ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 528.088.24:622.83

© В. И. Волков, д-р техн. наук, профессор

© Н. В. Волков, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: egi@energaziz.ru, Volkov.nikita@yahoo.com

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-4-239-242

© V. I. Volkov, Dr. Sci. Tech., Professor

© N. V. Volkov, post graduate student

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: egi@energaziz.ru, Volkov.nikita@yahoo.com

О ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЫСОТНОЙ ОСНОВЫ ПРИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ И ПРОМЫШЛЕННОМ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ

ABOUT THE GEODYNAMIC ASPECTS OF USING THE STATE LEVELING NETWORK AT URBAN PLANNING AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF TERRITORIES

Ставится задача использования базы данных повторного нивелирования государственной нивелирной сети для учета влияния современных вертикальных движений земной коры на устойчивость нивелирных пунктов, являющихся исходными, при привязке к ним сетей повторного нивелирования техногенных геодинамических полигонов. Показано, что при наличии разработанного в статье математического аппарата по картам современных вертикальных движений земной коры можно установить скорость дестабилизации исходных нивелирных пунктов и придать им статус начала координат при изучении техногенных смещений земной поверхности, протекающих на фоне современных вертикальных движений земной коры. Разработанный математический аппарат позволяет в пределах территории геодинамического полигона устанавливать зоны техногенных опусканий (подъемов), а также оценивать устойчивость нивелирных пунктов при изучении деформационных процессов на строительных и промышленных площадках.

Ключевые слова: повторное нивелирование, государственная нивелирная сеть, карта современных движений земной коры, ковариационная функция, среднее значение скорости, корреляция, устойчивость нивелирных пунктов.

The article discusses the use of recurrent leveling database of the state leveling network for the account of the impact of the presently occurring vertical Earth's crust movements on the stability of the basic stationary points, to which the networks of the recurrent leveling technogenic geodynamic polygons are linked. It is shown that with the help of the mathematical apparatus technique developed by the authors for describing currently occurring vertical Earth's crust movements, it is possible to set the speed of the initial leveling points' destabilization and give them the reference point status in the study of man-made surface displacements occurring on the background of the current vertical crust movements. The developed mathematical apparatus technique allows determining the anthropogenic subsidence (ascent) areas within the territory of the geodynamic polygon, as well as assessing the stability of the leveling points at the study of deformation processes on construction and industrial sites.

Keywords: recurrent leveling, state leveling network geodynamic polygon, the map of the currently occurring vertical Earth's crust movements, covariance function, average speed value, correlation, stability of leveling points.

В перспективных пунктах строительства или расширения атомных станций на стадии инженерных изысканий [4] создаются, в рамках геодинамических полигонов (ГДП) [1, 3, 5], сети

повторных геодезических наблюдений как средство изучения современных движений земной коры на застраиваемой территории. Аналогично при освоении нефтегазовых месторождений

в границах горных отводов для наблюдений за современными геодинамическими процессами, протекающими на фоне техногенных сдвижений земной поверхности, организовываются в рамках техногенных полигонов [2, 3] геодезические наблюдательные системы, контролирующие протекание (развитие) геодинамических и геомеханических процессов при извлечении из недр углеводородов. При этом на стадии проектирования сетей повторных геодезических наблюдений для обоснования требований к инструментальной точности и периодичности повторных геодезических наблюдений, а также к параметрам геодезических сетей [6] необходимо располагать достоверными сведениями о скоростях современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) на территории создаваемых геодинамических и техногенных полигонов.

Надежность получения скоростей v СВДЗК на геодинамических полигонах зависит от точности их определения m_v , регламентируемой с позиций геодезии для конкретных геодинамических условий неравенством:

$$m_v = \frac{M_{\text{км}}}{\tau} \leq \frac{v_{\text{прогн}}}{2t_{\beta}}, \quad (1)$$

где $v_{\text{прогн}}$ и m_v — прогнозные значения и допустимая точность определения изучаемой на геодинамических полигонах скорости СВДЗК; $M_{\text{км}}$ — среднеквадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода [3]; τ — интервал времени между циклами повторного нивелирования линии длиной $[S]$ км; t_{β} — нормированный коэффициент ($t_{\beta} = 2$ при вероятности $\beta = 0,95$, применяемый в геодезии при производстве повторных геодезических наблюдений).

Территория Российской Федерации покрыта линиями государственного нивелирования I и II классов, образующими соответственно полигоны с периметром 1200–2000 км и 400–1000 км [6], по которым через 15–25 лет выполняется повторное нивелирование, что позволяет устанавливать скорости СВДЗК для государственной нивелирной сети.

