

которую они образуют, все точки спутника проходят одинаковый путь трения, вне зависимости от удаления этих точек от оси спутника.

Библиографический список

1. Блинов Г.А. Справочник по алмазному бурению геологоразведочных скважин. — М.: Недра, 1975. — 296 с.
2. Давиденко А.Н., Хоменко В.Л. Влияние траектории движения породоразрушающих элементов в планетарных долотах на равномерность износа вооружения // Науковий вісник, № 3. — Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. — С. 96–98.
3. Давиденко А.Н., Ткаченко В.Е., Хоменко В.Л. Распределение нагрузок в алмазных планетарных долотах // Науковий вісник, № 3. — Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2000. — С. 81–85.

© Давиденко А.Н., Ткаченко В.Е., Хоменко В.Л., 2001

УДК 528:681.3

МОГИЛЬНЫЙ С.Г., ПАВЕЛЬЧАК Т.В. (ДонГТУ)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИВЯЗКИ ОБЪЕКТОВ КАДАСТРОВЫХ СЪЕМОК

Полноценность кадастровых работ в значительной мере определяется пространственной привязкой объектов землепользования и недвижимости, она обеспечивает однозначность определения или восстановления в пространстве границ прав и интересов владельцев. В настоящее время задачи пространственной привязки решаются на основе традиционных принципов измерений топографии.

В основу топографических съемок положен «принцип от общего к частному», который позволяет экономить затраты за счет понижения точности измерений и не допускать нежелательного накопления погрешностей в результатах съемки. Очевидно, что при топографических съемках местности этот принцип еще долго будет определяющим.

Однако стремительное развитие техники геодезических измерений, повышение их точности и уровня автоматизации при решении некоторых инженерных задач делает «принцип от общего к частному» не всегда оптимальным, напротив, он связывает исполнителя, ограничивает возможности повышения эффективности использования новейшей техники.

В соответствии с традиционной технологией при кадастровой съемке необходимо сначала выполнить построение опорной и съемочной геодезических сетей, а потом с их пунктов выполнить координирование точек поворота границ землепользования и других объектов кадастровой съемки. Такая последовательность обосновывается тем, что определение координат точек съемки относительно обоснования выполняется менее точными, а значит, и менее трудоемкими методами, при этом погрешности более грубых измерений не накапливаются.

Все это справедливо при использовании традиционных инструментов: теодолита, рейки, рулетки и т. п. Если же ориентироваться на современные средства измерений: спутниковый приемник типа GPS, электронный тахеометр, например, 2ТА-3 либо на материалы аэрокосмических съемок, то становится очевидной необходимость пересмотра некоторых принципов. Эта необходимость вызывается прежде всего тем, что при использовании, например, 2ТА-3 точность измерений как при прокладке хода обоснования, так и при съемке отдельной пикетной точки, остается практически одинаковой, т. е. очень высокой, 1–2 см. Затраты времени на одну точку

также существенно не различаются. Подобную особенность можно констатировать и при применении других современных средств определения местоположения точек.

Развитие, сохранение и восстановление геодезического обоснования достаточной плотности очень дорогое и сложное дело, поэтому для отдельного участка землепользования оно строится редко. Это имеет смысл только при сплошной кадастровой съемке, которая выполняется в специальных случаях, преимущественно работы ведутся селективно в соответствии с потребностями управления земельными ресурсами.

Поэтому в практике кадастровых съемочных работ, особенно у нас в странах СНГ, как правило, измерения выполняются таким образом, что сравнительно точно определяется только взаимное положение точек поворота границ отдельного участка землепользования, а его положение в общей системе координат зачастую остается либо неизвестным, либо весьма приближенным. Кроме того, сложные условия реальных измерений, в частности, ограниченная видимость и доступность съемочных точек, вынуждает исполнителей применять всякие косвенные методы определения координат точек, что сводит во многом на нет эффективность затрат на построение опорной геодезической сети.

