

## ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Славейко Господинов Господинов, д-р наук, профессор,  
академик международной академии наук Евразии,  
академик Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского,  
проректор по НИР,  
e-mail: sgospodinov@mail.bg  
Университет архитектуры, строительства и геодезии, София, Болгария,  
<http://www.uacg.bg>*

*Статья описывает геодезические методы, которые применяют для получения пространственной информации. Эта информация применяется для построения цифровых моделей и цифрового моделирования. Рекомендуется введение нового термина «пространственная цифровая модель» для различия с цифровыми моделями, используемыми в технологиях коммуникации. Анализируются основные технологии получения пространственных координат, которые применяют для формирования цифровых моделей. Описаны перспективы развития цифрового моделирования. Показано, что основной задачей цифрового моделирования является получение новых знаний.*

*Ключевые слова: геоинформатика; прикладная геоинформатика; моделирование; цифровое моделирование; цифровые модели; пространственные цифровые модели; технологии получения пространственной информации; геодезические методы; космическая геодезия*

DOI: 10.21777/2312-5500-2016-4-121-130

### Введение

Цифровая революция привела к появлению цифрового моделирования [1–9]. В то же время термин «цифровая форма» является синонимом двух терминов «дискретная форма» и «компьютерно-ориентированная форма». Среди областей применения цифровых моделей и моделирования выделяют разные направления. В радиосвязи цифровые модели применяют только для передачи сигналов [10, 11]. В этой области цифровые модели представляют функцию одной переменной – времени.



**С.Г. Господинов**

В ряде прикладных наук цифровые модели вводят для обозначения аналитической модели, предназначенной для обработки на компьютере. В науках о Земле цифровые модели используют для описания пространственных объектов, чаще всего рельефа или пространственных явлений [9]. В этой области цифровые модели представляют функцию двух переменных – плоских пространственных координат. Для обозначения этого вида моделирования необходимо применять термин «пространственное цифровое моделирование» и «пространственная цифровая модель», подчеркивая различие между этим видом моделирования и другими видами цифрового моделирования.

Цифровые системы и технологии обработки пространственной информации делятся на два больших класса: обработка двумерной информации и обработка трехмерной информации. В свою очередь, обработка двумерной геоинформации разделяется на два подкласса: обработку изображений и обработку пространственных координат. Разница между этими подклассами в том, что для обработки изображений используют, как правило, целочисленные координаты [12] и целочисленную шкалу целых чисел. Для обработки координат используют вещественные числа и интервальную шкалу.

**Формирование пространственной цифровой модели.** В геоинформатике процесс формирования пространственной цифровой модели, по существу, является процессом стратификации, то есть разбиением на уровни в соответствии с выбранными критериями. В этом случае величина уровней для разных объектов различна. На рис. 1 показан процесс получения цифровой модели в геоинформатике.

Исходный объект (рис. 1а) представляет собой непрерывное распределение некой величины  $H$  от величины  $L$ . Это может быть реальная высота (тогда речь пойдет о модели рельефа), это может быть уровень концентрации (или ПДК) химического вещества, распределенного по территории, это может быть концентрация (например, населения) и т. д.

Процесс построения сводится к стратификации исходного объекта, то есть к разбиению непрерывной зависимости на дискретную. Уровни образуют дискретную «ступенчатую» модель рис. 1б, которая по возможности должна соответствовать непрерывной. Эта дискретная модель и называется цифровой. В дальнейшем именно она хранится в базе данных и применяется для обработки и пространственных построений. По цифровой модели местности, которая представляет собой набор дискретных точек  $Z_i = f(x_i, y_i)$  можно строить непрерывные горизонталы  $Y = \varphi(x)$  при  $Z = \text{const}_i$  (рис. 1в).

