

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

Нестеренок М. С., канд. техн. наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
(г. Минск, Республика Беларусь)

Введение. Изыскания, проектирование, строительство, ремонт и реконструкция автомобильных дорог, инвентаризация дорожной сети в современных условиях производятся с применением комплексных инновационных технологий автоматизированной обработки исходной топографической информации. По геодезическим данным производится картографирование дорог, которое должно выполняться с точностью, предъявляемой к топографическим картам и планам крупных масштабов.

Сущность инновационных технологий геодезических изысканий и использования цифровых моделей местности в автоматизированном проектировании автомобильных дорог. Цифровые данные результатов полевых геодезических работ на трассах автомобильных дорог и данные, полученные по имеющимся картографическим материалам, используются в проектировании дорог и дорожных сооружений. В настоящее время проектирование выполняется в геоинформационных системах CREDO ТОПОПЛАН, CREDO ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ и ОБЪЕМЫ, CREDO ДОРОГИ. Указанные системы проектирования созданы компанией «Кредо-Диалог», имеющей эффективно работающий филиал в г. Минске. Программные продукты компании обеспечивают вариантность проектирования автомобильных дорог с экономической и экологической оценкой вариантов проектных решений. Геоинформационная система наполняется набором цифровых данных в результате комплексных полевых геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий.

Функционал CREDO ДОРОГИ (CREDO III) [1] обеспечивает специалисту возможность проектировать автомобильные дороги всех технических категорий. В программном продукте заложены: создание цифровой модели местности (ЦММ) на основе

топографических материалов изысканий, камеральное трассирование, составление продольного профиля трассы и профилей поперечников, проектирование продольного и поперечных профилей дороги с расчетом объемов работ (земляных, планировочных, укрепительных); выпуск чертежей проекта, формирование цифровой модели проекта (ЦМП) для использования ее при детализации проекта.

Современная основная геодезическая опора трассы автомобильной дороги. Традиционная привязка трасс автомобильных дорог к пунктам государственной или местной геодезической сети посредством привязочных линейно-угловых ходов требует значительных затрат времени и труда и становится излишней в случае применения высокоточных спутниковых приборов местоопределения. Такие приборы используются как самостоятельные высокоточные средства GPS-технологий по определению плановых и высотных координат точек трассы, а также притрассовых опорных геодезических пунктов при изысканиях дорог и при выполнении съемки (инвентаризации) существующей дорожной сети.

Показатели точности и технологичности при определении координат точек трассы и расстояний D спутниковыми приборами характеризуются на примере приемника LEICA GPS 1200, работающего по методу базовой станции:

- 1) режим измерений «статика» $\Delta D = 5 \text{ мм} + 10^{-6}D$;
- 2) в режиме измерений «кинематика» $\Delta D = 10 \text{ мм} + 10^{-6}D$;
- 3) при камеральной обработке (постобработке) на компьютере данных режима «статика» $\Delta D = 3 \text{ мм} + 10^{-6}D$;
- 4) погрешность превышения ΔH в два раза больше погрешности расстояния ΔD , т. е. близки к 10 мм на 1 км.

Следовательно, спутниковые геодезические методы контроля положения автомобильной дороги в плане и по высоте в данной координатной среде по точности и мобильности отвечают передовым технологиям и получают широкое применение как инновационная основа современной практики геодезического обеспечения дорожного строительства.

Инвентаризация дорожной сети с применением GPS-приборов может выполняться по схеме разреженной плано-высотной привязке характерных точек трассы, расположенных на прямых и криволинейных участках. Относительно таких точек инструментально определяются другие геометрические характеристики дороги.

По координатам GPS-точек трасса картографируется в требуемой проекции.

