

**В.В. Голубенко,
Е.В. Голубенко**

К СТАНДАРТИЗАЦИИ СИМВОЛОВ, ЗНАКОВ И ОБОЗНАЧЕНИЙ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

В статье рассмотрено совершенное состояние символики в геодезической научно-технической и учебной литературе. Отмечается, что символы и обозначения физических величин не отвечают рекомендациям международных организаций по стандартизации. Так, одни и те же величины могут быть обозначены различными символами, из разных алфавитов, существуют различные их трактования, что приводит к алогичности понимания текстов. Даны рекомендации по улучшению состояния символики в геодезической литературе.

Ключевые слова: стандарт, символ, знак, обозначения, формула, буква, индекс.

**H.M.Lytvyn,
V.V.Holubenko,
K.V.Holubenko**

STANDARDISATION OF THE SYMBOLS, SIGNS AND DESIGNATION IN SPECIAL LITERATURE

The article considers the current state of symbolism in geodetic science, technology and educational literature. The importance of its standardization was stressed. It was found that the symbols and designations of physical quantities in geodetic literature do not meet recommendations of international standardization organizations.

Common accepted symbols and conventions is incorrectly used. Different value is named by same letters. The same values is named by different symbols. Large and small letters of different alphabets used haphazardly. This leads to difficulties of understanding the text, especially from different sources.

The article analyzes the official documents and scientific and technical literature in Ukrainian geodesic. According to the different characteristics the ill-defined was systematized and grouped, and was given their examples. The main directions and trends, which is necessary to move to rectify the situation, were identified.

The article provides some guidelines to eliminate differences in the symbolism of the geodesic literature.

Keywords: standard, symbol, sign, designation, formula, the letter, index.

Надійшла до редакції

05.11.2013.

О.В.Мельник, канд.техн.наук, доцент кафедри геодезії,
землевпорядкування і кадастру, Східноєвропейський
національний університет імені Лесі Українки

АНАЛІЗ СТАБІЛЬНОСТІ ПЛАНОВИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ ПІД ЧАС СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Щоб мати можливість визначити стабільність геодезичної мережі, потрібно дослідити ступінь деформації, якої вона зазнає. Одним з найпростіших способів опису ступеня деформації є визначення індивідуальних зсувів кожної з точок, з яких складається мережа. Аналіз концепції деформації в геометрії мережі схожий на аналіз деформації у твердому тілі, яка визначається як відношення, або пропорція, зміни (градієнта) зсуву об'єкта щодо свого положення. В основу пропонованої методики дослідження деформації геометрії геодезичної мережі покладено аналіз деформацій у твердому тілі, що визначається через розширення, поворот і нахил. Запропонований у статті підхід дав змогу отримати досить репрезентативні результати, які добре корелюють із результатами класичних GPS-спостережень.

Ключові слова: планові геодезичні мережі, стабільність мережі, вектори зсувів, стійкість до масштабу, диференціальне обертання, скалярна деформація.

Вступ. Грунтові греблі за рівнем складності деформаційних процесів в них та ступенем аварійності мають у декілька разів вищий порядок, ніж будь-яка гідротехнічна споруда іншого типу. Для надійної оцінки просторово-часового стану таких об'єктів потрібно виконувати комплексні режимні геодезичні спостереження. На основі таких даних оцінюють різноманітні параметри і явища, що спричиняють процеси деформацій, зокрема аварійні. Проте, окрім комплексних спостережень, важливими є питання швидкої оцінки загального стану мережі, особливо якщо це мережа спеціального призначення. В статті розглянуто питання оперативного визначення ступеня стабільності планової геодезичної мережі, призначеної для спостережень за деформаційними процесами ґрунтової греблі водосховища ХАЕС.

Аналіз публікацій. Питання оцінки стабільності геодезичних мереж не раз порушені в літературі [1-4], і ґрунтуються переважно на контролі за окремими вихідними пунктами. Проте проблеми одержання оперативної інформації про стан мереж спеціального призначення, які застосовують для контролю за гідротехнічними об'єктами, особливо в періоди зміни гідрологічного стану, мало досліджені.