Для установления региональной составляющей скоростей $v_{\text{прогн}}$ СВДЗК на район заложения геодинамических полигонов необходимо выполнить интерполирование имеющихся для государственной нивелирной сети значений скоростей с оценкой точности площадного интерполирования.

При интерполировании скоростей СВДЗК по площади S задается структура СВДЗК и точность их получения по результатам повторных геодезических наблюдений, а интерполяционные веса назначаются с учетом данных о статистической структуре скоростей и значений средних квадратических погрешностей их определения по материалам повторного нивелирования, которые должны быть минимальными по отношению к их значениям в случае назначения других весов P .

Допуская, что значения скоростей СВДЗК в рассматриваемых точках $i = 1, n$ с фиксированными координатами (x_i, y_i) имеют нулевые значения, можно утверждать, что установленные по результатам повторных инструментальных геодезических наблюдений скорости v'_i характеризуют лишь отклонения от истинных значений скоростей СВДЗК. Следовательно, среднее значение скоростей СВДЗК $v_{\text{ср}}$ для изучаемой территории можно установить исходя из следующего уравнения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{S} \iint_{(S)} v'(x, y) dx dy, \quad (2)$$

которое можно представить в линейном виде:

$$v_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n p_i v_i. \quad (3)$$

В уравнении (3) веса p_i назначаются с учетом ошибок нивелирования m_i и минимального значения средней квадратической ошибки замены значений скоростей $v_{\text{ср}}$, установленных по формуле (2), на значения, вычисленные по формуле (3), а именно

$$M = \left[\sum_{i=1}^n p_i (v'_i + m_i) - \frac{1}{S} \iint_{(S)} v'(x, y) dx dy \right]^2. \quad (4)$$

Черта сверху в формуле (4) указывает на вероятностное усреднение на некоторой ограниченной выборке.

Исходя из свойств случайных ошибок и факта применения структурной функции можно сделать следующий вывод: ошибки определения m_v в точках (x_i, y_i) не коррелированы как с истинными значениями скоростей СВДЗК, так и между собой:

$$m_v(x_i, y_i) m_v(x_j, y_j) = 0,$$

или же при $d_{i,j} = 0$:

$$m_v(x_i, y_i) m_v(x_j, y_j) = m_v^2(x_i, y_i), \text{ при } d_{ij} = 0, \quad (5)$$

где m_v^2 — среднеквадратическая ошибка определения скоростей СВДЗК; $d_{i,j}$ — расстояние между точками i и j .

Поскольку на картах СВДЗК представлены уравненные значения скоростей, то можно получить случайную ошибку определения скоростей методом повторного нивелирования.

Для ряда результатов определений структурная функция скоростей СВДЗК v может быть представлена в следующем виде:

$$F_v = (x_i, y_i; x_{i+1}, y_{i+1}) = \left[\left(v'_i - \frac{[v']}{n} \right) - \left(v'_{i+1} - \frac{[v']}{n} \right) \right]^2. \quad (6)$$

Структурная функция F_v зависит от суммы квадратов ошибок в точках. Это справедливо во всех точках, за исключением точек, расположенных на расстоянии $d = 0$, при котором $F_v = 0$:

$$F'_v(x_i, y_i; x_{i+1}, y_{i+1}) = F_v(x_i, y_i; x_{i+1}, y_{i+1}) + m_v^2(x_i, y_i) + m_v^2(x_{i+1}, y_{i+1}),$$

таким образом,

$$F'_v(x_i, y_i; x_{i+1}, y_{i+1}) = 0, \text{ при } d = 0. \quad (7)$$

Принимая во внимание свойство (6), экстраполируя F'_v на $d_{i,i+1} \approx 0$, получаем $2m_v^2$. Исходя из определения ковариационной функции и свойства (5), можно записать

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j t_v(x_i, y_i; x_j, y_j) + \sum_{i=1}^n p_i m_v^2(x_i, y_i) - 2 \sum_{i=1}^n p_i t_v(x_i, y_i; x_0, y_0) + D_v(x_0, y_0). \quad (8)$$

Принимая следующие обозначения:

$t_v(x_i, y_i; x_j, y_j) = t_{i,j}$ — ковариационная функция для точек i и j ; $m_v^2(x_i, y_i) = m_{v,i}^2$ — среднеквадратическая ошибка; $D_v(x_0, y_0) = E$ — дисперсия среднего значения скоростей СВДЗК по площади S , вычисляемая по формуле

$$E = \left[\frac{1}{P} \iint_{(S)} v'(x, y) dx dy \right]^2, \quad (9)$$

перепишем уравнение (8) в следующем виде:

$$M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j t_{i,j} + \sum_{i=1}^n p_i m_{v,i}^2 - 2 \sum_{i=1}^n p_i k_i + E. \quad (10)$$

В формуле (10) коэффициенты k_i представляются в виде взаимной ковариационной функции, характеризующей статистическую связь значений скоростей в отдельных точках с усредненным значением скоростей по площади, при этом веса p_i определяются при соблюдении условия

минимальных значений M , что достигается назначением производных от M по весам p_i равными нулю. В результате допущенных преобразований получим систему из n линейных уравнений.