Электронные дальномерно-угломерные приборы. В комплект высокотехнологичного электронного тахеометра Leica TCRP1200+ можно включать GPS-приемник. Встроенное ПО данного электронного тахеометра включает и следующие программы, актуальные в дорожном строительстве:

- дорожная ось (Road Runner, Tunnel) – разбивка и контроль прямолинейных и криволинейных участков трассы дороги, тоннеля;
- опорная линия (Referense line) – вынос точек в натуру относительно базовой линии;
- разбивка DTM (Digital terrain Model Stakeout) – разбивка на основе ЦММ с указанием различия между фактическими и проектными координатами точек;
- съемка поперечного сечения (Cross section surveu) – съемка профилей дорог, трасс и др.;
- линейно-угловой ход (Traverse) – вычисление координат точек линейно-углового хода.

Линейно-угловые геодезические ходы (Traverse) прокладывают по оси трассы автомобильной дороги на стадии изысканий или в процессе выноса проекта в натуру. Прокладка выполняется при помощи электронного тахеометра, но допускается применение теодолита типа Т30 в сочетании со светодальномером [2]. Предельная длина линейно-углового хода определяется величиной $\Delta\rho$ – допустимой погрешностью положения на плане масштаба 1 : М точки хода, наиболее удаленной от опорных пунктов (в середине хода, т.е. в слабом месте хода). Для открытой местности и застроенной территории допустимая погрешность $\Delta\rho = 0,1$ мм, а для закрытой местности (заросшей кустарниковой и древесной растительностью) $\Delta\rho = 0,15$ мм [2]. С вероятностью 0,95 принимается, что допустимая погрешность координат конечной точки хода $m_{xy} = 2\Delta\rho$. Согласно [3] значение m_{xy} рассчитывается по формуле

$$m_{xy}^2 = \Sigma m_s^2 + (m_\beta L/\rho)^2(n + 2)/12 , \quad (1)$$

где m_s – погрешность измерения стороны хода светодальномером;

m_β – погрешность измерения углов (с);

L – длина хода;

$\rho = 206265$ – число секунд в радиане;

n – число сторон хода.

Из формулы (1) получается формула (2) для расчета допустимой длины линейно-углового хода, опирающегося на пункты с известными координатами,

$$L^2_{\text{доп}} = (m^2_{xy} - m^2_s n) / [(m_\beta / \rho)^2 (n + 3) / 12]. \quad (2)$$

В таблице приведены расчетные значения $L_{\text{доп}}$ для неблагоприятных условий трассирования при $m_\beta = \pm 30''$; $m_s = \pm 0,05$ м.

Таблица 1

Расчетные допустимые длины линейно-угловых ходов дорожного трассирования в неблагоприятных условиях местности

Масштаб съемки; доп. невязка, m_{xy} , М	Число сторон теодолитного хода, n								
	3	4	5	7	9	12	15	20	30
	Допустимая длина хода, $L_{\text{доп}}$, км по критерию $f_{\text{доп}} = m_{xy}$; Средняя длина стороны $s_{\text{ср}} = L / n$, м								
1 : 5000 $m_{xy} = 1,40$	<u>13,6</u> 4530	<u>12,6</u> 3150	<u>11,8</u> 2350	<u>10,5</u> 1500	<u>9,6</u> 1060	<u>8,5</u> 710	<u>7,8</u> 520	<u>6,9</u> 345	<u>5,7</u> 190
1 : 2000 $m_{xy} = 0,70$	<u>6,8</u> 2250	<u>6,2</u> 1560	<u>5,8</u> 1160	<u>5,2</u> 740	<u>4,7</u> 520	<u>4,2</u> 350	<u>3,8</u> 250	<u>3,2</u> 160	<u>2,7</u> 90
1 : 1000 $m_{xy} = 0,42$	<u>4,3</u> 1430	<u>3,9</u> 990	<u>3,7</u> 730	<u>3,2</u> 460	<u>2,9</u> 320	<u>2,6</u> 210	<u>2,3</u> 150	<u>1,9</u> 95	<u>1,5</u> 50
1 : 500 $m_{xy} = 0,21$	<u>1,7</u> 580	<u>1,6</u> 390	<u>1,4</u> 280	<u>1,1</u> 160	<u>0,9</u> 100	<u>0,6</u> 50	<u>0,3</u> 20	–	–

Примечание. На практике длины сторон хода определяются ситуацией; промежуточные точки сторон закрепляются в процессе пикетажных работ.

