

УДК 528.33

ВАРІАНТ ОПЕРАТИВНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМ СТАНОМ ГРЕБЛІ ХАЕС

В. Мельник, О. Мельник

Волинський національний університет імені Лесі Українки

Постановка проблеми

Ґрунтові греблі за рівнем складності розвитку в них деформаційних процесів та ступенем аварійності мають у декілька разів вищий порядок, ніж будь-яка гідротехнічна споруда іншого типу [1]. Для надійної оцінки просторово-часового стану таких гребель необхідно виконувати комплексні режимні спостереження. Спостереження можуть бути геодезичні, геологічні, гідрогеологічні, геофізичні та інші. На основі таких даних оцінюються різні параметри і явища, що спричиняють процеси деформацій, зокрема і аварійних. Для цього розробляються математичні моделі оцінки і прогнозування вертикальних і горизонтальних зміщень.

У статті розглядається питання оперативної обробки GPS-спостережень і контролю деформаційних процесів, які спостерігаються для умов греблі ХАЕС.

Зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Згідно з договором з дирекцією ХАЕС виконували протягом 1988–2003 рр. режимні геодезичні роботи з аналізу експлуатаційного стану ґрунтової греблі ХАЕС ($L_{гр}=7200$ м, $h_{гр}=20\dots25$ м, намивно-насіпна, піщана).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Під час моделювання деформацій гідротехнічних споруд одними з перших були імовірнісно-статистичні [1], кореляційно регресійні методи [2], методи випадкових функцій [1], аналіз деформацій та їхній зв'язок із конкретними явищами (набухання ґрунту, суфозія тощо [3]). Виділяються статистичні моделі, які виражають залежність деформацій від фізико-механічних властивостей ґрунтів, гідрогеологічних, геологічних та інших факторів у поєднанні з конструктивними та будівельно-експлуатаційними напрямками.

Враховуючи широкий спектр інженерно-геологічних умов будівництва та різноманітною складністю ґрунтових гребель, застосування того чи іншого методу має свої переваги та недоліки залежно від того, які параметри моделі є визначальними і яка проблема моделювання залишається актуальною.

Наша мета – розробка оперативного геодезичного методу, який ґрунтується на сучасній технології GPS-спостережень. За останні роки зросла кількість публікацій, присвячених цим питанням, що свідчить про їхню актуальність.

Невирішені частини загальної проблеми

Для надійного прогнозування стану ґрунтових гребель значної протяжності особливого значення набуває комплексне вивчення напруженого стану таких споруд.

Виклад основного матеріалу

Загальні положення. У статті розглядається один з можливих методів виконання геодезичного моніторингу ґрунтових гребель значної протяжності, який ґрунтується на використанні технології GPS-спостережень. Метод передбачає пріоритетні спостереження за центральною закладною маркою (Мз27) та оцінку деформацій на основі аналізу матриць тривимірних перетворень координат.

I. Основою пропонованого розв'язку є мінімізація відстаней від оптимальної точки P (Мз27) до відповідних сторін прямих засічок (рис. 1). Як вихідну, застосуємо умову колінеарності двох прямих, вимірених у двох серіях, тобто умову просторового збігу:

$$\{\vec{P}\} \times \{\vec{p}\} = \{\vec{V}\} \quad (1)$$

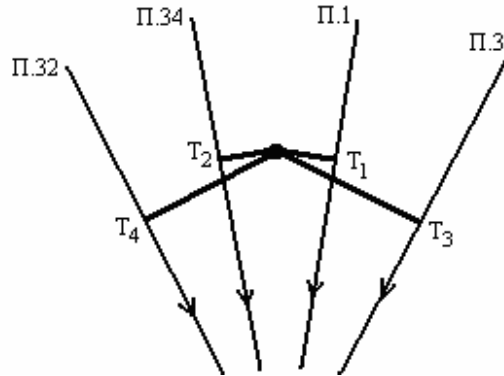


Рис. 1. До умови мінімізації (4)

