочисленных работ по определению и уточнению параметров фигуры и гравитационного поля Земли, методам уравнивания и оценки точности геодезических построений различного класса и назначения. Геодезические методы широко используются для обеспечения научной, производственной и хозяйственной деятельности.

В качестве примеров достижений в области геодезии и её составных дисциплин в этот период можно отметить разработку метода наименьших квадратов Гауссом (1794 г.); разработку моделей земного эллипсоида (Бесселя, Кларка, Хейфорда, Красовского); введение в 1873 г. понятий «фотограмметрия» и «геоид»; труды отечественных учёных по разработке строгих методов уравнивания и оценки точности рядов и сетей триангуляции (Ф.Н. Красовский, А.С. Чеботарёв, И.Ю. Пранис-Правевич и др.), новых методов создания опорных сетей (В.В. Данилов, А.И. Дурнев и др.). Научные труды советского учёного М.С. Молоденского по разработке метода астрономо-гравиметрическо-

го нивелирования с целью точного определения фигуры Земли заложили основу новой дисциплины — геодезической гравиметрии.

Значительные достижения также связаны с разработкой новых методов выполнения измерений, внедрением новых измерительных технологий в повседневную практику, разработкой новых геодезических инструментов. Так, в XVIII в. теодолиты начали применяться на съёмочных работах (долгое время параллельно с квадрантами и астролябиями); мензульная съёмка нашла применение в картографировании во многих странах; триангуляция активно использовалась для создания опорных сетей. В 1762 г. организуется фирма «Брейтгаупт и сын» — одна из первых фабрик по серийному производству геодезических инструментов (теодолитов, нивелиров, буссолей и др.). XIX в. становится временем картографирования территорий практически всех развитых стран; в середине XIX в. получены первые аэро-снимки (с воздушных змеев и зондов); в 1846 г. Карл Цейс открыл оптическую мастерскую в немецком г. Йена, позже эта фирма стала одним из крупнейших производителей геодезических инструментов; в 1859 г. Бруннер создаёт первый фототеодолит, а несколько позже фототеодолиты начинают активно использоваться для топографической съёмки во многих странах; во второй половине XIX в. в развитых европейских странах начинает применяться метод геометрического нивелирования. В начале XX в. выполнена первая аэрофотосъёмка с самолёта (1909 г.). Конструкции теодолитов, нивелиров, фототеодолитов, кипрегелей получают дальнейшее развитие, их производство становится массовым (рис. 3).

Развитие геодезии во второй половине XX в.

Несмотря на свою непродолжительность, этот период развития геодезии характеризуется целым рядом ключевых достижений как в развитии теоретических основ фундаментальной геодезии, так и в разработке новых технологий позиционирования и соответствующих инструментальных средств измерений.

Освоение человечеством космического пространства привело к появлению космической геодезии — науки,



Рис. 3. Теодолит (Россия) и нивелир (США) производства конца XIX – начала XX в. (из коллекции музея ЗАО «Геостройизыскания», г. Москва)

изучающей использование результатов наблюдений искусственных и естественных спутников Земли для решения научных и научно-технических задач геодезии. Применение средств и методов космической геодезии позволило на новом уровне оценить геодинамические процессы, происходящие на нашей планете, уточнить многие фундаментальные константы, связанные с внутренним строением, фигурой, параметрами вращения и гравитационным полем Земли, решить другие научные и прикладные задачи.

В сфере геодезического приборостроения к середине XX в. были разработаны новые типы дальномеров, использующих физико-технические методы, основанные на интерференции света и интерференции радиоволн. Изобретение компенсатора (устройства для автоматического приведения линии визирования в горизонтальное положение) привело к выпуску новых моделей оптических нивелиров. В традиционных геодезических приборах начинает использоваться радиоэлектронная элементная база.

В 60-х гг. XX в. появляются новые типы приборов — гиротеодолит и гироскопическая насадка на теодолит. С их помощью стало возможным выполнять угловые измерения относительно направления на истинный Север в любом месте, независимо от наличия исходных ориентирных

пунктов. Наибольшее применение эти приборы получили в горном деле и при строительстве подземных туннелей.