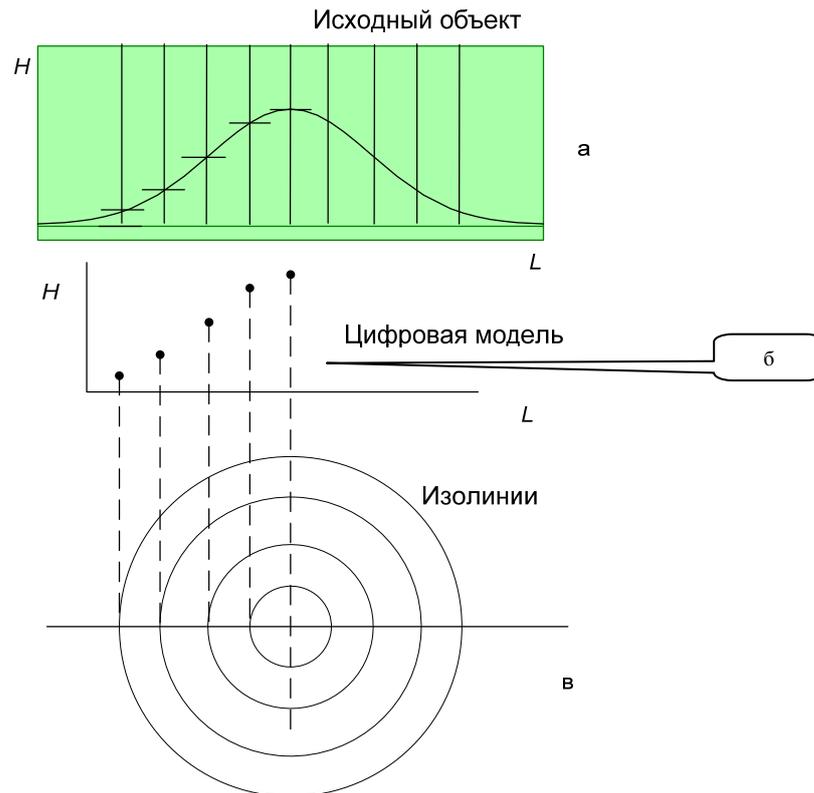


Рис. 1. Процесс построения цифровой модели поверхности

**Информационные потребности цифровых моделей.** Информационные потребности цифровых моделей включают необходимость получения координат точек местности и дополнения связей между точками. Для решения большинства задач получения координат для пространственных цифровых моделей применяют геодезические технологии сбора информации. В настоящее время наиболее широко применяют электронные тахеометры [13], лазерные сканеры [14] и спутниковые технологии [15] или методы космической геодезии.

**Электронные тахеометры.** Электронные тахеометры применяются при топографической съемке. В такой технологии измеряют направление на точку визирования (горизонтальные и вертикальные углы), расстояние до этой точки (дальность) и превышение точек стояния прибора и визирования [16].

Современные электронные тахеометры имеют конструкцию, позволяющую работать в условиях широкого интервала температур, повышенной влажности и запыленности. Лазерный дальномер (лазерная рулетка) современных электронных тахеометров может измерять расстояния без отражателя. Для установки прибора на нужной точке применяется оптический или лазерный центрир.

Применение электронных тахеометров в строительстве позволяет существенно облегчить выполнение ряда специальных работ: определение координат и высот точек местности, планирование строительного участка, закладка фундамента, монтаж конструкций, возведение панельных зданий, вынос в натуру проектных решений, съемка фасадов зданий и т. д. Электронным тахеометром можно производить измерения полярных и прямоугольных координат, высотных отметок (рис. 2).



**Рис.2 Электронный тахеометр CADSPN6L**

Электронные тахеометры с информационных позиций представляют собой электронный теодолит с установленным внутри оптической трубы лазерным дальномером. Теодолитом можно измерять горизонтальные и вертикальные углы. Но в целом такой тахеометр позволяет измерять углы и расстояния, а затем результаты измерений записывать в память. Встроенный лазерный дальномер тахеометра позволяет измерять расстояния с большой точностью.

Производительность труда геодезиста при переходе с теодолита на электронный тахеометр существенно увеличивается. Основными характеристиками электронного тахеометра являются: точность измерения углов, дальность измерения расстояний в безотражательном режиме, точность измерения расстояний, коммуникационные возможности.

По степени автоматизации разделяют «простые» электронные тахеометры, тахеометры со следящей системой и тахеометры-роботы. «Простой» электронный тахеометр можно рассматривать как оптико-электронный комплекс, содержащий электронный теодолит, лазерный светодальномер и микропроцессор. Однако для визуального наведения на цель (объект, призма, отражатель) в большинстве современных электронных тахеометров используется сервопривод, позволяющий существенно упростить и автоматизировать процесс измерений по сравнению с механическим приводом, исключить наводящие и закрепляющие винты.