Постановка проблеми. Щоб мати можливість визначити ступінь стабільності геодезичної мережі, потрібно дослідити ступінь деформації, якої вона зазнає. Одним з найпростіших способів опису ступеня деформації є визначення індивідуальних зсувів кожної із точок, з яких складається мережа. Відомо, що вирівнювання геодезичних мереж можна описати за допомогою виразу [5]:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}^{(0)} + \delta \mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} [\mathbf{l} - \mathbf{F}(\mathbf{X}^{(0)})], \quad (1)$$

де $\mathbf{X}$ – вектор шуканих невідомих; $\mathbf{X}^{(0)}$ – вектор початкових значень кожного з параметрів, що потрібно визначити; $\delta \mathbf{X}$ – вектор поправок наближених значень; $\mathbf{A}$ –

матриця коефіцієнтів параметричних рівнянь поправок; P – вагова матриця; $[(I - F(X^{(0)}))]$ – вектор-стовпець вільних членів рівнянь поправок.

Різниця у визначенні параметрів, якщо не брати до уваги мінімально виявлені помилки, може бути записана як

$$\delta = \mathcal{X} - \mathcal{X}^{(K)}. \quad (2)$$

Звідси отримуємо значення $\mathcal{X}^{(K)}$, яке може бути виражене як функція мінімально визначених помилок $\delta_{\min}^{(k)}$ (внутрішня надійність). Зважаючи на рівняння (1), маємо

$$\begin{aligned} \mathcal{X}^{(k)} &= N^{-1} A^T P (L - \delta_{\min}^k); \\ \mathcal{X}^{(k)} &= N^{-1} A^T P L - N^{-1} A^T P \delta_{\min}^k; \\ \mathcal{X}^{(k)} &= \mathcal{X} - N^{-1} A^T P \delta_{\min}^k. \end{aligned} \quad (3)$$

Підставляючи рівняння (3) в формулу (2), отримаємо визначення зовнішньої надійності для вимірів за допомогою супутникової GNSS-технології [6;7]:

$$\begin{aligned} \delta &= \mathcal{X} - \mathcal{X}^{(k)}; \\ \delta &= \mathcal{X} - \mathcal{X}^{(k)} = N^{-1} A^T P \delta_{\min}^k. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналіз концепції деформації в геометрії мережі схожий на аналіз деформації у твердому тілі, яку визначають як відношення, або пропорцію, зміни (градієнта) зсуву об'єкта щодо свого положення.

Основна частина. Припустимо, що точка мережі P_i має горизонтальний зсув, виражений в термінах внутрішньої надійності через вектор ΔX_i :

$$\Delta X_i = \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що стійкість розглядається тільки в горизонтальній системі, тим самим для GNSS-вимірів потрібно трансформувати вектор зсувів (4) із просторової в горизонтальну систему, використовуючи матрицю повороту, що задається як

$$R = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix}. \quad (6)$$

де φ, λ – геодезичні координати, визначені на досліджуваній ділянці. Ця матриця переводить вплив мінімально визначених помилок для вимірів GNSS із просторової в локальну систему. Таким чином, шуканий вектор зсувів являє собою

$$\begin{aligned} R\delta &= R[\mathcal{X} - \mathcal{X}^{(k)}]; \\ R\delta &= R[N^{-1} A^T P H_K \delta_{\min}^k]. \end{aligned} \quad (7).$$

Вводячи визначення матриці зсувів E як тензора градієнта стосовно його початкового положення, можна визначити матрицю, що складається з чотирьох лінійних зсувів [8;9]:

$$E_i = \text{grad}(\Delta X_i) = \begin{bmatrix} \partial u_i / \partial x & \partial u_i / \partial y \\ \partial v_i / \partial x & \partial v_i / \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{ux} & e_{uy} \\ e_{vx} & e_{vy} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де ΔX_i – вектор зсувів точки P_i ; E_i – матриця деформацій у точці P_i .