Для картографирования больших территорий активно используется аэрофотосъёмка с последующей фотограмметрической обработкой её результатов. Достижения радиоэлектроники также предопределили появление других новых типов геодезических приборов — электронно-оптических тахеометров и нивелиров, а также лазерных построителей плоскости и направления (лазерных нивелиров).

Ключевым фактором развития новых технологий позиционирования в этот период стало освоение человечеством космического пространства. На начальном этапе освоения космоса использовалась технология лазерной локации Луны и искусственных спутников Земли (ИСЗ). Вначале выполнялись дальномерные измерения лазерным лучом до поверхности Луны, несколько позже — до уголко-вых отражателей, установленных на её поверхности. Также были запущены специальные ИСЗ, представляющие собой отражатели для лазерного луча (LAGEOS 1 и 2). По результатам лазерной локации измерялись расстояния от Земли до Луны и ИСЗ, определялись расстояния между станциями лазерной локации на поверхности Земли, уточнялись параметры фигуры и гравитационного поля Земли и Луны,

решались другие, главным образом научные, задачи.

В 60-х гг. были разработаны первые спутниковые системы навигации — Transit (США) и Цикада (СССР), которые использовались до конца 90-х гг. Наземная приёмная аппаратура уже была достаточно компактной (по сравнению с системами лазерной локации), а принцип её работы основывался на использовании эффекта Доплера для определения относительной лучевой скорости движения ИСЗ в процессе его прохождения в зоне видимости приёмной аппаратуры. Из решения системы уравнений по результатам последовательных наблюдений нескольких ИСЗ определялись координаты приёмной аппаратуры.

Действительно революционные изменения в технологиях позиционирования произошли в конце XX в. после запуска достаточного числа спутников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) NAVSTAR GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Хотя эти системы изначально разрабатывались для военных приложений, они нашли широкое применение и для гражданских навигационных целей, и для высокоточного позиционирования на геодезическом уровне точности (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров в зависимости от условий наблюдений).

Ещё одним достижением этого периода можно считать создание роботизированных электронных тахеометров — инструментов, позволяющих автоматически захватывать и сопровождать визирную цель (отражающую призму) за счёт использования сервоприводов для вращения алидады и зрительной трубы. Дальнейшее своё развитие этот тип инструментов получил уже в XXI в.

В конце XX в. наметилась тенденция интеграции геодезических технологий в более сложные системы. Так, появились первые системы автоматизированного управления дорожно-строительными машинами (САУ ДСМ) [6], суть работы которых заключается в определении текущего положения рабочего органа машины и приведения его в проектное положение. Первые такие системы (2D) позволяли только копировать опорную поверхность (с помощью механической лыжи, ультразвука или приёмника лазерного излучения). Развитие ГНСС-технологий и роботизированных электронных тахеометров привело к созданию 3D САУ ДСМ, которые стали активно прогрессировать уже в XXI в.

Развитие геодезии в XXI в.

Хотя этот период насчитывает менее двух десятилетий, он характеризуется как серьёзным усовершенствованием уже существующих средств и методов измерений, так и появлением новых измерительных технологий. Ключевой отличительной особенностью нового века стал переход

от координирования отдельных точек (или объектов) к сбору массивов пространственных данных.

Действительно, традиционные геодезические инструменты подразумевают последовательное наведение на различные объекты с целью их координирования. Другими словами, за один интервал времени можно выполнить измерения только одной точки. На рубеже веков появляется технология лазерного сканирования, которая позволяет за секунду определить координаты десятков и даже сотен тысяч точек. Сначала разрабатываются модели наземных (стационарных) лазерных сканеров, затем появляются воздушные лазерные сканеры (для установки на пилотируемые летательные аппараты), а вслед за ними — уже системы мобильного лазерного сканирования для использования на наземных транспортных средствах. Показательно, что задача создания наземных мобильных лазерных систем оказалась технически сложнее их воздушного применения.

Следует отметить, что некоторые современные модели роботизированных электронных тахеометров также могут работать в режиме сканирования, однако их возможности несопоставимы с наземными лазерными сканерами. Тем не менее возможность координирования десятков точек в секунду также позволяет говорить о сборе массивов данных.