Подобная практика пространственной привязки объектов кадастровых съемок проявляет свои недостатки только тогда, когда постепенно отдельные участки заполняют некоторый контур на земной поверхности и придут в соприкосновение. В этом случае появляются как разрывы между одними соседними участками, так и перекрытия между другими. Если известна площадь земной поверхности в контуре, охватывающем совокупность участков землепользования, покрывающих его контур, то неизбежно возникнет несоответствие между общей площадью и суммой площадей отдельных контуров. Описанная ситуация недопустима и приводит к значительным затруднениям при решении вопросов управления земельными ресурсами, она еще более недопустима при построении и использовании автоматизированных земельных регистрационных систем. Специалисты служб управлений земельных ресурсов выходят из создавшейся ситуации различными, не всегда корректными методами.

Разрешение данной проблемы пространственной привязки участков землеустройства возможно следующими способами:

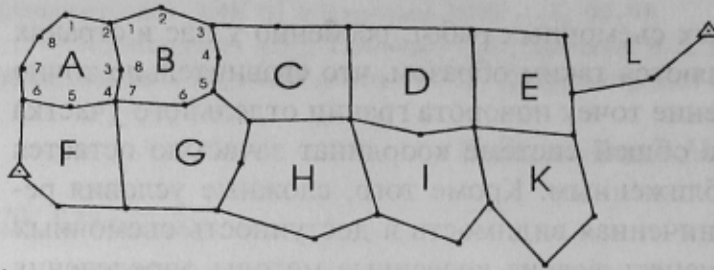
- значительное повышение точности построения, как геодезического обоснования, так и координирования границ, чтобы возникающими невязками можно было пренебречь;
- использование нетрадиционных схем пространственной привязки границ землеустройства, основанных на информационных технологиях.

Первый способ реален, но очень дорог и трудоемок, его осуществление возможно в будущем. Более реален второй способ, при котором используются возможности современных средств геодезических измерений и компьютерной обработки их результатов.

Поскольку точки поворота границ землепользования в настоящее время практически всегда не являются геометрическими точками, а есть некоторые тела или части тел, то их опознавание или идентификация на местности может быть осуществлена с погрешностью, значительно превышающей точность современных измерений.

Предлагаемые схемы основываются на том, что определение координат границ каждого участка выполняется локально, в системе координат данного участка,

что при современных средствах измерений может быть выполнено без дополнительных затрат с очень высокой точностью, порядка 1–2см, например, с помощью электронного тахеометра. Для малых участков такая точность достижима даже обычными средствами. По мере того, как измеренные участки будут заполнять некоторую часть земной поверхности, они начнут соприкасаться и создавать условия для перевычисления их в некоторую единую систему координат, а затем и в государственную систему.



- △ - опорная точка;
- - точка поворота границы

Рис. 1. Схема пространственной привязки участков

Сущность предлагаемых схем пространственной привязки показана на рис.1, где изображены границы некоторой совокупности участков землевладения с именами, заданными латинскими буквами. Границы участков представляют собой многоугольники, которые в дальнейшем будем называть полигонами. Из геометрических соображений очевидно, что при наличии хотя бы двух точек с известными координатами в государственной системе (опорных точек) можно перевычислить локальные координаты каждого полигона в общегосударственную систему. Преимущества такой схемы очевидны: во-первых, отпадает необходимость в построении и поддержании специального съемочного обоснования; во-вторых, разрешаются проблемы соответствия координат общих точек границ и проблемы баланса площадей.

Очевидно, что применение подобных схем привязки требует сложной информационной обработки, что при современных возможностях компьютеров не является недостатком технологии.

Для определения практической пригодности таких схем привязки необходимо обосновать необходимую и достаточную точность измерений в пределах одного полигона и исследовать закономерности накопления погрешностей, чтобы выбрать рекомендуемые конструкции сетей. Решить указанные задачи возможно только на основе теории уравнивания таких сетей и создания соответствующего программного обеспечения. Настоящая работа имеет своей целью освещение первых результатов, полученных на намеченном пути исследований.