У точці P_i виконується визначення чотирьох похідних. Матриця деформацій E_i може бути представлена у вигляді симетричної S і антисиметричної A частин. Від симетричної частини залежить розширення і стиск мережі, а також зсув, тоді як антисиметрична частина описує поворот точки ω , яка і цікавить нас :

$$E_i = S + A, \quad (9)$$

де

$$S = \begin{bmatrix} \partial u_i / \partial x & \frac{1}{2}(\partial u_i / \partial y + \partial v_i / \partial x) \\ \frac{1}{2}(\partial u_i / \partial y + \partial v_i / \partial x) & \partial v_i / \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}(\partial u_i / \partial y - \partial v_i / \partial x) \\ \frac{1}{2}(\partial v_i / \partial x - \partial u_i / \partial y) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -w \\ w & 0 \end{bmatrix}.$$

Градiєнт локального зсуву оцінюють незалежно для кожної координати. Для аналізу стійкості треба переконатися, що для кожної з аналізованих точок P_i є принаймні дві сусідні точки P_j , інакше аналіз не можна вважати повним (закінченим).

Матриці деформацій (8) можна визначати в різний спосіб незалежно для кожної точки. Для цього придатний метод прямого знаходження частинних похідних зсувів, отриманих з вектора (5).

Отримана система рівнянь може бути розв'язана за методом найменших квадратів. Розв'язуючи систему для невідомих частинних похідних і для незалежних параметрів і беручи до уваги, що параметри u , v мають однакову вагу, можна записати цю систему рівнянь у матричному вигляді, а саме для кожної точки (P_i) мережі:

$$K_i = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = [(K_i^T K_i)^{-1} K_i^T] u_i = Q_i u_i; \quad (10)$$

$$K_i = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = [(K_i^T K_i)^{-1} K_i^T] v_i = Q_i v_i;$$

де $Q_i = (K_i^T K_i)^{-1} K_i^T$; K_i – матриця розмірністю $n \times 3$, що має вигляд $[1 \times y]$.

Після одержання значень $[a_0 \ a_1 \ a_2]^T$ і значень $[b_0 \ b_1 \ b_2]^T$ перепозначимо змінні як

$$e_{ux} = a_1; \ e_{uy} = a_2;$$

$$e_{vx} = b_1; \ e_{vy} = b_2. \quad (11)$$

Отримаємо три параметри від яких залежить стійкість мережі, визначені через розширення, поворот і нахил:

- розширення σ – елемент, що описує середнє розширення точки мережі, відомий також як стійкість до масштабу, і визначається як

$$\sigma = \frac{e_{ux} + e_{vy}}{2}; \quad (12)$$

- диференціальне обертання ω_z – це елемент, відомий як середнє значення диференціального обертання. Описує обертання через локальну вертикальну вісь точки. Відомий також як показник стійкості до повороту і задається як

$$\omega_z = \frac{e_{uy} - e_{vx}}{2}; \quad (13)$$

- локальна конфігурація (повний зсув) γ_{xy} описує скалярну деформацію (стійкість до конфігурації) і визначається за такою формулою:

$$\gamma_{xy} = \sqrt{\tau_{xy}^2 + v_{xy}^2}, \quad (14)$$

де

$$\tau_{xy} = -\tau_{yx} = \frac{1}{2}(e_{ux} - e_{vy});$$

$$v_{xy} = -v_{yx} = \frac{1}{2}(e_{uy} + e_{vx}).$$

Значення трьох параметрів, обчислені за формулами (12-14), що характеризують стійкість мережі (рисунок), наведено в таблиці.