Дамо геометричну інтерпретацію умови мінімізації. Очевидно, квадрат модуля нев'язки (1) дорівнює

$$|\{\vec{V}\}_i|^2 = |\{\vec{P}\}_i \times \{\vec{p}\}_i|^2. \quad (2)$$

З іншого боку, квадрат відстаней між двома перехресними прямими є

$$d^2 = \frac{|\{\vec{P}\} \times \{\vec{p}\}|^2}{|\{\vec{p}\}|^2}. \quad (3)$$

Враховуючи (2) і (3), остаточно умову мінімізації запишемо

$$|V_i|^2 = d_i^2 |\{p\}_i|^2. \quad (4)$$

Умову колінеарності (1) запишемо в такому компонентному вигляді:

$$\begin{pmatrix} 0 & z & -y \\ -z & 0 & x \\ y & -x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}, \quad (5)$$

Або в матричному записі для n точок:

$$\mathbf{A}\vec{R} - \mathbf{A}\vec{R}_0 = \vec{V} \quad (6)$$

Позначимо: $R = \vec{R} + dR$ і $\Delta R_i = R - R_{i0}$. Після очевидних перетворень маємо

$$[\mathbf{A}^T \mathbf{A}] d\vec{R} + [\mathbf{A}^T \mathbf{A} \Delta \vec{R}] = 0, \quad (7)$$

де

$$[\mathbf{A}^T \mathbf{A}] = \begin{pmatrix} [y^2 + z^2] & -[xy] & -[zx] \\ -[xy] & [x^2 + z^2] & -[yz] \\ -[xz] & -[yz] & [x^2 + z^2] \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$[\mathbf{A}^T \mathbf{A} \Delta \vec{R}] = \begin{pmatrix} [(y^2 + z^2)\Delta X] - [(y\Delta Y + z\Delta Z)x] \\ [(x^2 + z^2)\Delta Y] - [(x\Delta X + z\Delta Z)y] \\ [(x^2 + y^2)\Delta Z] - [(x\Delta X + y\Delta Y)z] \end{pmatrix} \quad (9)$$

Тест-приклад. Нехай наближені значення і вихідні дані такі (табл. 1, 2):

$$\bar{X} = 355.80, \bar{Y} = -394.20, \bar{Z} = 30.70.$$

Таблиця 1

	X_0	Y_0	Z_0	ΔX	ΔY	ΔZ
1	907.60	-143.25	1322.35	-551.80	-250.95	-1291.65
2	-534.60	-734.42	1333.41	890.22	340.22	-1302.71
3	-573.69	68.03	1331.18	929.49	-462.23	-1300.48
4	922.54	-890.82	1329.46	-566.46	496.62	-1298.78

Таблиця 2

	x	y	z
1	-65.402	-29.727	-153.093
2	105.714	40.467	-154.574
3	110.293	-54.797	-154.239
4	-76.295	59.004	-154.216

Згідно з (7–9) запишемо

$$\begin{pmatrix} 0 & -153.093 & 29.727 \\ 153.093 & 0 & -65.402 \\ -29.727 & 65.402 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -21.809 \\ -0.224 \\ -9.273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -21.161 \\ -5.814 \\ 10.164 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154.574 & -40.467 \\ 154.574 & 0 & 105.714 \\ 40.467 & -105.714 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 127.599 \\ -81.995 \\ 65.800 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 51.792 \\ -8.635 \\ 33.160 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154.239 & 54.797 \\ 154.239 & 0 & -110.293 \\ -54.797 & -110.293 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 31.940 \\ -70.233 \\ 47.470 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x3} \\ V_{y3} \\ V_{z3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.371 \\ -5.180 \\ -2.106 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154.216 & 50.004 \\ 154.216 & 0 & -67.295 \\ -54.004 & 67.295 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 45.285 \\ -0.322 \\ -19.884 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x4} \\ V_{y4} \\ V_{z4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -38.961 \\ -6.603 \\ 14.456 \end{pmatrix}$$

$$dX = 0.16, X = \bar{X} + dX = 355.96, M_x = 0.08$$

$$dY = 0.37, Y = \bar{Y} + dY = -393.96, M_y = 0.07$$

$$dZ = 0.46, Z = \bar{Z} + dZ = 31.16, M_z = 0.13$$

Таблиця 3

	$ V = \sqrt{(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)}$	$ p = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$	$d = V / P $
1	21.68	169.11	0.13 м
2	62.10	191.59	0.32 м
3	5.60	197.38	0.03 м
4	42.04	178.30	0.24 м

Тестовий приклад підтверджує коректність такого підходу.