В предлагаемом геодезическом построении непосредственно измеренными величинами следует считать локальные координаты точек отдельного полигона, а искомыми величинами — координаты этих же точек в общегосударственной системе. Очевидно, что зависимость между истинными значениями этих величин для некоторой точки i в полигоне j выражается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= a_j X_{ij} + b_j Y_{ij} + c_j^x; \\ Y_i &= -b_j X_{ij} + a_j Y_{ij} + c_j^y, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где X_i, Y_i — истинные координаты точки i в полигоне j в общегосударственной системе координат; X_{ij}, Y_{ij} — истинные координаты точки i в полигоне j в локальной системе координат; a_j, b_j, c_j^x, c_j^y — параметры ортогонального преобразования локальных координат в общегосударственную систему.

Из решения совместной системы уравнений, составленной для всех точек сети, в том числе и для опорных точек, можно найти на основе локальных координат, как параметры ортогонального преобразования, так и неизвестные координаты точек поворота границ. В общем случае такая система несовместна из-за ошибок измерений, поэтому ее следует представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x}_i &= a_j \tilde{x}_{ij} + b_j \tilde{y}_{ij} + c_j^x; \\ \tilde{y}_i &= -b_j \tilde{x}_{ij} + a_j \tilde{y}_{ij} + c_j^y, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где индекс «~» — тильда над переменными обозначает уравненное значение соответствующей величины.

Подставив вместо уравненных значений переменных их величины, выраженные через измеренные или приближенные значения и поправки к ним, получим условные уравнения поправок:

$$\left. \begin{aligned} x_i + \delta x_i - (a'_j + \delta a_j)(x_{ij} + \delta x_{ij}) - (b'_j + \delta b_j)(y_{ij} + \delta y_{ij}) - c_j^x - \delta c_j^x &= 0; \\ y_i + \delta y_i + (b'_j + \delta b_j)(x_{ij} + \delta x_{ij}) - (a'_j + \delta a_j)(y_{ij} + \delta y_{ij}) - c_j^y - \delta c_j^y &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где δ — обозначает поправку в приближенное значение соответствующей величины; x_i, y_i — приближенные координаты точки i в общегосударственной системе; x_{ij}, y_{ij} — измеренные координаты точки в полигоне j ; a'_j, b'_j, c_j^x, c_j^y — приближенные значения параметров преобразования координат полигона j .

Исключив в системе уравнений (3) слагаемые второго порядка малости, представим ее в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x_{ij} & -y_{ij} & -1 & 0 \\ -y_{ij} & x_{ij} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta a_j \\ \delta b_j \\ \delta c_j^x \\ \delta c_j^y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -a'_j & b'_j \\ b'_j & -a'_j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x_{ij} \\ \delta y_{ij} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} w_{ij}^x \\ w_{ij}^y \end{pmatrix} = 0, \quad (4)$$

где

$$\left. \begin{aligned} w_{ij}^x &= x_i - a'_j x_{ij} - b'_j y_{ij} - c_j^x, \\ w_{ij}^y &= y_i + b'_j x_{ij} - a'_j y_{ij} - c_j^y. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Обозначив очевидным образом матрицы в уравнении (4), получим условные уравнения для точки i в полигоне j в матричной форме:

$$\mathbf{E}_2 \Delta_{xy}^i + \mathbf{B}_{ij} \Delta_j + \mathbf{C}_j \mathbf{V}_{ij} + \mathbf{W}_{ij} = 0. \quad (6)$$

Совокупность уравнений вида (6), составленных для всех точек в полигонах, образует общую для сети систему условных уравнений поправок. Следует отметить, для опорных точек в уравнениях (6) не будет первого слагаемого, так как их координаты являются неизменными. В результате получим следующее матричное уравнение:

$$\mathbf{A} \Delta + \mathbf{C} \mathbf{V} + \mathbf{W} = 0, \quad (7)$$

где Δ — вектор поправок в неизвестные параметры сети, состоящий из векторов Δ'_{xy} поправок в координаты точек поворота границ, и Δ_j параметры преобразования локальных координат; V — вектор поправок в измеренные величины, т. е. состоящий из векторов V_{ij} ; A, C — матрицы коэффициентов линейных условных уравнений, W — вектор невязок (свободных членов).

Решение системы методом наименьших квадратов при условии:

$$V^m P V = \min, \quad (8)$$

соответствует случаю коррелятного способа уравнивания с дополнительными параметрами и приводит к следующей системе нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C P^{-1} C^T K + A \Delta + W &= 0; \\ A^T K &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где K — вектор коррелят, а P — матрица весов измеренных координат.