Сервопривод управляется микропроцессором, который автоматически осуществляет многократное наведение на цель с заданными координатами. Данный микропроцессор допускает режим сканирования, при котором измерения производятся через фиксированные интервалы углов. При введении в тахеометр координат точки наблюдения сервопривод обеспечивает автоматическую установку в заданном направлении. Для измерения горизонтальных и вертикальных углов в электронных тахеометрах используются высокоточные энкодеры, конструктивно сопряженные с сервоприводом.

Тахеометры, оснащенные оптико-электронной следящей системой, позволяют отслеживать перемещения отражателя, на который он наведен. Принцип слежения за отражателем может быть различным. В ряде случаев используется дополнительный излучатель, закрепленный на вехе в едином блоке с отражателем-призмой. Следящая система разворачивает тахеометр по горизонтальной и вертикальной осям и удерживает излучатель на оптической оси следящей системы.

Методика измерений с помощью тахеометров, оснащенных следящей системой, отличается от традиционной методики геодезических измерений обычным теодолитом. В обычной технологии с рейкой или вехой работал исполнитель низкой квалификации (рабочий-реечник), а у прибора был квалифицированный геодезист. При работе со «следящим» тахеометром с прибором работает помощник-оператор, нажимающий определенные кнопки. Квалифицированный исполнитель, знающий, куда поставить веху-излучатель и отражатель, должен работать в поле.

Существуют полностью роботизированные тахеометры, которые позволяют работать исполнителю, находящемуся в процессе измерений с отражателем-излучателем непосредственно на измеряемой точке, в одиночку. Панель управления тахеометром крепится в этом

случае на вешке с отражателем, чтобы оператор мог с помощью дистанционного управления по радиосвязи управлять прибором, находящимся на значительном расстоянии – в сотни метров.

Дальномер электронного тахеометра может быть фазовым или импульсным, работающим как по оптическому отражателю, так и по излучению, отраженному непосредственно от объекта. В последнем случае режим работы называют безотражательным. Особенно эффективен безотражательный режим при наведении на вертикально стоящие объекты, такие как столбы, деревья, здания и т. п.

Отдельные типы тахеометров оснащаются одной или двумя цифровыми фотокамерами. Камера может быть независимой или совмещенной со зрительной трубой. Получаемые фотокамерой изображения позволяют уже в процессе измерений, в поле, контролировать отснятые точки, отображаемые на экране специальной маркировкой. Цифровое изображение записывается в памяти прибора, что позволяет избежать ведения абрисов. При выполнении фотосъемки с двух различных точек, координаты которых известны, возможно получение стереоизображения и трехмерной цифровой модели местности. Электронные тахеометры снабжаются двухосевыми датчиками угла наклона. Поправка наклон автоматически вносится в отсчеты горизонтальных и вертикальных углов. При необходимости компенсатор тахеометра можно отключить

Для работы в помещении и при плохих условиях освещенности электронные тахеометры оснащаются лазерными целеуказателями, создающими один или два видимых световых луча. Целеуказатель позволяет легко обнаружить цель или поместить отражатель в нужном месте

Востребованными на рынке геодезических приборов являются тахеометры с точностью измерения углов 5 секунд и дальномером, позволяющим измерять расстояния 200–300 м без отражателя. Перед началом полевых работ следует установить геодезический прибор на нужной точке и ориентировать. Предусматривается также и загрузка координат точек из выносимого проекта в память тахеометра

Таким образом, современные электронные тахеометры представляют собой интегрированные оптико-информационные системы получения геодезической информации, на основе которой создают цифровые модели местности. Одним из направлений развития методов геодезических измерений [17] является создание программного обеспечения, позволяющего объединять данные, получаемые методом глобального позиционирования (GPS-приемниками), и данные, получаемые электронными тахеометрами. Эти данные объединяются в едином проекте и представляются в стандартном формате. Такое единое решение позволяет существенно увеличить производительность работ, проще и удобнее представить разрабатываемый проект.