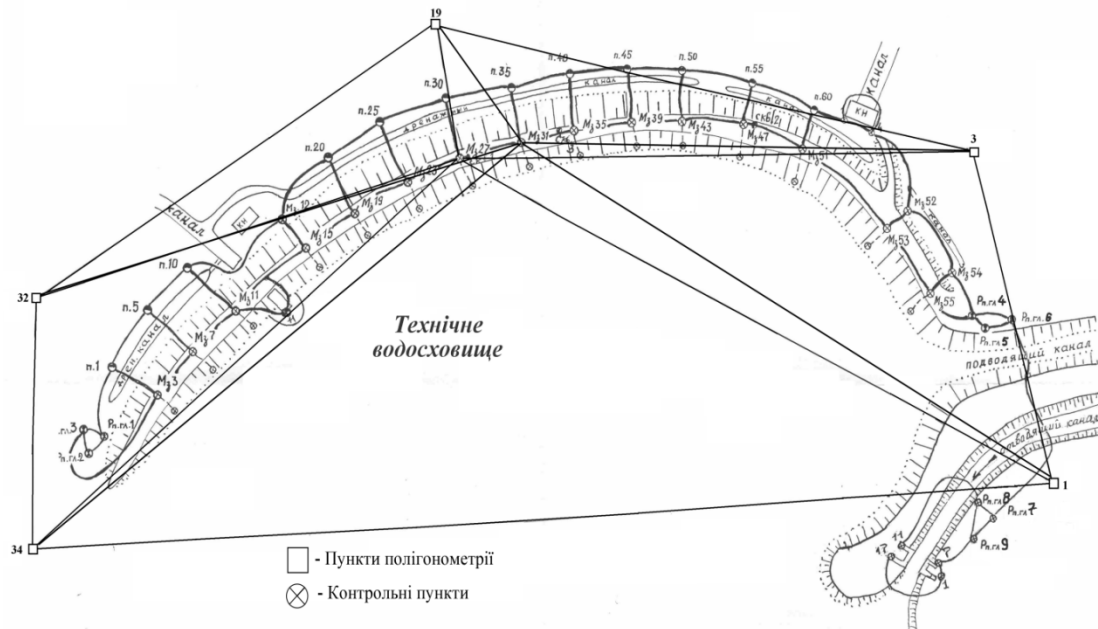


Рисунок. Загальна схема планово-висотної мережі греблі водосховища Хмельницької АЕС

Таблиця

Результати обчислення стабільності планової мережі греблі водосховища ХАЕС

Пункт	Стійкість до масштабу, мм	Стійкість до повороту, мм	Стійкість до конфігурації, мм
ПП1	1.32	1.44	1.96
ПП3	1.28	1.39	1.89
ПП19	1.25	1.24	1.87
ПП32	1.24	1.21	1.86
ПП34	1.27	1.27	1.89
Мз27	1.41	1.39	2.02
Мз31	1.46	1.45	2.13
Середнє	1,29	1,16	1,90

значення			
----------	--	--	--

Варто зауважити, що найбільше значення кожного з параметрів є відповідним найменшій стійкості мережі в певній точці, тому у випадку стійкої мережі слід домогтися відносно невеликих значень за цими трьома показниками.

Висновки. За допомогою запропонованого статті альтернативного підходу до вивчення й аналізу надійності та стійкості планових геодезичних мереж отримано достатньо репрезентативні результати, які добре корелюють із результатами класичних GPS-спостережень, що свідчить про доцільність їх використання та дає змогу отримувати оперативну інформацію про досліджувані деформаційні процеси. Вивчення такого підходу є метою подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *GarcíaLópezRamón*. Solución del Campode Gravedad Empleando Datos Combinados de las misiones GRACE y CHAMP usando el principio de Conservación de la energía / García López Ramón, Moraila Valenzuela Carlos, López Moreno Manuel, Vázquez Becerra Esteban, Balderrama Corral Rigoberto, Plata Rocha Wenseslao y Trejo Soto Manuel // Reunion Annual de la Union Geofisica Mexicana. - №6. - p.36-37.
2. *Чан Хань*. Анализ стабильности пунктов опорной сети при наблюдении за горизонтальными смещениями гидротехнических сооружений во Вьетнаме / Чан Хань, Нгуен Вьет Ха // Известия ВУЗов. - Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2008. - №5. - С. 33-38.
3. *Nilforoushani F*. GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran / Nilforoushani F., Masson F., Vemant P., Vigny C, Abbassis M., Nankali H., Hatzfeld D., Bayer R., Chery J., Doerflinger E. // Springer Berlin. Heidelberg. Journal of Geodesy, 2003, 77: 411-422 p.
4. *Гуляев Ю. П.* Классификация и взаимосвязь математических моделей для прогнозирования процессов деформации сооружений по геодезическим данным / Ю.П. Гуляев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. - 1985. - № 1. - С. 39-44.
5. *Маркузе Ю.И.* Обобщенный рекуррентный алгоритм уравнивания свободных и несвободных геодезических сетей с локализацией грубых ошибок / Ю.И. Маркузе // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2000. - №1. - С. 3—16.
6. *Snow Kyle Brian*. Applications of Parameter Estimation and Hypothesis Testing GPS Network Adjustments/ Kyle Brian Snow // Report No. 465. The Ohio State University (2002). - Geodetic and Geoinformation Science.
7. *Even-Tzur G*. GPS vector configuration design for monitoring deformation network/G. Even-Tzur // Springer Berlin Heidelberg. Journal of Geodesy (2002) 76 455-461.
8. *Vanicek P*. Robustness analysis of geodetic horizontal networks. / P. Vanicek, M.R. Craymer, E.J. Krakiwsky // Springer Berlin / Heidelberg. - Journal of Geodesy (2001) 75: 199-209.
9. *Hsu R*. Decomposition of deformation primitives of horizontal geodetic networks: Applications to Taiwan's GPS network. / R.Hsu, S.Li // Springer Berlin Heidelberg. Journal of Geodesy (2004) 78: 251-262.