Из решения нормальных уравнений непосредственно находят Δ вектор поправок в параметры преобразования локальных координат и K корреляты, по которым вычисляются поправки в измеренные координаты по формуле:

$$V = P^{-1} C^T K. \quad (10)$$

Для уравнивания необходимо определить модель ошибок измерений. Истинные ошибки $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ измеренных координат точки поворота границы можно разделить на два слагаемых:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon_{x_{изм.}} + \varepsilon_{x_{оп.}} \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_{y_{изм.}} + \varepsilon_{y_{оп.}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $\varepsilon_{x_{изм.}}, \varepsilon_{y_{изм.}}$ — истинные ошибки геодезических измерений; $\varepsilon_{x_{оп.}}, \varepsilon_{y_{оп.}}$ — ошибка идентификации или однозначности опознавания точки поворота границы. Первые слагаемые являются случайными величинами, которые могут быть коррелированы между собой, но они статистически независимы от вторых слагаемых, поэтому ковариационная матрица M ошибок координат будет иметь вид:

$$M = \begin{vmatrix} m_{изм.}^2 + m_{оп.}^2 & m_{xy} \\ m_{xy} & m_{изм.}^2 + m_{оп.}^2 \end{vmatrix} \quad (12)$$

где $m_{изм.}, m_{оп.}$ — средне квадратические величины ошибок, соответственно, измерения координат и опознавания точек поворота; m_{xy} — ковариация ошибок измерения координат x, y точки.

На практике при съемке отдельного участка землевладения величина $m_{изм.} \approx 1-2$ см, а $m_{оп.} \approx 5-10$ см, и поскольку $m_{xy} \leq 0,5 m_{изм.}$, то можно матрицу (12) рассматривать как диагональную. Поэтому правомерно принять следующую модель погрешностей определения координат границ при кадастровой съемке участка:

— координаты точек поворота границы участка в локальной системе являются независимыми непосредственными измерениями;

— истинные ошибки измеренных координат являются независимыми случайными величинами;

— матрицу весов измерений P можно принимать диагональной или во многих случаях единичной.

В соответствии с изложенной теорией разработана программа ArealEqual, которая позволяет выполнять уравнивание сетей и приводить координаты съемок отдельных участков в единую систему. Если нет данных об опорных точках, то программа перевычисляет все полигоны в общую для всех локальную систему координат.

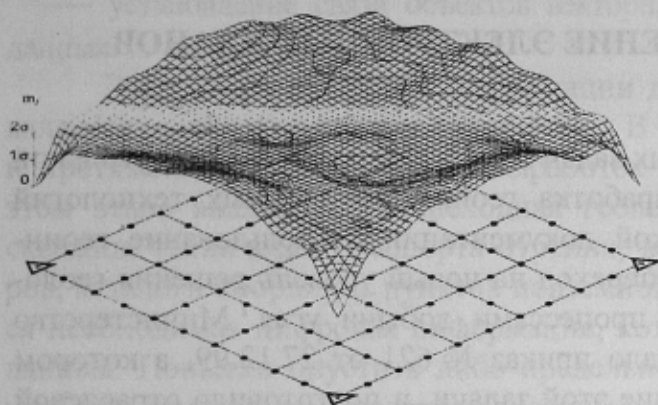


Рис. 2. Накопление ошибок координат в модели сети полигонов

квадрат, в углах которого расположены опорные точки. Методом статистического моделирования исследовано накопление ошибок в сети.

В локальные координаты каждой точки модели вводились случайные ошибки, распределенные по нормальному закону с математическим ожиданием, равным нулю, и стандартом σ . Модель сети, содержащая случайные ошибки, уравнивалась по программе ArealEqual и вычислялись оставшиеся истинные ошибки координат точек. По 50 подобным экспериментам найдены средние линейные ошибки m_i положения каждой точки, величины m_i изображены в виде поверхности в перспективной проекции (рис.2.). Точность m_i определения координат выражена в единицах σ . Некоторая несимметричность поверхности ошибок объясняется ограниченностью числа экспериментов (50), но характер накопления погрешностей отражен правильно. Видно, что наибольшие ошибки имеют граничные точки сети, где m_i достигают примерно 2σ , а внутри контура погрешности координат находятся на уровне σ .