**Наземные лазерные сканеры.** Одним из устройств сбора пространственной информации в поле является наземный лазерный сканер. Существуют разные названия этого прибора: наземный лазерный сканер, лазерный 3D-сканер, лазерная сканирующая система [18]. Для воздушных сканеров применяли название «лидар» [14].

Лазерный сканер – это прибор, оснащенный высокоскоростным безотражательным лазерным дальномером и системой изменения направления луча лазера – специальное поворотное зеркало. Лазерный луч сканера сканирует шаг за шагом объекты на своем пути и, отражаясь от этих объектов, создает их видимый образ: так называемое «облако пространственных точек» [19]. Наземный лазерный сканер – это сканирующий лазерный безотражательный дальномер импульсного или фазового типа. Дальномер измеряет расстояние от точки установки  $O$  до точки  $A$  отражения лазерного луча. Сканирование по азимуту, как правило, осуществляется разворотом сканера вокруг вертикальной оси, а сканирование по углу места – качанием.

При работе со сканером задают область сканирования. Это сектор поворота зеркала, в котором с большой скоростью – до 50 000 точек в минуту – распространяется лазерный луч дальномера. Такая технология обеспечивает практически сплошную съемку интересующе-

го объекта. При этом плотность точек лазерного сканирования может быть от 0,25 мм до 1 м и более. В результате получается массив точек, каждая из которых имеет 3 пространственных координаты  $X, Y, Z$  и информацию о псевдоцвете.

Лазерный сканер (рис. 3) может выполнять съемку объектов, находящихся в любом месте сферы – полный круг по горизонтали ( $360^\circ$ ) и  $270^\circ$  по вертикали. Такое широкое поле зрения лазерного 3D-сканера позволяет минимизировать число станций сканирования. Точность безотражательного дальномера наземного лазерного сканера составляет в среднем 4 мм. При этом точность положения каждой измеренной точки по трем осям ( $X, Y, Z$ ) – не ниже 6 мм при расстоянии до объекта 50 метров и менее.

Преимущества наземного лазерного сканирования состоят в следующем [20]:

- трехмерная модель объекта получается сразу;
- точность измерений сравнительно высокая;
- сбор данных осуществляется быстро – существенная экономия времени при работе в поле;
- дефекты и ошибки выявляются быстро – достаточно сравнить полученную конструкцию с проектной 3-мерной моделью;
- безопасность съемки опасных и труднодоступных объектов;
- расчет величины деформаций получается путем сравнения с ранее полученными результатами съемок.



Лазерный сканер RIEGL LMS-Z390i.  
Дальность: от 1 до 400 м.  
Скорость сканирования: до 11 000 точек/с.  
Точность измерений: 2–4 мм.



Лазерный сканер RIEGL LMS-Z210i.  
Дальность: от 4 до 650 м.  
Скорость сканирования: до 10 000 точек/с.  
Точность измерений: 6–15 мм.

**Рис. 3. Примеры лазерных сканеров**

Лазерный сканер не только повышает производительность геодезических работ, но и позволяет решать принципиально новые задачи [20].

**Сбор наземной информации методами космической геодезии.** Методы космической геодезии включают несколько технологий. Одним из методов получения координат для пространственных цифровых моделей является спутниковая альтиметрия. Сущность спутниковой альтиметрии состоит в измерении разности высот средней уровенной поверхности океана и уровенной поверхности орбиты в моменты измерений. Измерения проводятся лазерными дальномерами с наземных станций и радиовысотомером сантиметрового диапазона со спутника (рис. 4).

Как следует из рис. 4,  $r, \varphi$  – геоцентрические радиус-вектор и широта спутника, определяемые с земной поверхности,  $r_0, \varphi_0$  – геоцентрические радиус-вектор и широта подспутниковой точки  $Q_0$  на геоиде,  $h$  – высота спутника над геоидом,  $B$  – геодезическая широта спутника,  $\xi$  – составляющая уклонения отвеса,  $Q_0 - Q_e = \zeta$  – высота геоида над референц-эллипсоидом. Составляют векторное уравнение, аналог основного уравнения космической геодезии, для спутниковой альтиметрии:  $r = r_0 + h$ , из которого следует: если известен геоцентрический радиус-вектор спутника  $r$  и измерен вектор  $h$ , то определяется геоцентрический радиус-вектор геоида  $r_0$  в точке  $Q_0$ .

