

# О ТРЕБОВАНИЯХ К ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ,

## ИЛИ ПРОДОЛЖЕНИЕ РАЗГОВОРА О "ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОПОДОСНОВЕ"

**В** связи с постепенным переходом проектных организаций на трехмерное компьютерное проектирование все острее становится проблема формулирования технических требований, которым должна удовлетворять трехмерная цифровая модель местности, предназначенная для решения различных инженерных задач в САПР. Отсутствие нормативных документов, регламентирующих эти требования, нередко мешает проектировщикам и изыскателям найти общий язык, задерживает внедрение современных цифровых технологий. В этой статье авторы попытаются найти ответы на ряд вопросов, которые возникают при разработке технических требований к топографической съемке, выполняемой с целью создания таких моделей.

Несколько лет назад в среде проектировщиков родился термин "трехмерная геоподоснова" — именно ее проектировщики хотели получать от изыскателей вместо обычной двумерной, то есть плана. Поскольку термин не стандартизирован и каждый понимал его по-своему, в [1] было предложено подразумевать под ним комбинацию инженерно-топографического плана (ИТП) [2] и трехмерной цифровой модели местности (ЦММ) с разделением последней на цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель объектов местности (ЦМОМ). Ввиду того что других аргументированных предложений не последовало, будем придерживаться именно этого толкования.

Имеющийся у авторов опыт создания ЦММ по информации, содержащейся на ИТП, показал, что этой информации, как правило, недостаточно для построения адекватных трехмерных моделей, так как метрическое описание большинства точек содержит данные только об их плановом положении. Следовательно, необходима дополнительная информация о ме-

стности, не предусмотренная содержащимися в действующих нормативных документах требованиями к топографической съемке. Мы попытаемся сформулировать и обосновать дополнительные требования к съемке исходя из тех задач, для решения которых чаще всего используется ЦМР (построение горизонталей, построение профилей, расчет объемов перемещения грунта). На требованиях к моделям различных объектов, расположенных на местности, внимание акцентировать не будем — ввиду их многообразия и пока еще более редкого использования.

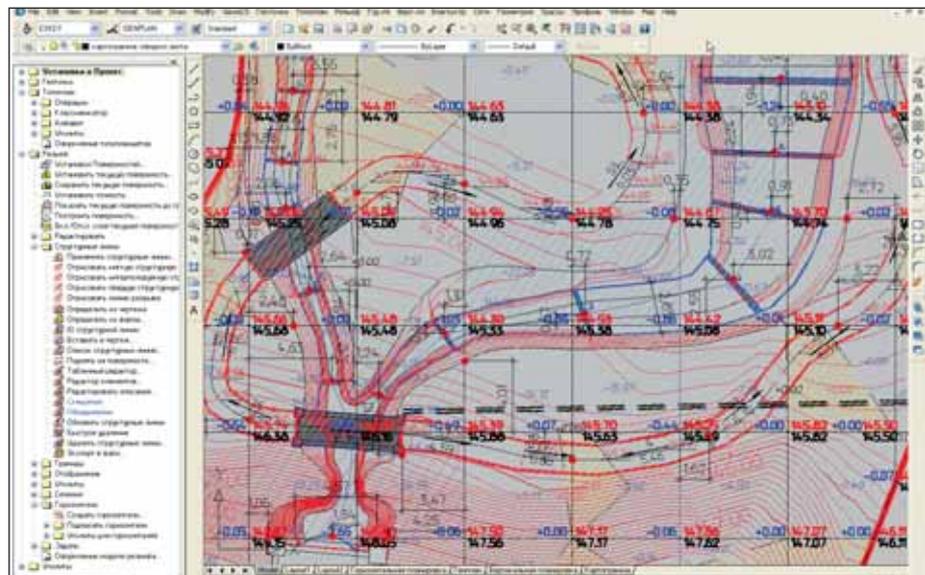
Как известно, основным исходным материалом для рабочего проектирования строительства зданий и сооружений является инженерно-топографический план масштаба 1:500, а также профили с тем же горизонтальным масштабом и более крупным вертикальным (1:50 — 1:200). Требования к плану достаточно четко прописаны в [2], [3] и [4]. Планы более крупных масштабов изготавливаются по специальным требованиям [5], поэтому мы их пока

не рассматриваем. Оставим в стороне информацию, отображаемую на инженерно-топографических планах по дополнительному заданию заказчика, а также на акваториях. Кроме того, не станем останавливаться на оценке точности оцифровки исходных картографических материалов, методика которой приведена в [6].