II. Із впровадженням в практику геодезичного моніторингу відповідальних інженерних споруд вважаємо раціональною і оперативною таку методику оброблення супутникової інформації GPS-спостережень.

Припустимо, що вплив деформаційних факторів можна враховувати трьома узагальненими малими кутівими параметрами. Ці параметри разом з параметрами GPS-спостережень (часова синхронізація, поправки за тропосферну та іоносферну затримки тощо) можна додавати до числа невідомих під час оброблення за способом найменших квадратів.

Перехід від “миттєвої” системи координат серії i до вихідної системи на епоху початкової серії можна виконати з використанням співвідношення:

$$\vec{D}_{1j}^1 = \mathbf{R}\vec{D}_{1j}^i, \quad (10)$$

де

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{R}^T = -\mathbf{R} \text{ і } \mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}. \quad (11)$$

Тут $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ – малі кути повороту навколо відповідних осей, які спричинені залишковим (тобто після врахування поправок GPS-вимірів) впливом деформуючих факторів.

За аналогією з матричним записом (5) подамо співвідношення (10) з урахуванням (11) у вигляді:

$$\mathbf{A} \cdot \vec{\varepsilon} + \vec{D}_{1j}^i - \vec{D}_{1j}^1 = \vec{\Delta}, \quad (12)$$

де

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \Delta Y & 0 & -\Delta Z \\ -\Delta X & \Delta Z & 0 \\ 0 & -\Delta Y & \Delta X \end{pmatrix}; \quad \vec{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_Z \\ \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \end{pmatrix}.$$

Матриця \mathbf{N} коефіцієнтів нормальних рівнянь має вигляд:

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} = \begin{pmatrix} [\Delta X^2] + [\Delta Y^2] & -[\Delta X \Delta Z] & -[\Delta Y \Delta Z] \\ -[\Delta X \Delta Z] & [\Delta Y^2] + [\Delta Z^2] & -[\Delta X \Delta Y] \\ -[\Delta Y \Delta Z] & -[\Delta X \Delta Y] & [\Delta X^2] + [\Delta Z^2] \end{pmatrix}, \quad (13)$$

де квадратні дужки означають додавання, а вихідні значення координат векторів баз прийняті рівноточними.

Припустимо, що вектор $\vec{\Delta}$ обумовлений помилками визначення векторів баз i кутівими взаємними переміщеннями станцій спостережень. Щоб визначити необхідні для аналізу стану греблі швидкості деформацій, досить розділити компоненти векторів $\vec{\Delta}$ на тривалість часового інтервалу між епохами спостережень.

Подальші викладення можуть бути загальноприйнятні: визначення за МНК вектора $\vec{\varepsilon}$ і аналіз діагональних елементів Q_{ii} . Але в контексті поставленої задачі вважаємо за доцільний спрощений варіант, зокрема пропонується здійснювати оцінку ваг компонент вектора $\vec{\varepsilon}$ за явними формулами:

$$P_{\varepsilon_Z} = \frac{\Delta}{\Delta_{11}}; \quad P_{\varepsilon_X} = \frac{\Delta}{\Delta_{22}}; \quad P_{\varepsilon_Y} = \frac{\Delta}{\Delta_{33}}, \quad (14)$$

де

$$\Delta = ([\Delta X^2] + [\Delta Y^2]) ([\Delta Z^2]^2 - [\Delta Y \Delta X]^2) + ([\Delta X^2] + [\Delta Z^2]) ([\Delta Y^2]^2 - [\Delta X \Delta Z]^2) + ([\Delta Y^2] + [\Delta Z^2]) ([\Delta X^2]^2 - [\Delta Y \Delta Z]^2) + 2([\Delta X^2] [\Delta Y^2] [\Delta Z^2] - [\Delta X \Delta Y] [\Delta X \Delta Z] [\Delta Y \Delta Z]); \quad (15)$$

$$\begin{aligned}\Delta_{11} &= \left([\Delta Y^2] + [\Delta Z^2] \right) \left([\Delta X^2] + [\Delta Z^2] \right) - [\Delta X \Delta Y]^2; \\ \Delta_{22} &= \left([\Delta X^2] + [\Delta Y^2] \right) \left([\Delta X^2] + [\Delta Z^2] \right) - [\Delta Y \Delta Z]^2; \\ \Delta_{33} &= \left([\Delta X^2] + [\Delta Y^2] \right) \left([\Delta Y^2] + [\Delta Z^2] \right) - [\Delta X \Delta Z]^2.\end{aligned}$$

Розглянемо три конкретних випадки.

