



УДК 528. 48



Владимир ПОДШИВАЛОВ,
заведующий кафедрой геодезии и аэрокосмических
геотехнологий, доктор технических наук, профессор

Владимир МКРТЫЧЯН,
доцент кафедры геодезии и аэрокосмических геотехнологий,
кандидат технических наук, доцент

Белорусский национальный технический университет

Современные технологии инженерно-геодезического обеспечения строительства уникальных сооружений

При строительстве уникальных сооружений разрабатываются индивидуальные проекты, в которых предусматриваются высокие требования к точности строительно-монтажных работ. На таких объектах, как правило, используются нетиповые строительные конструкции различных размеров и форм.

Качество проектирования во многом зависит от полноты материалов комплексных инженерных изысканий. Изыскания определяют как комплексное изучение природных и технико-экономических условий местности для получения исходных данных, необходимых для принятия технически обоснованных, экологически безопасных и экономически целесообразных решений при проектировании и строительстве. Комплексное изучение возможных мест будущего строительства проводится на определенный момент с использованием как имеющихся материалов, так и путем проведения дополнительных натурных измерений и исследований в составе различных видов изысканий.

Как известно, инженерные изыскания проводят последовательно как на стадии технико-экономического обоснования проектирования различных объектов и сооружений (предпроект), так и на стадии разработки технического проекта и рабочих чертежей. Материалы комплексных инженерных изысканий в значительной мере влияют на качество предпроектных и проектных работ. Полнота и комплексность изысканий дает значительный технико-экономический эффект при индивидуальном проектировании.

По результатам изысканий получают комплексную информацию об условиях строительства и эксплуатации объекта, которая должна использоваться, на наш взгляд, взвешенно во всем ее многообразии. От этого во многом зависит обоснованность принятия технико-экономических решений из предлагаемых альтернатив.

Опыт указывает на существующие проблемы как сбора, анализа, так и рационального использования материалов изысканий. В современных условиях по любым территориям имеется определенный объем разнообразной информации, накопленный различными органами и организациями, которая может быть полезна, но доступ к ней затруднен, так как она хранится в архивах. При этом возникают проблемы ее сбора, анализа и комплексного использования, а также отсутствия контроля полноты ее учета. В последние годы строительная отрасль стремительно развивается по пути ускорения всех этапов строительства и повышения качества проектных и строительно-монтажных работ, расширения возможностей реализации сложных архитектурно-строительных решений. Все шире рассматриваются альтернативные проектные решения и возможности их реализации на основе технико-экономических научно обоснованных методов. Для принятия взвешенных решений, в том числе на основе методов математического моделирования и прогнозирования в рамках автоматизированных информационных технологий, возникает необходимость построения математических моделей и формали-

зованного описания разнообразной информации, определяющей условия взаимодействия возводимого объекта, окружающей среды и существующей инфраструктуры. Поэтому очевидна всевозрастающая роль и значимость материалов комплексных изысканий в современном строительстве. Практика свидетельствует о негативных последствиях недооценки этого фактора, выражающихся в необходимости внесения корректив и изменений в проектные решения в процессе производства строительно-монтажных работ, что в конечном итоге приводит к нарушениям ритмичности и удорожанию строительства.

Информация, на основании которой формируются условия преобразования окружающей среды в процессе строительства, представляет собой систему взаимосвязанных и взаимодействующих объектов — носителей информации, имеющих определенные пространственно-временные характеристики. Комплексные изыскания дают возможность получить качественную и количественную информацию, а топографо-геодезические изыскания — координатное описание объектов, ее несущих. Отсюда следует особая роль и значимость соответствующего инженерно-геодезического и картографического сопровождения проектно-исследовательских работ, позволяющего применить на практике формализацию и математическое описание разнородной информации путем координирования соответствующих объектов.

В настоящее время имеются технические возможности формирования

различных по объему информационных баз данных на электронных носителях, в цифровом виде. При этом может быть решена проблема санкционированного доступа к информационным базам данных как в режиме экспорта, так и в режиме импорта, что может обеспечить условия их доступности для специалистов, а также поддержания информации в актуальном состоянии. При этом существенно возрастают возможности повышения уровня проработки проектных решений, а также эффективности управления и контроля со стороны соответствующих органов.

Рассмотрим некоторые возможности решения задачи топографо-геодезических изысканий в современных условиях.

1. За счет вывода измерений в спутниковых системах позиционирования за пределы приземного слоя атмосферы точность координатных определений по сравнению с классическими наземными методами повысилась на порядок [1 и др.]. Точность определения аномалий высот позволяет шире применять на практике методы спутникового нивелирования. Оперативность координатных определений спутниковыми системами позиционирования (в том числе трехмерных) несравнимо выше, а трудоемкость — существенно ниже классических наземных методов.