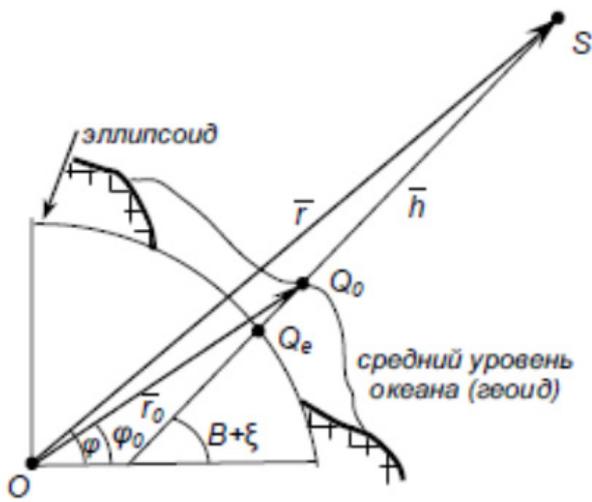


Рис. 4. Спутниковая альтиметрия

На примере этого метода выявляется важная проблема спутниковых измерений. Спутниковые измерения производят в геоцентрической системе координат, а геодезические работы производят в местной, или топоцентрической, системе координат. Это приводит к необходимости специальных измерений для привязки спутниковых данных или применять специальные методы преобразования координат.

Другие технологии космической геодезии включают определение местоположения пунктов, основанные на геометрических связях измеренных точек и спутников. Если предположить, что с

одинаковой точностью известны геоцентрический вектор положения спутника  $r_s$  (из теории или специальных наблюдений) и топоцентрический вектор спутника  $r_{PS}$  (из наблюдений), тогда из основного уравнения космической геодезии будем иметь

$$\rho_s = r_s - r_{PS}, \quad (1)$$

откуда определяются координаты пункта  $P$ .  $\rho_s$  – геоцентрический радиус-вектор, определяющий положение пункта  $P$  на земной поверхности;  $r_s$  – геоцентрический радиус-вектор, определяющий положение спутника на орбите относительно центра масс Земли;  $r_{PS}$  – топоцентрический радиус-вектор, определяющий положение спутника на орбите относительно пункта  $P$  на поверхности Земли.

Общей идеей этих методов является то, что носителем координат являются спутники. К геометрическим методам относятся: синхронный метод наблюдения с нескольких наземных пунктов на спутник, синхронный метод наблюдения на сеть спутников, дифференциальный (относительный) метод наблюдения с нескольких наземных пунктов на сеть спутников.

1. *Синхронный метод наблюдения с нескольких наземных пунктов на спутник*, при котором осуществляется наблюдение синхронных (одновременных) наблюдений на пунктах  $P$  ( $P = 1, 2, 3, \dots$ ). Он имеет несколько разновидностей:

а) измеряют все компоненты радиус-вектора  $r_{PS}$  ( $r_{PS}, \alpha_{PS}, \delta r_{PS}$ ), в этом случае  $P = 1, 2, 3, \dots$ , где пункт 1 – опорный, с известными координатами, а пункты 2, 3 и прочие подлежат определению;

б) измеряют только направления, то есть  $\alpha_{PS}, \delta r_{PS}$ , тогда  $P = 1, 2, 3, 4, \dots$ , где 1, 2 – исходные, опорные пункты, а 3, 4 и прочие – определяемые;

в) измеряют только расстояния  $r_{PS}$  из всех компонентов радиус-вектора  $r_{PS}$ , тогда  $P = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ , где 1, 2, 3 – исходные, опорные пункты, а 4, 5 и прочие – определяемые. На практике, чем больше исходных пунктов с известными координатами, тем построенная сеть будет более жесткой.

2. *Синхронный метод наземных наблюдений на сеть спутников*. В этом методе отдельная служба с использованием пунктов с известными координатами (7–10 пунктов) определяет точные эфемериды всех спутников системы и передает эту информацию на борт спутников.