Нехай мережа GPS об'єднує три ортогональні бази рівної довжини D , що паралельні осям X, Y, Z системи координат. Можна показати, що в цьому разі всі три величини $\vec{\varepsilon}$ є незалежними і рівноточними з середньою квадратичною помилкою

$$m_{\varepsilon}'' = \frac{m_k}{D_k} \cdot \rho'', \quad (16)$$

де m_k – середньоквадратична помилка визначення координат вектора бази.

У разі двох ортогональних баз довжини D , паралельних двом з осей системи координат, величини $\vec{\varepsilon}$ також є незалежними, але нерівноточними.

Якщо спостереження ведуться лише на одній базі, то $\Delta \equiv 0$ незалежно від довжини та орієнтування бази. Можна показати, що в такому разі визначаються лише два з трьох елементів вектора $\vec{\varepsilon}$. Наприклад, якщо $\Delta Z > \Delta X$ і $\Delta Z > \Delta Y$, то коректно визначаються тільки кути ε_X і ε_Y , а кут ε_Z не визначається.

Значення елементів $\vec{\varepsilon}$, отримані після оброблення за способом найменших квадратів і підставлені в (3), дають змогу навести результати визначення векторів баз до епохи першої серії спостережень. Усередненням результатів за всі минулі серії можна безперервно уточнювати координати баз. На деякому етапі точність перестає помітно підвищуватися, і вектори \vec{D} доцільно фіксувати, задавши тим самим опорну систему координат, відповідну епосі початкової серії спостережень.

III. Необхідні для аналізу стану греблі швидкості деформацій пропонується оцінювати за таким алгоритмом. У геодезичному моніторингу важливим є завдання приведення просторових координат точок у задану систему координат за відповідними точками. При цьому вектор нев'язок \vec{e}

$$\vec{e} = R\vec{x}_2 - \vec{x}_1 - \vec{x}_0, \quad (17)$$

де \vec{x}_1, \vec{x}_2 – вектори координат точок у вихідній та перетвореній системах; R – матриця перетворення (обертання); \vec{x}_0 – вектор трансляції.

Нехай вектор нев'язок \vec{e} є винятково функцією матриці обертання R , що визначає кутові положення рухомої системи координат відносно вихідної i . Тоді

$$\vec{e} = R\vec{x}^2 - \vec{x}_i. \quad (17)$$

Задача розв'язується ітераціями за відомими початковими наближеннями для елементів матриці R . На кожній ітерації обчислюються нові значення елементів матриці \mathbf{R} :

$$R_{i+1} = R_i \Delta R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z), \quad (18)$$

де i – номер ітерації.

Очевидно,

$$\frac{\partial \vec{e}}{\partial \varepsilon_x} = \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_x} \vec{x}^2; \quad \frac{\partial \vec{e}}{\partial \varepsilon_y} = \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_y} \vec{x}^2; \quad \frac{\partial \vec{e}}{\partial \varepsilon_z} = \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_z} \vec{x}^2. \quad (19)$$

Тут

$$\frac{\partial R}{\partial \varepsilon_x} = \begin{bmatrix} 0 & r_{13} & r_{12} \\ 0 & r_{23} & r_{22} \\ 0 & r_{33} & r_{32} \end{bmatrix}; \quad \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_y} = \begin{bmatrix} r_{13} & 0 & r_{11} \\ r_{23} & 0 & r_{21} \\ r_{33} & 0 & r_{31} \end{bmatrix}; \quad \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_z} = \begin{bmatrix} r_{12} & r_{11} & 0 \\ r_{22} & r_{21} & 0 \\ r_{32} & r_{31} & 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Згідно з основними постулатами континуальної теорії деформацій, основні співвідношення, що пов'язують тензори макроскопічних швидкостей деформацій e_{ij} та напружень σ_{ij} між собою, мають вигляд

$$\sigma_{ij} = 2\xi \left(e_{ij} - \frac{1}{3} e \delta_{ij} \right) + \xi e \delta_{ij} + P_L \delta_{ij}, \quad (21)$$