### Требования к составу пространственной информации

Основное отличие ЦММ от плана заключается в том, что для каждой точки отображаемых объектов требуется задание не только плановых координат (X, Y), но и высотной отметки (H). На плане же требуется отображать отметки или глубины только для определенных объектов в установленных местах (прил. Д [3]):

- Высоты пола первого этажа, отмостки, земли или тротуара на углу дома.
- Высоты урезов воды, отметки высот непостоянных береговых линий, глубины естественных и искусственных водоемов, глубины береговых обрывов.



- Высоты, характеризующие террито-рию и отдельные сооружения, включая:
  - характерные элементы рельефа, пересечение дорог, улиц и проездов, плотин, мостов, насыпей;
  - верх и низ плотин, мостов, подпорных стенок, укрепленных откосов, бетонированных лотков и кюветов, насыпей, дорог, колодцев;
  - головки рельсов (в том числе трамвайных);
  - верх и низ подпорных стенок, укрепленных откосов и бетонированных лотков;
  - углы и цоколи капитальных зданий;
  - места изменения профиля спланированных поверхностей и мощения, площадки у входа в капитальные здания.
- Высоты, характеризующие подземные коммуникации:
  - верх чугунного кольца люка колодца (обечайка);
  - земли (или мощения) у колодца;
  - труб, каналов (промерами от обечаек с отсчетом до 1 см);
  - в самотечных сетях — дно лотка;
  - в перепадных колодцах — высота низа входящей трубы;
  - в колодцах-отстойниках — дно колодца, низ входящей и выходящей труб;
  - у напорных трубопроводов — верх труб;
  - в каналах и коллекторах — верх и низ каналов (коллекторов);
  - в кабельных сетях — место пересечения кабеля со стенками колодца, верх и низ пакета (блока) при кабельной канализации;
  - глубины заложения безколодезных прокладок.
- Высоты опор и эстакад.

### Требования к подробности пространственной информации

Согласно [3], на каждом квадратном дециметре плана должно быть подписано не менее пяти высот характерных точек местности. Каждая подпись высотной отметки с пунсоном занимает на плане примерно 20 мм<sup>2</sup>, поэтому теоретически на квадратном дециметре плана можно разместить до пятисот непрерывающихся отметок. Однако на застроенной территории количество отметок обычно не превышает 25 — даже при такой плотности возникают проблемы с их размещением. Поэтому большая

часть определенных при тахеометрической съемке высотных отметок не попадает на план. Кроме того, положение некоторых точек определяется линейными промерами без измерения высот.

Случается и "дефицит" плановых координат — речь идет о так называемых "двойных" отметках подпорных стенок и бортовых камней, когда у двух точек с разными высотами оказываются одинаковые X и Y. В этом случае для однозначного построения поверхности требуется дополнительная информация — либо указание верха/низа, либо изменение плановых координат одной из точек. Если и верх и низ снимать отдельными пикетами, проблемы не возникает.

Большая часть отображаемых на плане высотных отметок (углы зданий, основания столбов, деревьев и т.д.) относится к месту пересечения наземного объекта с поверхностью рельефа. Однако для построения пространственной модели такого объекта требуется знать не только отметку его основания, но и его высоту — или высоты его частей, если объект имеет сложную форму (строение с разноэтажными частями, двускатная крыша и т.д.).

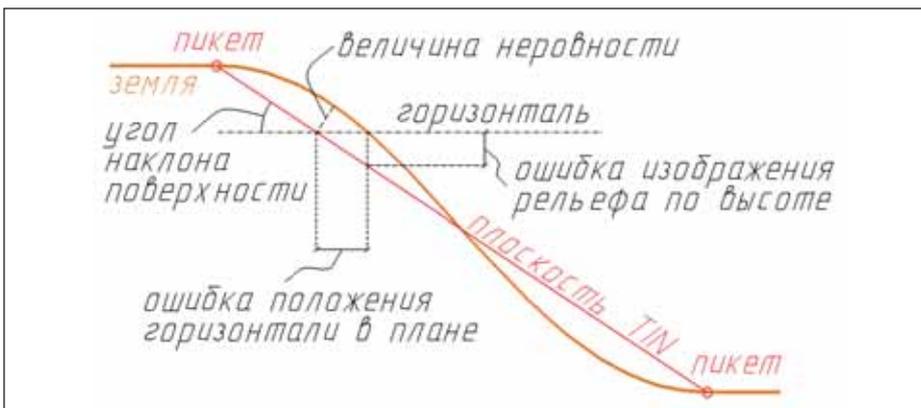
На планах должны отображаться выступы и уступы зданий и сооружений, превышающие 0,5 мм [3], что для масштаба 1:500 соответствует 0,25 м на местности. Если исходить из тех же критериев детальности графического отображения, то при использовании согласно [6] вертикального масштаба профиля 1:100 следует отображать ступеньки высотой от 0,05 м и более.