Согласно изложенному выше можно принять, что дисперсия вычисляется по формуле

$$E = \frac{1}{S} \iint_{(S)} \iint_{(S)} t(x, y; x', y') dx dy dx' dy'. \quad (11)$$

Значения взаимной ковариационной функции определяются согласно выражению

$$k_i = \frac{1}{S} \iint_{(s)} t(x, y; x_i, y_i) dx dy. \quad (12)$$

Разделяя район размещения наблюдательных систем ГДП на прямоугольники и используя свойства однородности и изотропности ковариационной функции, в формулах (2) и (12) могут быть вычислены соответствующие значения искомых параметров. В случае определения величин v_{cp} , E и k_i для фигур сложной формы целесообразно пользоваться формулами, представляющими величины v_{cp} , E и k_i в виде линейных алгебраических уравнений (3), (9) и (10).

Используя значения величин k и t , можно показать наличие связи между вертикальными значениями v_{cp} с точечными значениями скоростей СВДЗК.

Так как отношение $r = \frac{k}{t}$ представляет собой коэффициент корреляции, устанавливающий наличие связи между значениями v_{cp} скорости СВДЗК в $i = 1, n$ точках, по коэффициентам r можно установить наличие локального поднятия (опускания) групп нивелирных пунктов, что позволяет успешно использовать рассмотренную методику обработки повторных геодезических наблюдений для выявления неустойчивых опорных геодезических пунктов наряду с широко известными способами [4] как на геодинимических полигонах, так и при проведении инженерно-геодезических работ по наблюдениям за микродеформациями строительных площадок прецизионных сооружений и деформациями инженерных сооружений.

Библиографический список

1. НП 032-01. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. Утв. Госатомнадзором России от 08.11.2001 № 10. М., 2001. 114 с.

2. РД 06-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ (введ. 29.06.2003). М.: ГУП «НТЦ “Промышленная безопасность”», 2003. 120 с.

3. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России (введ. 01.02.2004). М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2004. 244 с.

4. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. М.: ПНИИИС, 1997. 91 с.

5. Волков В. И., Волкова Т. Н. О геодинамических аспектах современной градостроительной практики // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 3 (42). С. 127–132.

6. Волков Н. В. О размещении и выборе конструкций и глубины заложения нивелирных пунктов на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 3. С. 27–38.

References

1. NP 032-01. *Razmeshchenie atomnykh stantsiy. Osnovnye kriterii i trebovaniya po obespecheniyu bezopasnosti* [NP 032-01. Location of nuclear power plants. Main criteria and requirements for safety provision]. Gosatomnadzor of Russia, Order from 08.11.2001, no. 10. Moscow, 2001, 114 p.

2. RD 06-603-03. *Instruktsiya po proizvodstvu marksheyerskikh rabot (vved. 29.06.2003)* [RD 06-603-03. Instruction for performing the mine surveying works (introduced 29.06.2003)]. Moscow, GUP NTTs “Industrial Safety” Publ., 2003, 120 p.

3. GKINP (GNTA)-03-010-02. *Instruktsiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov* [GKINP (GNTA)-03-010-02. Instruction for I, II, III and IV class leveling]. The Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography (introduced 01.02.2004). Moscow, Kartgeocentre-Geodezizdat Publ., 2004, 244 p.

4. SP 11-104-97. *Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitelstva* [SP 11-104-97. Engineering and geodetic surveying for construction]. Moscow, PNIIS Publ., 1997, 91 p.

5. Volkov V. I., Volkova T. N. *O geodinamicheskikh aspektakh sovremennoy gradostroitel'noy praktiki* [About geodynamic aspects of the current urban planning practice]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, 3 (42), pp. 12–15.

6. Volkov N. V. *O razmeshchenii i vybore konstruktsey i glubiny zalozheniya nivelirnykh punktov na geodinamicheskikh poligonakh neftegazovykh mestorozhdeniy* [About the placement and selection of design and depths of leveling points' laying on geodynamic grounds of oil and gas fields]. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aehrofotos'emka – News of higher education institutions. Geodesy and aerial photography*, 2017, no. 3, pp. 27–38.