де

$$\xi = \frac{2(1-\theta)^3}{3\theta} \eta_0; \quad \eta = (1-\theta)^3 \eta_0; \quad P_L = \frac{2\alpha}{r} (1-\theta)^2; \quad (22)$$

ξ, η – макроскопічні коефіцієнти об'ємної і зсувної в'язкості відповідно; η_0 – коефіцієнт зсувної в'язкості матеріалу (піску); θ – пористість; P_L – лапласівський тиск; α – коефіцієнт поверхневого натягу; r – умовний радіус частинок піску.

Отримані вирази (19)–(22) можна використовувати надалі для аналізу деформуючих факторів впливу, зокрема пористості, різнозернистості тощо.

IV. Наземно-супутникові спостереження греблі ХАЕС

Для визначення горизонтальних зміщень розроблена мережа з шести пунктів триангуляції та 34 пунктів полігонометрії. Від опорної мережі різними методами визначали координати закладних марок греблі. Пункти мережі полігонометрії закріплені знаками трубчастого типу (глибина закладання 2,5 м). Труба знака виступає над поверхнею на 0,5 м і до верху її приварений диск для встановлення і примусового (механічного) центрування геодезичних приладів та обладнання. Помилка центрування становить 0,1–0,2 мм.

Планову опорну мережу проектували як лінійно-кутову. Сторони мережі вимірювали світло-віддалемірами “Кварц” та “СП-2”, кути – теодолітом Theo-010В дев'ятьма прийомами. Середні квадратичні похибки вимірювань довжин сторін і кутів становили 2–3 мм і 1,5". Мережу урівнювали як вільну, а за вихідну точку в кожному циклі приймали “центр ваги мережі” з координатами $X_0 = \sum X_i/n$, $Y_0 = \sum Y_i/n$, де X_i, Y_i – координати пунктів мережі, а n – їхня кількість. У всіх циклах X_0 і Y_0 однакові.

За результатами урівнювання середні квадратичні похибки абсцис і ординат пунктів перебували в межах 0,5–1 мм, а помилки положення пунктів не перевищували 5мм. Розбіжності координат пунктів між циклами перебували в межах точності їх визначення.

Результати виконаних традиційними методами геодезичних вимірювань протягом 15 років свідчать про нерівномірність перебігу деформаційного процесу, динаміка якого має нечітко виражений характер. Максимальні осадки – 26,0 мм, максимальне зміщення – 55 мм. Домінуючий напрямок планових зміщень перпендикулярний до осі греблі. Це наочно видно на картограмі планових зміщень (рис. 3).



Рис. 2. Картограма планових зміщень верхніх марок (Мз)

Метод супутникової геодезії, що значно поширився на практиці в останні роки [10], ґрунтується на вимірюванні відстаней в певній точці земної поверхні до супутників системи GPS, координати (ефемериди) яких відомі в будь-який момент часу. На шести орбітах перебувають 24 супутники, рівномірно розподілені так, що одночасно забезпечується можливість спостережень не менше чотирьох супутників у будь-який час доби й у будь-якій точці земної кулі.

Вимірювання одним приладом–приймачем супутникових сигналів забезпечує точність 10–5 мм і більше. Синхронні вимірювання двома приймачами, рознесеними на деяку відстань один від одного (від декількох метрів до сотень кілометрів), дають змогу визначати їх взаємне положення з високою точністю, тому що виключаються помилки, вплив яких на обидва приймачі однаковий. Сьогодні фірми деяких країн випускають комплекти приладів, що містять два й більше (синхронні вимірювання більш ніж у двох точках) приймачів сигналів. Вони характеризуються такими середніми квадратичними похибками (СКП) m визначення відстані D , перевищення h , і азимута a між точками, що визначаються:

$$m_D = 5 \text{ мм} + D \cdot 10^{-6}; \quad m_h = 5 \text{ мм} + D \cdot 10^{-6}; \quad m_a = 1'' + 5''/D_{km}. \quad (23)$$

Всі супутникові вимірювання і оброблення результатів спостережень виконують у світовій системі координат WGS-84. Початок системи збігається із центром мас Землі; вісь Z спрямована на умовний полюс, визначений Службою обертання Землі на 1984 р.; вісь X визначається площинами початкового меридіана WGS-84 і екватора. Початковий меридіан паралельний нульовому меридіану, закріпленому координатами станцій Міжнародного бюро часу. Початок і положення координат системи WGS-84 збігаються з геометричним центром і осями еліпсоїда WGS-84, на якому обчислюють геодезичні координати.