Располагая пикеты на характерных элементах рельефа (например, водоразделах и тальвегах), мы игнорируем более мелкие элементы в промежутках. При построении горизонталей<sup>1</sup> по таким ребрам треугольников возникает ошибка, которая зависит от величины неровности рельефа и угла наклона местности.

Например, средняя погрешность съемки рельефа, согласно п. 5.11 [2], не должна превышать 1/3 сечения рельефа при углах наклона поверхности от 2 до 10 градусов. Можно рассчитать, что при сечении рельефа 0,5 м предельная величина пропущенной неровности (то есть отклонения поверхности земли от прямой, проходящей через соседние пикеты) не должна превышать  $(0,5/3) \cdot \cos 10^\circ = 0,16$  м.

Для точности определения объема перемещаемого грунта важна также площадь, занимаемая не учитываемой деталью рельефа. Допустим, в квадрате 20x20 м между двумя парами пикетов имеется цилиндрическая выпуклость с максимальной высотой 0,15 м. Нетрудно подсчитать, что ее неучет при представлении данной поверхности только двумя треугольниками приведет к ошибке приблизительно в 40 м<sup>3</sup>. Не так уж много, но для участка в 1 га, расположенного на холме или верхней (как правило, выпуклой) части склона, получится уже  $40 \cdot 25 = 1000$  м<sup>3</sup> лишнего грунта. Если же брать пикеты в два раза чаще (то есть через 10 м), ошибка уменьшится вчетверо и составит 250 м<sup>3</sup> на гектар. Этот фактор можно учесть заранее, поскольку положительные формы равнинного рельефа обычно имеют выпуклую форму, а отрицательные — вогнутую. Если на подлежащий съемке участок имеются приближенные данные о рельефе, то радиус кривизны поверхности и необходимую густоту пикетов легко рассчитать по величинам заложения горизонталей или отдельным высотным отметкам.

Все чаще используемый при топографической съемке метод воздушного или наземного лазерного сканирования позволяет добиться очень высокой густоты точек, что дает возможность отказаться от использования структурных линий и редактирования триангуляции Делоне при построении ЦМР, однако его применение ограничивается требо-



<sup>1</sup>Подразумеваются несглаженные горизонталы, поскольку их сглаживание, как справедливо отмечается в [7] ("сглаженные горизонталы — от лукавого"), вносит дополнительные ошибки (вплоть до пересечения). Величина этих ошибок зависит от алгоритмов и параметров сглаживания и требует отдельного рассмотрения.

ванием обеспечить прямую видимость от сканера. При наличии густой травянистой растительности, снежного покрова или строительного мусора этот метод может дать неудовлетворительные результаты, так как основная часть точек не будет соответствовать рельефу, а при фильтрации их густота значительно снизится.

### Требования к точности пространственной информации

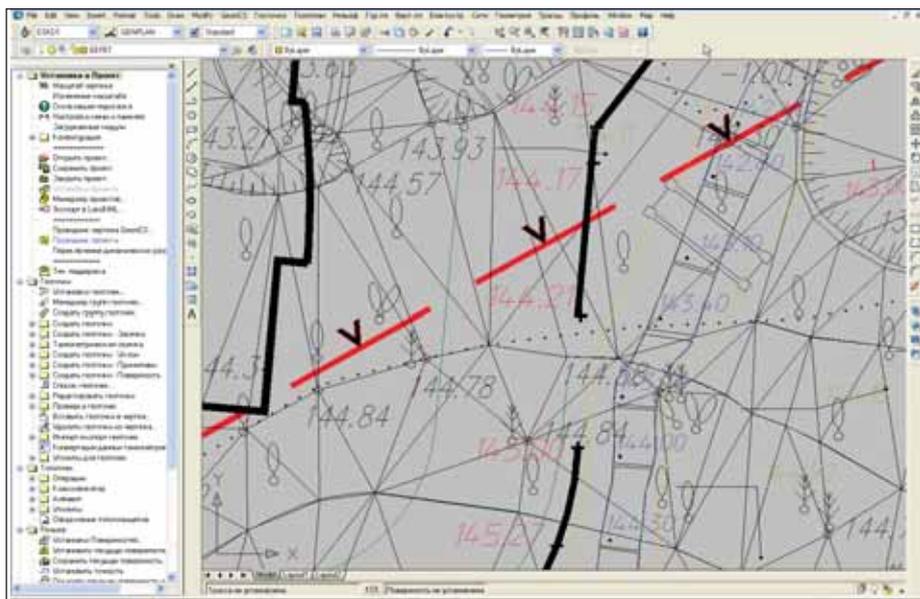
В п. 5.25 [3] требования к точности высотного положения точек съемочной геодезической сети при высоте сечения рельефа 0,5 м совпадают с требованиями к точности их планового положения. В отношении рельефа при том же его сечении требования к точности примерно в два раза выше (п. 5.11 [2]), чем к плановому положению точек на незастроенной территории (п. 5.9 [2]). Из наземных объектов наиболее точно следует определять высоты люков колодцев подземных сооружений и верха труб на дорогах, урезов воды в водоемах и полов в капитальных зданиях. Их необходимо определять дважды (по двум сторонам рейки или при двух кругах) с предельным расхождением 20 мм (п. 5.80 [3]), тогда предельная ошибка среднего значения составит 10 мм.