Наряду с технологией лазерного сканирования активно развиваются технологии цифровой фотосъёмки высокого разрешения. Программное обеспечение, созданное для обработки результатов цифровой фотосъёмки, также позволяет получать массивы точек с их трёхмерными координатами, правда здесь используются несколько иные принципы их получения, чем в случае технологии лазерного сканирования. Технология панорамной фото- и видеосъёмки в комбинации с мобильными лазерными сканерами сегодня уже активно используется для целей позиционирования, однако как самостоятельный метод сбора пространственной информации эта технология находится в стадии развития с точки зрения разработки соответствующего программного обеспечения для обеспечения возможности координирования объектов, попавших в поле зрения фотокамеры.

Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и компактных цифровых фотокамер приводит к появлению нового вида аэрофотосъёмки, отличающегося своей удивительной мобильностью и низкой себестоимостью по сравнению с традиционной технологией аэрофотосъёмки. Большое разнообразие типов БПЛА и конфигураций навесного оборудования позволяет этому методу решать широкий спектр задач.

Совершенно новые возможности дистанционного зондирования Земли предоставили ИСЗ различного назначения. По космическим сним-

кам сегодня можно получать карты крупных масштабов (1:5000 и даже крупнее), картографирование больших территорий перестало быть сложной долгосрочной задачей. В дополнение к GPS и ГЛОНАСС вводятся в действие новые ГНСС — Galileo (ЕС) и Beidou (Китай). Свои спутниковые системы позиционирования локального покрытия разрабатывают Япония и Индия.

Совершенствование технологий и аппаратуры ГНСС-измерений привело к появлению на рубеже веков метода RTK-съёмки (от английского «Real Time Kinematic» — кинематика в реальном времени). Метод связан с обменом корректирующей информацией между базовой станцией (неподвижным ГНСС-приёмником на точке с известными координатами) и мобильным приёмником — ровером (от английского «rover»). В результате ровер способен с точностью в несколько сантиметров определять свои текущие координаты в реальном времени. Для обеспечения стабильного покрытия территорий корректирующей информацией была создана технология сетей высокоточного позиционирования, основанная на развитии инфраструктуры постоянно действующих базовых станций ГНСС.

На протяжении последнего десятилетия активное развитие получил ещё один метод ГНСС-позиционирования, Precise Point Positioning — метод точного позиционирования, или просто PPP (Пи-Пи-Пи) [7]. Его принципиальное отличие от других общепринятых геодезических методов ГНСС-наблюдений заключается в том, что он не требует наличия другого ГНСС-приёмника, выполняющего синхронные статические наблюдения, или канала связи с базовой станцией, передающей RTK-поправки. Другими словами, отдельно взятый ГНСС-приёмник практически в любой точке земного шара может определить своё местоположение точнее 10 см за достаточно короткий интервал времени (10–15 минут). С увеличением продолжительности наблюдений точность позиционирования возрастает. Главным условием реализации этой технологии является использование двухчастотного ГНСС-приёмника и получение эфемеридно-временной корректирующей информации от специальных сервисов. Для постобработки ГНСС-наблюдений получение такой информации бесплатно. Для использования метода PPP в реальном времени корректирующая информация предоставляется на коммерческой основе. Надо сказать, что на сегодняшний день этот поистине революционный метод позиционирования до сих пор не смог завоевать должного признания и распространения в нашей стране. Причин тому много, и их рассмотрение может стать предметом отдельной публикации.

В заключение обзора достижений, оказавших заметное влияние на развитие геодезии за последние полтора десятилетия, нельзя не сказать о технологиях хранения и обмена данными —

облачных сервисах. Многие поставщики геодезических измерительных систем сегодня также предлагают программные продукты, стирающие границы между работой геодезистов на строительной площадке и в офисе. Результаты полевых измерений могут в реальном времени передаваться в офис для обработки и анализа, а проектная модель может быть оперативно передана на строительную площадку для её выноса в натуру. В предыдущем разделе упоминалось про системы управления машинами (CAV ДСМ). Сегодня эти системы уже позволяют автоматически формировать проектные поверхности земляного полотна и дорожной одежды без предварительной разбивки участка работ геодезистами с помощью кольев или монтажных струн, CAV ДСМ могут даже выполнять исполнительную съёмку сформированных поверхностей и передавать эти данные в офис посредством специальных сервисов. Геодезические технологии продолжают развиваться.