Вимірювання на Хмельницькій АЕС виконували приладами GPS 5700 LS ф. "TRIMBLE" (США) комплектом із двох приймачів. Тривалість синхронних вимірювань між двома пунктами на об'єкті було прийнято такою, що дорівнює 30 хв. Вимірювання на об'єкті виконували приблизно в однакових сезонних умовах (жовтень) протягом двох днів.

Результати супутникових вимірювань наведені в табл. 4.

Частина порівнюваних довжин ліній не вимірювали безпосередньо, а обчислювали за різницею координат і висот пунктів. У цьому разі СКП визначення довжини буде більшою приблизно в $\sqrt{3} = 1,7$ раза. СКП визначення довжини, обчислена за різницями довжин двох циклів, виявилася такою, що дорівнює 3,7 мм, що менше від очікуваної (5–6 мм). З порівняння довжин і схеми мережі (рис. 3) зрозуміло, що основні зміни за рік відбулися в довжинах, пов'язаних з пунктом 27. Можна очікувати, що цей пункт змістився в північно-західному напрямку приблизно на 6–7 мм. З порівняння інших довжин СКП виявляється так, що дорівнює 2,9 мм і містить помилки не тільки вимірювання, але й можливі зміщення пунктів.

Таблиця 4

Точність GPS-вимірювань базових ліній (42-й цикл)

Базові лінії	Довжини базових ліній, м	СКП, мм
I	133.163	4
II	3443.953	4
III	3306.313	4
IV	2479.329	8
V	2094.690	8
VI	1797.412	6
VII	1478.945	7
VIII	702.811	6
IX	594.476	5
X	1100.301	6
XI	1688.943	7
XII	2084.906	6
XIII	2562.186	5
XIV	2917.157	6
XV	3209.965	7
XVI	3330.015	4

Середнє: 5.81

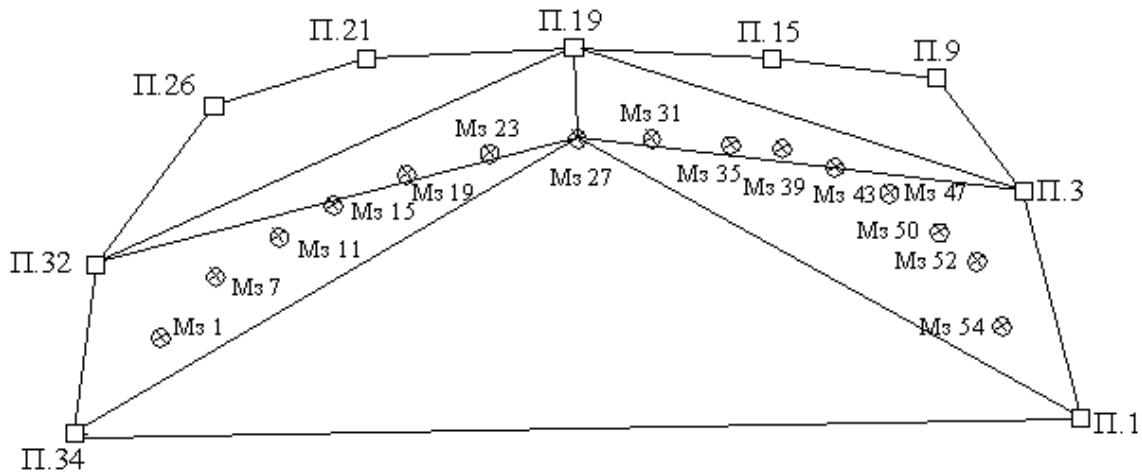


Рис. 3. Схема вимірювань базисних сторін планової мережі ХАЕС:
 ⊗ – закладні марки, □ – пункти GPS-спостережень

Були виконані також додаткові дослідження. Порівнювали довжини ліній з вимірювань у перший і другий день. Довжини ліній визначали не безпосередньо, а за різницями координат (що збільшує помилку довжини, як відзначено вище). Розбіжності перебували в межах від +7,5 до -5,1 мм і мають знакозмінний характер, а СКП довжини за різницею подвійних вимірювань становила 3,3 мм.