Еще больше разница в требованиях к точности планового и высотного положения подземных коммуникаций: "предельные ошибки определения элементов подземной инженерной сети в плане не должны быть более 0,2 мм" (п. 6.29 [4]), что соответствует 100 мм на местности, а "погрешность определения высот коммуникаций не должна быть более 10 мм" (п. 5.2.28 [4]). Для вновь построенных коммуникаций расхождения в превышениях, полученных по черным и красным сторонам реек, для каждой станции не должны превышать 5 мм (п. 6.34 [4]).

Ошибки в отметках земли приводят к ошибкам в организации рельефа, которые зачастую более заметны, чем неточности в плановом положении капитальных сооружений. Заметите ли вы, например, что крыльцо вашего дома смещено на 10 см к одному из углов? А вот не обратить внимания на лужу такой же глубины, образующуюся перед крыльцом после каждого дождя, вряд ли возможно...

### Требования к формату модели

Изыскатели не всегда имеют возможность сформировать ЦММ в том формате, который необходим проектировщику, а конвертация из одного формата в другой нередко приводит к потере и искажению информации. Поэтому от изыскателей заказчику часто передается не сама модель, а необходимые исходные данные для ее однозначного формирования программными средствами последнего.



Если ЦМР должна быть представлена в виде регулярной сетки (Grid), обычно достаточно текстового файла с триплетами координат, расположенных через заданные промежутки точек. Интервал между точками должен быть задан — от его величины зависит точность такой модели.

Если используется нерегулярная сеть треугольников (TIN), то кроме текстового файла с триплетами координат вершин, которые обычно совпадают со съемочными пикетами, необходима информация о том, как по ним должна выполняться триангуляция. Это может быть текстовый файл с координатами вершин структурных линий или графический файл с изображением этих линий или построенных по ним треугольников во взаимно понятном обменном формате (например, DXF или XML).

### Дополнительные требования

Съемку для создания ЦМР следует выполнять при отсутствии снежного покрова и льда, поскольку они значительно снижают точность результатов.

В некоторых случаях для текстурирования объектов с целью создания фотореалистичных пространственных моделей местности требуются их цифровые фотографии. Требования к этим снимкам (допустимые ракурсы, разрешение и т.д.) также должны быть регламентированы.

### Вывод

Из сказанного видно, что для получения ожидаемого результата проектировщиком и изыскателям необходимо приложить определенные усилия по разработке и согласованию достаточно подробных технических требований к ЦММ и исходным данным для ее создания.

Авторы надеются, что приведенные соображения и рекомендации заинтересуют

специалистов в данной области и, возможно, послужат предметом дискуссии, результаты которой помогут сформулировать обобщенные требования для их закрепления в нормативных документах.

### Литература

1. В.И. Чешева. "Трехмерная геоподоснова — что же это значит, или Очень серьезный разговор о трехмерной поверхности. — CADmaster, №4/2002, с. 61–65.
2. СНиП 11-02-96 "Инженерные изыскания для строительства. Основные положения" (Госстрой России. — М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997).
3. СП 11-104-97 "Инженерно-геодезические изыскания для строительства" (Госстрой России. — М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997).
4. СП 11-104-97 "Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Часть II. "Выполнение съемки подземных коммуникаций при инженерно-геодезических изысканиях для строительства" (Госстрой России. — М.: ПНИИИС Госстроя России, 2001).
5. Е.Д. Осипов. Об установлении требований к топографической съемке в масштабе 1:200 и крупнее. — Геопрофи, №3/2005, с. 47–50.
6. ГОСТ Р 52055-2003 Геоинформационное картографирование. Пространственные модели местности. Общие требования (Госстандарт России).
7. GeoniCS. Документация. — CSoft, 2006.

*Валентина Чешева,*  
директор отдела землеустройства,  
изысканий и генплана компании CSoft,  
доктор философии, к.т.н.  
Тел.: (495) 913-2222  
*Дмитрий Осипов,*  
главный специалист отдела цифровых  
топографических планов  
ГУП "Мосгоргеотрест", к.т.н.  
*Евгений Осипов,*  
студент IV курса факультета  
прикладной космонавтики МИИГАиК