Применение современных технологий геодезических измерений в дорожной отрасли

За последние несколько десятилетий методы и средства выполнения геодезических измерений претерпели серьёзные изменения. Сейчас уже вряд ли встретишь геодезиста-изыскателя или строителя с обычным оптическим теодолитом, место теодолитов прочно заняли электронные тахеометры. Более того, всё чаще в работе используются тахеометры инженерного класса, имеющие большой набор встроенных программ и позволяющие автоматизировать многие процессы, которые ранее требовали камеральных вычислений. Прочно вошли в геодезическую практику и ГНСС-приёмники.

В то же время возможности, которые открывают некоторые недавно появившиеся технологии сбора пространственных данных, на взгляд автора, порой недооценены. В первую очередь, речь идёт о технологиях аэросъёмки с БПЛА и лазерного сканирования (наземного и мобильного).

С помощью БПЛА можно оперативно собрать геопрограммную информацию на значительных площадях выполнения съёмки, причём достигаемая точность результатов на уровне нескольких сантиметров может обеспечить решение многих прикладных задач. Слабыми сторонами данной технологии измерений является зависимость от погодных условий, наличия густой растительности в полосе съёмки, наличия облачности, местоположения объекта (его близости к «закрытым» территориям). В частности, аэрофотосъёмка с БПЛА может стать эффективным инструментом выполнения геодезических изысканий на стадии проектирования. Плотность и детальность получаемых данных, а также производительность выполнения работ может в значительной степени сократить объём полевых измерений традиционными геодезиче-

скими инструментами (тахеометрами, ГНСС-приёмниками). Это же справедливо для работ, связанных с постановкой земельных участков на кадастровый учёт. На этапе строительства этот метод съёмки может использоваться для периодического контроля хода выполнения работ на объекте. В качестве инструмента исполнительной съёмки завершённого строительства БПЛА не сможет предоставить данные требуемой точности о дорожном покрытии, однако придорожная ситуация может быть дешифрована по результатам съёмки с БПЛА.


Наземные лазерные сканеры характеризуются очень высокой частотой измерений (от нескольких десятков тысяч до миллиона измерений в секунду) и высокой плотностью точек измерений (расстояние между точками измерений может составлять несколько миллиметров). Благодаря высокой скорости и плотности измерений лазерные сканеры обеспечивают максимально возможную детальность съёмки, достигаемую современным геодезическим оборудованием. Тем не менее у этого оборудования есть свои ограничения — сравнительно небольшой радиус действия при съёмке горизонтальных поверхностей, зависимость от погодных условий и температуры окружающей среды. Благодаря перечисленным особенностям этот метод измерений может использоваться в случае диагностики сложных инженерных сооружений (путепроводов и пр.), а также, в случае такой необходимости, для детальной высокоточной съёмки небольших участков дорожного покрытия и других объектов.

Системы мобильного лазерного сканирования (МЛС) обладают преимуществами наземных лазерных сканеров в части высокой скорости и плотности измерений и при этом обеспечивают высокую мобильность выполнения съёмки. Благодаря своей мобильности эти системы позволяют оперативно выполнять съёмку больших территорий с высокой точностью. Тем не менее этим системам присущи ограничения обычных лазерных сканеров — зависимость от погодных условий и температуры окружающей среды. Технология МЛС обеспечивает наибольшую производительность работ и детальность получаемых данных при выполнении исполнительной

съёмки дорожного покрытия, объектов дорожного обустройства, объектов придорожного сервиса и т.п. Однако система мобильного лазерного сканирования не сможет выполнить съёмку поверхностей, находящихся вне зоны прямой видимости системы — кюветов, поверхностей позади шумозащитных экранов и т.п. При наличии таких «мёртвых зон» для лазерной съёмки, для досъёмки потребуются применение других средств измерений, например, ГНСС-аппаратуры или электронных тахеометров.