2. Появление электронных тахеометров с соответствующим программным обеспечением и наличием средств электронной связи позволяет оперативно решать в автоматическом режиме весь комплекс геодезических задач, получать в цифровом виде и транспортировать потребителям (проектировщикам, в базы данных и др.) весь перечень и объем материалов изысканий. Коренным образом меняется представление о методах производства работ.

3. Современные методы формирования систем координат на основе теории наилучших проекций (в соответствии с критерием Чебышева-Граве) обеспечивают широкие возможности минимизации искажений картографируемых областей, взаимосвязь различных систем координат, трансформирование картографического материала [2 и др.].

4. Методы дистанционного зондирования земной поверхности в сочетании с наземными цифровыми сканерами позволяют получать трехмерное

координатное описание земной поверхности и объектов на ней в оперативном режиме. При надлежащей организации работ в настоящее время может идти речь и о создании четырехмерных моделей местности (в режиме реального времени).

Немаловажным фактором, определяющим современный уровень инженерно-геодезического обеспечения строительства, является уровень использования возможностей современных приборов и технологий. На первый взгляд возникает иллюзия того, что современные приборы и технологии, характеризующиеся высоким уровнем автоматизации, не требуют соответствующего уровня подготовки специалистов. Это глубокое заблуждение. Естественно, для отдельных видов работ, которые несложно выполнить и обычными теодолитами, нивелирами и дальномерами, не требуется высокой квалификации. Здесь следует понимать, что новые приборы и технологии при грамотном и профессиональном их применении позволяют существенно расширить круг решаемых задач методами геодезии и топографии, повысить доступность топографо-геодезических материалов при решении задач различных отраслей хозяйственной деятельности. Приведение современного прибора в рабочее состояние предполагает не только обеспечение его геометрических параметров, но и формирование меню исходных данных и проектных значений, а также выбор режима работы, введение констант, метеоусловий и др.

В настоящее время назрел вопрос создания автоматизированного рабочего места геодезиста, предусматривающего наличие

приборного и технологического обеспечения как традиционного, так и включающего современные аналоги (например, спутниковые системы позиционирования, электронные тахеометры, цифровые сканеры и др.), которые в обязательном порядке должны быть сертифицированы и включены в государственный реестр измерительных средств;

сертифицированного программно-обеспечения для обработки информации на ЭВМ и представления в цифровом виде на электронных носителях; средств электронной связи для обеспечения экспорта-импорта данных в режиме реального времени.

Наряду с традиционными методами производства геодезических работ рекомендуется применение методик, предусматривающих использование современных приборов, которые могут обеспечить существенный технико-экономический эффект.

При работе с электронным тахеометром реализуется пространственная линейно-угловая (векторная) засечка, дающая наибольший эффект в сочетании с методом «свободной станции». Применительно к строительным объектам наибольший эффект метод «свободной станции» может дать при работе на строительных горизонтах, когда нет необходимости в создании внутренних разбивочных сетей для выноса в проектное положение элементов строительных конструкций, исполнительных съемках, мониторинговых геодезических наблюдениях. Смысл данного метода заключается в работе тахеометра в двух режимах: первый — координирование и ориентирование прибора от исходных пунктов, координаты которых предварительно занесены в электронную память прибора. Для того, чтобы измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний, вычисления координат произвести с контролем, а также для того, чтобы была возможность выявить и исключить при необходимости из наблюдений исходные пункты, положение которых изменилось, в режиме «свободной станции» измерения должны производиться не менее чем на четыре исходных пункта внешней разбивочной основы. Второй режим — съемка, при которой определяются координаты имеющихся точек или выносятся точки, проектные координаты которых предварительно внесены в электронную память прибора.

При соответствующей системе нумерации геодезических пунктов, а также выносимых в натуру проектных точек электронная база прибора хранит всю полноту информации об измерениях, о координатах исходных пунктов, проектных координатах контрольных точек, внесенных предварительно, и координатах определяемых точек. Эти данные могут в дальнейшем, при необходимости использоваться в работе, передаваться по средствам электронной связи проектной организации.



При выносе в проектное положение контрольных точек электронный тахеометр с соответствующим программным обеспечением выдает данные в оперативном режиме для точной доводки. При этом можно получать данные для доводки как в системе координат объекта, так и относительно проектных плоскостей и поверхностей. Это существенно упрощает взаимодействие с монтажниками и ускоряет работу.

Приращения координат Δx , Δy и превышения Δh определяемых точек относительно геометрического центра прибора вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \Delta x &= d \cos \beta \cos \alpha; \\ \Delta y &= d \cos \beta \sin \alpha; \\ \Delta h &= d \sin \beta, \end{aligned} \quad (1)$$

где d — измеренное наклонное расстояние;

α — дирекционный угол;

β — измеренный вертикальный угол.