На пункте, который находится на поверхности Земли, производят радиодальномерные наблюдения синхронно не менее 4 спутников. Радиосигнал, используемый для измерения расстояний, содержит информацию об элементах орбиты наблюдаемого спутника. На основании основного уравнения космической геодезии (1) имеем  $\rho_s = r_s - r_{PS}$ , где  $S = 4$ , а  $P = 1$ . Этот метод реализуют глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

3. *Дифференциальный (относительный) метод определения координат на основе*

наземных наблюдений на сеть спутников. В этом методе с высокой точностью определяют



Рис. 5. Базовая станция

координаты пунктов на земной поверхности. Для целей строительства и инженерных изысканий интерес представляет определение не абсолютных координат, а относительных координат, то есть  $\rho_s = r_s - r_{Ps}$ , где  $S = 4$ , а  $P = 1, 2, 3, \dots$ . Пункт 1 является опорным (базовым, рис. 5), чаще всего в системе того или иного референц-эллипсоида, а остальные – определяемые. Синхронизация наблюдений может производиться на двух или более пунктах совместно с опорным.

Именно последний метод наиболее распространен на практике. Можно дать следующую классификацию спутниковым измерениям: абсолютные, дифференциальные, относительные.

Абсолютные подразделяются на две группы: прямые и постобработки. Абсолютные прямые (single point positioning) еще называют измерениями реального времени (real time), точность – десятки мет-

ров, в лучшем случае – 3–5 м. Постобработка (postprocessing): точность – метры, в лучшем случае – около метра.

Относительные подразделяются на статические (static positioning) и кинематические (kinematic positioning).

Статические включают следующие режимы:

- Статика (static), точность – сантиметры-миллиметры.
- Быстрая статика (fast, rapid static), точность – сантиметры.
- Псевдостатика, или реокупация (pseudostatic, geosupercorrection), точность – сантиметры.

Кинематические включают следующие режимы:

- Стой и иди (stop and go), точность – сантиметры.
- Непрерывная (continuous), точность – сантиметры.
- Реального времени (Real Time Kinematic – RTK), точность – сантиметры.

В режиме «Статика» выполняют одновременные измерения на двух или нескольких пунктах неподвижными приемниками. Один из приемников принимают за базовый. Положение остальных приемников определяется относительно базового. Измерения в режиме «Статика» выполняют, как правило, на больших расстояниях между пунктами (свыше 15 км). Время наблюдений зависит от расстояния между пунктами, числа спутников, состояния ионо- и тропосферы, требуемой точности и составляет обычно не менее 1 ч.

Режим «Быстрая статика» позволяет сократить продолжительность измерений, благодаря возможности применения на линиях до 15 км активных алгоритмов разрешения неоднозначности. Продолжительность наблюдения в этом режиме составляет 5–20 мин.

Режим «Реокупация» используется, когда нет одновременной видимости необходимого числа спутников. Тогда измерения выполняют за несколько сеансов, накапливая нужный объем данных. На этапе компьютерной обработки все данные объединяют для выработки одного решения.

Режим «Кинематика» служит для определения координат передвижной станции в ходе ее перемещения. При работе в этом режиме необходимо, чтобы приемники на базовой и передвижной станциях поддерживали непрерывный контакт со спутниками в течение всего времени измерений. До начала движения выполняют инициализацию – разрешение неоднозначности фазовых измерений. «Кинематика» в масштабе реального

времени RTK позволяет определять местоположение объекта с использованием фазовых измерений GPS/ГЛОНАСС в масштабе реального времени с точностью 1–5 см.



Рис. 6. Комбинированный прибор SmartStation

Режим «Стой и иди» – такая разновидность кинематического режима, когда передвижную станцию перемещают с точки на точку, делая на каждой точке остановку и выполняя для повышения точности несколько эпох измерений в течение 5–30 с.

**Комбинированные методы.** В настоящее время существует тенденция к конвергенции и интеграции геодезического оборудования. Разработчики геодезического оборудования создают новые комплексы, основанные на комбинировании методов. Примером может служить разработка компании Leica Geosystems – многофункциональная геодезическая станция SmartStation (рис. 6).

Система представляет собой комбинацию электронного тахеометра и геодезического двухчастотного приемника GPS. Антенна спутникового приемника крепится в верхней части тахеометра на специальном адаптере вместо стандартной ручки для переноски. Снизу адаптера крепится модем для приема RTK-поправок. Управление тахеометром и приемником GPS осуществляется с помощью клавиатуры тахеометра.