REFERENCES

1. García López Ramón, & Moraila Valenzuela Carlos, & López Moreno Manuel, & Vázquez Becerra Esteban, & Balderrama Corral Rigoberto, & Plata Rocha Wenseslao, & Trejo Soto Manuel. (2006). *Solución del Campo de Gravedad Empleando Datos Combinados de las misiones GRACE y CHAMP usando el principio de Conservación de la energía. Reunion Annual de la Union Geofisica Mexicana*, 6, 36-37
2. Chan Khan', & Nhuen V'et Kha (2008). Analyz stablynosty punktov opornoy sety pry nablyudenyy za horyzontal'nymy smeshchenyyamy hydrotekhnicheskyykh sooruzhenyy vo V'etname [Stability analysis of points core network when observing horizontal displacements of hydraulic structures in Vietnam] *Yzvestyya VUZov, Heodezyya y aerofotos'emka* - Proceedings of the universities. Geodesy and aerial photography. 5. 33-38.
3. Nilforoushani F., & Masson F., & Vemant P., & Vigny C, & Abbassis M., & Nankali H., & Hatzfeld D., & Bayer R., & Chery J., & Doerflinger E. (2003). GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. *Journal of Geodesy* 77. 411-422.
4. Hulyaev Yu. P. (1985). Klassyfykatsyya y vzaymosvyaz' matematycheskyykh modeley dlya prohnozyrovanyya protsessov deformatsyy sooruzhenyy po heodezycheskym dannym [Classification and relationship of mathematical models for predicting the deformation processes on geodetic data structures]. *Yzvestyya VUZov, Heodezyya y aerofotos'emka*. Proceedings of the universities. Geodesy and aerial photography. 1. 39-44.
5. Marcuse Y. I.
Obobshchennyye rekurrentnyy alhorytmuravnyvaniyasvobodnykh y nesvobodnykh heodezycheskyykh setey s lokalizatsiyey hrubykh shybok
[Generalized recursive algorithm for equalization of free and non-free geodetic networks with localization blunders] *Yzvestyya VUZov, Heodezyya y aerofotos'emka*. Proceedings of the universities. Geodesy and aerial photography. 1. 3-16.
6. Kyle Brian Snow. (2002) Applications of Parameter Estimation and Hypothesis Testing GPS Network Adjustments. The Ohio State University. *Geodetic and Geoinformation Science*. Report No. 465
7. G. Even-Tzur. (2002). GPS vector configuration design for monitoring deformation network. *Journal of Geodesy*. 76. 455-461.
8. P. Vanicek, & M. R. Craymer, & E. J. Krakiwsky. (2001). Robustness analysis of geodetic horizontal networks. *Journal of Geodesy*. 75. 199-209.
9. R. Hsu, & S. Li. (2004) Decomposition of deformation primitives of horizontal geodetic networks: Applications to Taiwan's GPS network. *Journal of Geodesy*. 78. 251-262.

А.В. Мельник

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПЛАНОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Чтобы иметь возможность определить стабильность геодезической сети, необходимо исследовать степень деформации, которой она подвергается. Одним из самых простых способов описания степени деформации является определение индивидуальных смещений каждой из точек, из которых состоит сеть. Анализ концепции деформации в геометрии сети похож на анализ деформации в твердом теле, которая определяется как отношение, или пропорция, изменения (градиента) смещения объекта относительно своего положения. В основу предлагаемой методики исследования