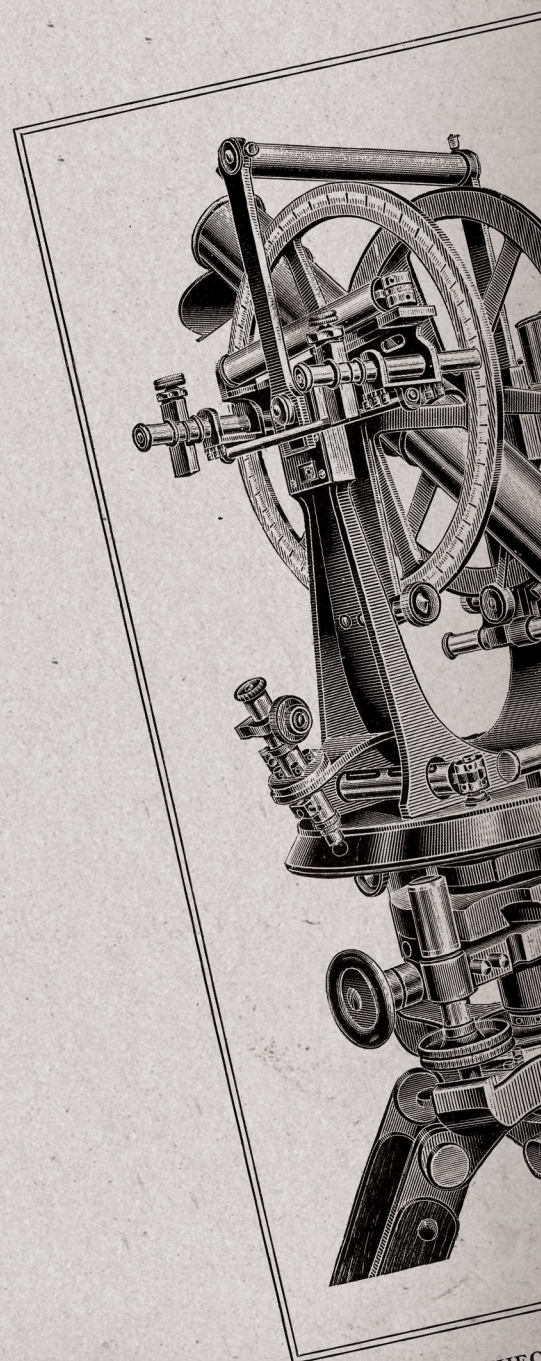
Заключение

Развитие средств и методов геодезических измерений происходит постоянно, в последние десятилетия динамика появления новых технологий позиционирования заметно возросла. Подходы к проектированию, строительству (ремонт, реконструкция) и эксплуатации автомобильных дорог также не стоят на месте. Всё большее внимание в дорожной отрасли уделяется внедрению технологии информационного моделирования дорог на всех этапах их жизненного цикла [8, 9]. Формирование информационных моделей дорог на требуемом уровне точности и детальности невозможно без применения самых современных средств и методов геодезических измерений.

Безусловно, для широкого внедрения и новых технологий измерений, и инновационной технологии информационного моделирования дорог требуется изменение целого ряда нормативных документов. Но без активного освоения и опытного внедрения инновационных технологий процесс нормотворчества никогда не тронется с места. 

Литература

1. Хренов Л.С. Хронология отечественной геодезии с древнейших времен и до наших дней. — Ленинград, 1987, 291 с.
2. Папковский П.П. Из истории геодезии, топографии и картографии в России. — М.: Наука, 1983. — 160 с.
3. Тетерин Г.Н. История геодезии с древнейших времен. Новосибирск: СГГА, 2001. — 432 с.
4. История Геодезии. URL: <http://istgeodez.com/> (дата обращения 30.05.2017).
5. Волков С.Н. Землеустройство имений знатных людей в древности // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2011, № 10 (82), С. 17–27.
6. Гулин В.Н. Цифровые модели для систем управления дорожно-строительными машинами // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 56–59.
7. Laínez Samper M.D. et al. Multisystem real time precise-point-positioning // Coordinates. 2011. February. V. VII, iss. 2.
8. Попов В.А., Бойков В.Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 8–11. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2
9. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1



ENGLISH THEO