Полезно для предрасчета точности векторной засечки (при планировании измерений) применять формулы, выражающие соответствующие относительные средние квадратические погрешности,

$$\begin{aligned} \left(\frac{m_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2 &= \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 + \operatorname{tg}^2 \beta \left(\frac{m_{\beta}''}{\rho''}\right)^2 + \\ &+ \operatorname{tg}^2 \alpha \left(\frac{m_{\alpha}''}{\rho''}\right)^2; \\ \left(\frac{m_{\Delta y}}{\Delta y}\right)^2 &= \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 + \operatorname{tg}^2 \beta \left(\frac{m_{\beta}''}{\rho''}\right)^2 + \\ &+ \operatorname{ctg}^2 \alpha \left(\frac{m_{\alpha}''}{\rho''}\right)^2; \\ \left(\frac{m_{\Delta h}}{\Delta h}\right)^2 &= \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \beta \left(\frac{m_{\beta}''}{\rho''}\right)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Если расстояния не превышают 10 м, вертикальные углы изменяются в пределах $\pm 20^\circ$, требования к необходимой точности линейных и угловых измерений при определении превышений

$$\begin{aligned} m_d &\leq 2,5 m_{\Delta h}; \\ m_{\beta}'' &\leq 15 m_{\Delta h(m\text{м})}. \end{aligned} \quad (3)$$

Исследования точностных характеристик электронного тахеометра

и опыт его применения в различных условиях наблюдений показали, что основным фактором, снижающим точность измерений электронным тахеометром, является влияние внешних условий. При передаче приращений координат и превышений на малые расстояния, когда лазерный луч при измерениях проходит в идентичных атмосферных условиях, главная составляющая атмосферных влияний компенсируется и реальная точность измерений может быть выше паспортной. Метод принудительного центрирования с применением специальных типов центров обеспечивает точность центрирования не ниже 0,2 мм.

При геодезических измерениях на точки, расположенные на строительных конструкциях, можно использовать метод измерений на специальную пленку. При этом необходимо выбрать оптимальный метод маркировки центров этих точек.

Местоположение свободной станции определяется из соображений обеспечения наиболее удобных условий для производства измерений.

Выполнив координирование и ориентирование прибора, приступают к координированию контрольных точек (режим «съемка»). С одной точки (свободной станции), координаты которой получены в изложенном выше порядке, можно производить координирование и разбивку любого числа видимых точек. В реальных условиях таких свободных станций на объекте может быть любое, достаточное для работы число. Для обеспечения необходимой и однородной точности координатных определений, производства уравнительных вычислений и оценки точности результатов измерений на каждой свободной станции измерения производят с перекрытием.

В случае реализации векторной засечки электронным тахеометром следует иметь в виду, что, помимо приборных погрешностей измерения расстояний, вертикальных и горизонтальных углов, будут иметь место погрешности наведения на марку или наклон вехи с призмой, расположенной на некоторой высоте вехи H над контрольной точкой. В вертикальное положение веха устанавливается с помощью круглого уровня, имеющего определенную точность β .

Несложно заметить, что погрешность в измеренном превышении Δh , обусловленная наклоном минивехи, составит величину, вычисляемую из выражения

$$\Delta h = H - H \cos \beta \approx H \left(\frac{\beta''}{\rho''}\right)^2. \quad (4)$$

При этом следует обратить внимание на то, что данные условия влияют и на точность планового определения.

$$\Delta P = H \sin \beta \approx H \frac{\beta''}{\rho''}. \quad (5)$$

При использовании вехи и отражателя необходимо иметь в виду и эти погрешности. На основании расчетов, произведенных по приведенным выше формулам (1)–(5), выбирается класс точности прибора, методика измерений, допустимая высота вехи, в обязательном порядке поверяется круглый уровень.

Следует отметить, что погрешность за наклон вехи в приращения плановых координат существенно больше по сравнению с погрешностью в превышении. Например, если принять $H=0,2$ м, $\beta=120''$, получим соответственно: $\Delta h=6,8 \cdot 10^{-5}$ мм; $\Delta P=0,1$ мм. Зная точность круглого уровня, входящего в комплект отражателей, и необходимую точность определения превышений и приращений координат, можно рассчитать допустимую высоту вехи.

Достаточно эффективно в координатном режиме выносить центры пересечения строительных осей сооружения. Данный объект имеет сложную геометрическую форму, поэтому перед выносом центров пересечения строительных осей и элементов строительных конструкций необходимо получить в проектной организации координаты (плановые и высотные) соответствующих точек. ■

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кашин, Л.А. Построение классической астрономо-геодезической сети России и СССР (1816–1991 гг.) / Л.А. Кашин. — М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1999. — 192 с.
2. Подшивалов, В.П. Координатная среда для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов // Геодезия и картография. — М., 1997. — № 6. — С.51–55.