Порівнювали також довжини ліній із супутникових вимірювань і з лінійно-кутової мережі. Виявлено систематичну різницю у 8,8 мм. У разі її усунення розбіжності довжин перебували в межах точності вимірювань. Систематична різниця (24 мм) виявлена також під час порівняння висот пунктів, визначених супутниковим методом та з геометричного нівелювання. Очевидно, це зумовлено впливом неврахованих факторів, зокрема розташуванням пунктів поблизу високовольтної ЛЕП.

Висновки

1. На підставі виконаних інженерно-геодезичних вимірювань та аналізу їх результатів можна зробити однозначний висновок: деформаційний процес греблі ХАЕС триває з різною частотою та інтенсивністю.
2. Не зафіксовано істотних горизонтальних і вертикальних зміщень на контрольних марках, закладених на початку і в кінці греблі.
3. Запропонований в статті метод дає можливість виконувати моніторингово-геодезичні спостереження з високою точністю і оперативністю, дозволяє створити достатньо надійну мережу контролю за станом таких складних гідротехнічних споруд, як ґрунтові греблі значної протяжності.

Література

1. Гольдин А., Рассказов Л. Проектирование грунтовых плотин. – М., 1987. – 304 с.
2. Мельник В., Стовпник Т., Максимюк Ю. Аналіз геодезичних спостережень за зміщеннями земляної греблі ХАЕС // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1995. – № 55. – С. 67–73.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М., 1980.
4. Шануров Г. Учет влияния геодинимических явлений на результаты измерений в длиннобазисной радиоинтерферометрии // Изв. вузов, сер. геодезия и аерофотосъемка. – 1991. – № 6. – С. 25–31.
5. Грешилов А.А. Анализ и синтез стохастических систем. – М.: Радио и связь, 1990. – 320с.

5. Киричков В. Идентификация объектов систем управления технологическими процессами. – К.: Вища школа, 1990. – 263 с.
6. Эйкофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 683с.
7. Калман З., Бьюси Р. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказаний // Тр. амер. об-ва инженеров-механиков. – 1961. – Т.83. – № 1.
8. Болнокин В., Чинаев П. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭОМ. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
9. Островський А., Мороз О., Гарновський В. Геодезія. – Львів, 2007. – 507 с.
10. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). – К.: Наукова думка, 1996. – 377 с.
11. Мельник В., Мельник О., Павлишин В. Про вплив різнозернистості та неоднорідності порового простору на деформаційно-суфозійні властивості ґрунтових гребель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2008. – С.164–174.
12. Третьяк К., Сідоров І. Оптимізація побудови геодезичних мереж Дністровської ГАЕС супутниковими радіонавігаційними технологіями // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2005. – С.207–219.
13. Зайцев А., Морфенко С., Михалёв Д. Геодезические методы исследования деформаций сооружений. – М.: Недра, 1991. – 271 с.
14. Тюфлин Ю., Степаньянц Г. Способы решения фотограмметрических задач без последовательных поворотов // Геодезия и картография. – 2004. – С.47–50.
15. Skorokhod V., Olevsky E., Shtern M. Continuum theory of Sintering . I. Phenomenological model //Powd.Meal. Metal Ceram. – 1993. – № 1. – P.22–24.

**Варіант оперативного геодезичного контролю
за експлуатаційним станом греблі ХАЕС**

В. Мельник, О. Мельник

Розглянуто геодезичний моніторинг стану ґрунтової греблі водосховища ХАЕС

**Вариант оперативного геодезического контроля
эксплуатационного состояния плотины ХАЭС**

В. Мельник, О. Мельник

Рассмотрено геодезический мониторинг состояния грунтовой плотины водохранилища ХАЭС.

Version of the operating geodetic control operational status of the dam of KhAPS

V. Melnyk, O. Melnyk

The geodetic monitoring of the state of earth dam of storage pool of KhAPS is examined in the article.