Картографические проекции автомобильных дорог. Дорожная сеть в масштабе республики проектируется и картографируется в государственной зональной системе прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера, а на территориях ряда городов – в местной системе прямоугольных координат. Высотные координаты всех дорог отвечают единой Балтийской системе высот. Спутниковые геодезические приемники обеспечивают высокоточную планово-высотную привязку осевых и внеосевых точек трассы, мобильный

контроль надежности положения притрассовых планово-высотных пунктов, а также достоверное определение координат опорных пунктов геодезической основы трассы, создаваемой линейно-угловыми ходами. Программное обеспечение GPS-приборов, действующих в геоцентрических координатах WGS-84 и ПЗ-90, включает набор программ по трансформированию координат из одной системы в другую, в частности в зональные координаты проекции Гаусса-Крюгера. При необходимости зональные координаты точек трассы преобразуются в частную систему координат населенного пункта, обслуживаемого трассой.

Лазерное сканирование дорожных покрытий представляет собой эффективный инновационный метод создания детального высокоточного цифрового и иллюстративного отображения топологии поверхности дорожного покрытия, на основе которой можно выполнить высокоточные и многовариантные разработки проектов его реконструкции [4]. Для создания соответствующих цифровых моделей наземный лазерный сканер, например типа «Scan Station» фирмы Leica (приборы имеются в УП «Геосервис» и ЗАО «Экомир» – г. Минск) должен располагаться при съемках на разделительной полосе или на обочине дороги, с которых обеспечивается адекватный охват сканируемой поверхности. Программное обеспечение результатов сканирования рассчитано на пост-обработку полевых данных. Точность моделирования рельефа поверхностей близка к ± 3 мм и достигается на расстояниях сканирования от 1 до 80 м. Предельное расстояние сканирования близко к 350 – 370 м, при этом точность определения координат точки, четко отражающей луч, достигает $\pm(5 - 7)$ мм, а точность моделирования рельефа на максимальных удалениях составляет $\pm(15 - 30)$ мм.

Для составления проекта реконструкции дороги погрешность пространственных координат точек поверхности допускается до ± 5 мм [4]. Поэтому в данной задаче современные наземные лазерные сканеры обеспечивают требуемую точность съемки дорог при дальностях до 100 м. Соответственно приблизительно через 100 м должны размещаться маркирующие точки для планово-высотной «сшивки» координатной среды смежных станций сканирования.

Результаты сканирования поверхности дороги используются в системах проектирования CREDO, при этом поперечные профили покрытия описываются оптимальным количеством точек с отметками, а шаг между поперечниками может изменяться согласно заданию.

Заключение. Инновационные методы геодезического обеспечения дорожного строительства, основанные на использовании электронных автоматизированных средств измерений и обработки исходной информации по отображению придорожной местности и трасс дорог, комплексная обработка данных полевых геодезических работ и проектирование на их основе автомобильных дорог в геоинформационных системах CREDO все более широко выполняются в республике Беларусь на уровне передовых мировых технологий.

Литература

1. CREDO III – расширение возможностей. – Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, № 3 (30), 2008. с. 23–30.
2. Инженерные изыскания для строительства: СНБ 1.02.01-96. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1996. – 110 с.
3. Большаков, В.Д. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / В.Д. Большаков, [и др.] – М.: Недра, 1980. – 781 с.
4. Волошин, П.З. Комплексное использование технологий лазерного сканирования дорожных покрытий для создания цифровых моделей в CREDO / П.З. Волошин, Л.А. Токарев, А.И. Горб. – М.: Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2009.