Таким образом, если в пределах полигона выполнять измерения локальных координат с погрешностью $\pm 0,05\text{м}$, то в объединенной общей сети накопление погрешностей в большей части сети не превысит $\pm 0,1\text{м}$, при этом экономия на построении обоснования и упрощении выполнения полевых работ будут существенными.

Статистические свойства погрешностей локальных координат таковы, что метод наименьших квадратов (МНК) не всегда обеспечивает оптимальное уравнивание, поэтому в программе ArealEqual предусмотрена возможность решения системы (7) методом наименьших модулей Лапласа (МНМ). Накопление погрешностей в МНМ незначительно отличается от МНК, но он позволяет эффективно выявить и локализовать грубые ошибки в исходных данных.

Разработанная теория уравнивания и программное обеспечение позволяют использовать предлагаемые схемы пространственной привязки кадастровых съемок, повышая их точность и технико-экономические характеристики. Целью последую-

Исходными данными к программе для каждого полигона служат:

— локальные координаты точек, расположенных при обходе полигона по часовой стрелке;

— описание соседства: имя соседнего полигона, номера начальной и конечной точек общей границы;

— координаты опорных точек.

Для иллюстрации работы программы рассмотрим уравнивание модели сети, показанной на рис.2. Сеть состоит из 25 полигонов, образующих

щих исследований является разработка программных средств подготовки данных для уравнивания предлагаемых сетей на основе ГИС, создаваемых автоматизированных земельно-регистрационных систем, и выработка рекомендаций по оптимизации геометрических конструкций сетей пространственной привязки кадастровых съемок.

© Могильный С.Г., Павельчак Т.В., 2001

УДК 622.1:528:681.3.065

ГРИЩЕНКОВ Н.Н. (ДонГТУ)

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАНОВ ГОРНЫХ РАБОТ

В настоящее время одной из главных задач маркшейдерской службы угольной промышленности Украины является разработка геоинформационных технологий создания электронной горной графической документации. Использование геоинформационных технологий обеспечивает переход на новый уровень решения геолого-маркшейдерских задач и управления процессами добычи угля. Министерство угольной промышленности Украины издало приказ № 621 от 27.12.99, в котором намечен ряд мер, направленных на решение этой задачи, и подготовило отраслевой документ «Концепция развития ГИС и программа поэтапного внедрения ее на предприятиях и в организациях».

В Донецком государственном техническом университете разработки в области создания геоинформационных технологий и электронной горной графической документации ведутся с середины 90-х годов. Накопленный за это время опыт и полученные результаты позволили сформулировать ключевые моменты ГИС-технологии создания электронных планов горных работ.

Электронный план горных работ следует рассматривать как геоинформационную систему цифрового моделирования и графического отображения пластов, горных выработок, а также другой пространственно координированной горно-геологической и горнотехнической информации. В такой трактовке компьютерное графическое отображение горных работ становится одним из компонентов этой системы, но не ее конечным результатом. Другими основными компонентами системы являются базы геолого-маркшейдерских данных, связанные с объектами электронного плана, и программные средства, обеспечивающие решение различных маркшейдерских задач.

Имеющие место попытки отдельных разработчиков свести создание электронных планов только к созданию компьютерных графических копий пластов и горных выработок существенно сужают возможности создаваемых систем и имеют своей главной целью обеспечить эффективную замену офсетному способу размножения горной графической документации. Следование сиюминутным экономическим соображениям приводит к тому, что при этом часто полностью игнорируется создание баз данных для объектов электронного плана, а произвольно выбранная структура его слоев (тематических объектов) не позволяет в будущем создать такие базы данных без достаточно серьезной переделки. В долгосрочной перспективе подобная стратегия только увеличит затраты отрасли на создание полноценных геоинформационных систем и технологий.

Все это указывает на необходимость тщательной проработки структуры информационного обеспечения электронных планов, вне зависимости от функцио-