Данные выводятся на экран прибора и сохраняются в едином формате. SmartStation устанавливается на один штатив и всего на 1 кг тяжелее обычного тахеометра. Обмен данными с внешними устройствами выполняется с использованием встроенного модуля беспроводной связи Bluetooth. Опыт показывает, что новая система позволяет до 80% сократить время выполнения работ при съемке. Перед съемочными работами или восстановлением границ пользователю не нужно искать опорные пункты на местности. Необходимо просто установить прибор в любом удобном месте района работ, где нет препятствий для приема.

Следует отметить, что термином Smart (сообразительный) принято называть технологии, которые занимают промежуточное состояние между автоматизированными и интеллектуальными системами и технологиями [21, 22].

### Заключение

Современные методы получения геодезической информации используют высокий уровень автоматизации, лазерные методы и спутниковые технологии. Это существенно повышает производительность работ. Следует отметить тенденцию развития геодезических измерений: от одиночных технологий к комплексу технологий. Это обусловлено тем, что тенденции развития цифрового моделирования выходят за сферу наук о Земле. Цифровое моделирование широко применяется в медицине: от изучения костной структуры [23] до стоматологии [24]. Цифровое моделирование применяют в астрономии [25] и изучении строения Земли [26]. Тенденцией методологии построения цифровых моделей следует считать применение информационных единиц [27] и геоданных [28, 29]. Еще одной важной тенденцией является импорт информации из Интернета [30] для построения пространственных цифровых моделей. Следует отметить необходимость введения нового понятия «пространственная цифровая модель», для того чтобы отличить цифровое моделирование в связи (телефонная, радиосвязь, телевидение), медицине, химии, физике и математике от цифрового моделирования пространственных объектов в науках о Земле. Одним из стратегических назначений цифрового моделирования является получение новых знаний [22]. Это обуславливает интеграцию методов цифрового моделирования и технологий извлечения знаний, что пока наблюдается слабо.

**Литература**

1. *Зайцева О. В.* Развитие цифрового моделирования // Славянский форум, 2015. № 3 (9). С. 105–112.
2. *Цветков В. Я.* Использование цифровых моделей для автоматизации проектирования // Проектирование и инженерные изыскания, 1989. № 1. С. 22–24.
3. *Bird P.* An updated digital model of plate boundaries // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2003. Vol. 4. No. 3.
4. *Цветков В. Я.* Цифровое моделирование: учеб. пособие. – М.: МАКС Пресс, 2016. 72 с.
5. *Номоконов И. Б.* Цифровая обработка рентгеновских изображений // Славянский форум, 2015. № 4 (10). С. 244–251.
6. *Павлов А. И.* Цифровое моделирование пространственных объектов // Славянский форум, 2015. № 4 (10). С. 275–282.
7. *Куприянов А. О.* Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии, 2015. № 4 (12). С. 57–65.
8. *Цветков В. Я.* Цифровые карты и цифровые модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 4 (часть 2). С. 348–351.
9. *Gómez D., Guzmán A.* Digital model for three-dimensional surface representation. – Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, 1978.
10. *Bykov V. V.* Digital modeling in statistical radio engineering // NASA STI/Recon Technical Report, 1973. Vol. 75. P. 10294.
11. *Hayes M. H.* Statistical digital signal processing and modeling. – John Wiley & Sons, 2009.
12. *Tsvetkov V. Ya.* Integer Coordinates as an Nanotechnological Instrument // *Nanotechnology Research and Practice*, 2014. Vol. 4. No. 4. P. 230–236.
13. *Kapteyn P., Silberbach R.* Electronic tachometer: пат. 2983868 США, 1961.
14. *Vosselman G., Maas H. G. (ed.)* Airborne and terrestrial laser scanning. – Whittles Publishing, 2010.
15. *Куприянов А. О., Цветков В. Я.* Применение ГНСС в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии, 2016. № 1 (13). С. 135–144.
16. *Соломатин В. А.* Оптические и оптико-электронные приборы в геодезии, строительстве и архитектуре. – М.: Машиностроение, 2013. 288 с.
17. *Цветков В. Я.* Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. – М.: МАКС Пресс, 2016. 94 с.
18. *Чибуничев А. Г., Галахов В. П.* Технология совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки // Инженерные изыскания, 2011. № 2. С. 32–36.
19. *Sithole G., Vosselman G.* Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds // *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2004. Vol. 59. No. 1. P. 85–101.
20. *Baltsavias E. P.* A comparison between photogrammetry and laser scanning // *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 1999. Vol. 54. No. 2. P. 83–94.
21. *Савиных В. П., Цветков В. Я.* Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации, 2010. № 5. С. 41–43.
22. *Hubner S. et al.* Ontology-based search for interactive digital maps // *IEEE Intelligent Systems*, 2004. Vol. 19. No. 3. P. 80–86.
23. *Gayet L. E. et al.* Biomechanical study and digital modeling of traction resistance in posterior thoracic implants // *Spine*, 2002. Vol. 27. No. 7. P. 707–714.
24. *Macchi A. et al.* Three-dimensional digital modeling and setup // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006. Vol. 129. No. 5. P. 605–610.
25. *Tegmark M. et al.* The three-dimensional power spectrum of galaxies from the sloan digital sky survey // *The Astrophysical Journal*, 2004. Vol. 606. No. 2. P. 702.
26. *Woodhouse J. H., Dziewonski A. M.* Mapping the upper mantle: Three-dimensional modeling of Earth structure by inversion of seismic waveforms // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1984. Vol. 89. No. B7. P. 5953–5986.
27. *Tsvetkov V. Ya.* Information Units as the Elements of Complex Models // *Nanotechnology Research and Practice*, 2014. Vol. 1. No. 1. P. 57–64.
28. *Hutchinson M. F., Stein J. A., Stein J. L.* GEODATA 9 second digital elevation model

(DEM-9S) version 3. – 2009. [http://www. ga. gov. au](http://www.ga.gov.au).

29. Savinykh V. P., Tsvetkov V. Ya. Geodata As a Systemic Information Resource // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014. Vol. 84. No. 5. P. 365–368.

30. De Lange N., Plass C. WebGIS with Google Maps // Digital Earth Summit on Geoinformatics, 2008. P. 176–181.

### Geodetic support digital modeling

**Slaveyko Gospodinov Gospodinov, Ph.D.**, a professor, the vice-rector for research University Architecture, Civil Engineering and Geodesy. Academician of International Eurasian Academy of Sciences. Academician of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E Tsiolkovsky  
Sofia, Bulgaria

*This article describes surveying methods, which are used to obtain spatial information. This information is used to build digital models and digital simulations. The article recommends the introduction of a new term "spatial digital model" for differences with digital models used in communication technologies. The article analyzes the main technology of the spatial coordinates, which are used to generate digital models. This article describes the prospects for the development of digital modeling. The article shows that the main task of digital simulation is to obtain new knowledge.*

*Keywords: geoinformatics, applied geoinformatics, modeling, digital modeling, digital models, spatial digital models, the technology of spatial information, survey methods, space geodesy.*

УДК 528.2/.5 528.8 528.02

## ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ КАРТ

**Евгений Геннадьевич Дышленко**, канд. техн. наук,

начальник отдела,

*e-mail* [dishlenko@yandex.ru](mailto:dishlenko@yandex.ru)

КБ Панорама

<http://www.gisinfo.ru>

**Виктор Яковлевич Цветков**, проф., д-р техн. наук,

лауреат премии Президента РФ, лауреат премии Правительства РФ,

«Заслуженный деятель науки и образования», «Почетный работник науки и техники»,

«Почетный работник высшего профессионального образования»,

«Отличник геодезической службы»,

академик: Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского (РАКЦ),

Российской академии естествознания (РАЕ), Российской академии информатизации

образования (РАО), Международной академии наук Евразии (IEAS),

заместитель руководителя,

*e-mail*: [svj2@mail.ru](mailto:svj2@mail.ru),

Центр перспективных фундаментальных и прикладных

исследований ОАО «НИИАС»

<http://www.vniias.ru>

*Статья описывает методологию и технологию построения трехмерных карт. В качестве мультимедийной основы используется технология виртуальной реальности. В качестве информа-*