



## Література

1. Закон України "Про регулювання містобудівної діяльності" від 02.03.2011 р. № 251/2011.
2. Закон "Про морські порти України" від 17.05.2012 р. № 4709-VI.
3. Земельний кодекс України від 18.12.1990 р. (01.01.2002) № 561-XII.
4. Перович, Л. Сучасний стан та перспективи розвитку кадастрової системи України /Л. Перович / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. II. – С. 40-42.
5. Порядок побудови Державної геодезичної мережі [Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 7.08.2013 р. № 646].
6. Про затвердження основних положень створення Державної геодезичної мережі України [Постанова Кабінету Міністрів України від 08.06.1998 р. № 844 (21.06.2004 р. № 792; 22.09.2004 р. № 1259; 25.05.2006 р. № 754; 23.12.2009 р. № 1413)].
7. Про ідентифікацію об'єктів нерухомого майна для державної реєстрації прав на них [Постанова Кабінету Міністрів України від 08.12.2010 р. № 1117].

Надійшла 06.05.14

\* \* \*

УДК 528.3

С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова

## ПОБУДОВА ПОЛІГОНОМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗУСТРІЧНИМИ ХОДАМИ

*Описывается способ построения вытянутого полигонометрического хода, плановое положение пунктов которого определено с точностью, не уступающей точности определения исходных пунктов.*

*Method of contouring of pulled traverse line is described, planimetric position of its points is highly competitive with the accuracy of definition of initial points.*

**Постановка проблеми.** В останні роки в Україні широко застосовуються нові методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій. Однак на територіях населених пунктів з багатоповерховою забудовою, у лісистих місцевостях застосування супутникових методів наштовкується на такі завади, як багатопроменевість поширення сигналу, недостатня кількість супутників для надійного визначення місцеположення приймача. Тому застосування полігонометричного методу не втратило свого значення.

Методика побудови полігонометричних мереж ґрунтується на принципі "від загального до окремого", тобто переходу від вищих класів до нижчих. У такий спосіб створюються багаторівневі мережі з можливістю переходу від вищих до нижчих класів, але з втратою точності визначення планового положення пунктів.

На сучасному етапі розвитку геодезичної техніки значно підвищилась точність вимірювання відстаней з використанням світловіддалемірів та електронних тахеометрів. Це є підґрунтям для підвищення точності визначення планового положення геодезичних пунктів, координати яких отримані полігонометричним методом.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, дотичних до анонсованої проблеми.** У публікаціях [2,7,8] звертається увага на співвідношення поперечного зсуву полігонометричного ходу до величини поздовжнього, яке позначено величиною  $Q$ .

© С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова, 2014

Ця величина характеризує для витягнутих ходів співвідношення точності куткових і лінійних вимірювань. Зроблено висновок, що із збільшенням даної величини завдяки підвищенню точності світловіддалемірних приладів і, як наслідок, точності вимірювань випадкова похибка ламаного ходу в найслабшому місці зменшується в порівнянні з витягнутим ходом.

Недосліджена тема – можливість прокладання таких полігонометричних ходів, щоб їх пункти за точністю визначення планового положення були не гірші, ніж вихідні.

У джерелі [3] наведено спосіб згущення геодезичної мережі від опорних пунктів прокладанням зустрічних світловіддалемірних витягнутих висячих ходів, які прокладаються від чотирьох вихідних пунктів назустріч один одному в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Прокладання витягнутих зустрічних ходів полігонометрії до пункту, який знаходиться посередині між вихідними, дозволяє зменшити систематичну складову похибки у поздовжньому зсуві цього пункту. Координати такого пункту визначаються як середнє з координат чотирьох зустрічних ходів. Вказаний спосіб згущення забезпечує побудову мереж, точність визначення планового положення пунктів яких не нижча, ніж вихідних пунктів.

**Постановка завдання.** На думку авторів даної статті, можна будувати такі мережі, пункти яких матимуть точність планового положення не нижчу, ніж точність вихідних пунктів, прокладанням витягнутих висячих полігонометричних ходів



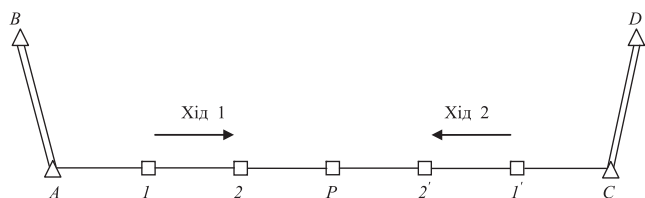
назустріч один одному лише від двох вихідних пунктів. Координати пункту, до якого прокладаються зустрічні ходи, визначаються як середнє з координат двох зустрічних ходів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Прокладемо витягнутий полігонометричний хід (див. малюнок). Причому до пункту  $P$  прокладемо два зустрічні ходи – від вихідних пунктів  $A$  та  $C$ . Середня квадратична похибка (СКП) пункту  $P$  з ходів 1 та 2  $m_{P_1}, m_{P_2}$  (з урахуванням СКП взаємного положення вихідного пункту  $C$  відносно  $A$  –  $m_N$  та СКП власне самих ходів  $m_{L_1}$  та  $m_{L_2}$ ) становитиме:

$$m_{P_1}^2 = \frac{m_N^2}{2} + m_{L_1}^2; \quad m_{P_2}^2 = \frac{m_N^2}{2} + m_{L_2}^2. \quad (1)$$

Координати пункту  $P$  визначаємо як середнє з координат першого та другого ходу:

$$X_P = \frac{X_1 + X_2}{2}; \quad Y_P = \frac{Y_1 + Y_2}{2}.$$



Витягнутий полігонометричний хід, утворений двома зустрічними ходами до пункту  $P$

СКП визначення координат точки  $P$  по осях  $X$  та  $Y$  за умови, що ходи за точністю рівнозначні, тобто  $m_{X_1} = m_{X_2} = m_X$  та  $m_{Y_1} = m_{Y_2} = m_Y$ , становитиме:

$$m_{X_P} = \frac{m_X}{\sqrt{2}}; \quad m_{Y_P} = \frac{m_Y}{\sqrt{2}}.$$

СКП положення пункту  $P$  на площині дорівнюватиме:

$$m_P^2 = m_{X_P}^2 + m_{Y_P}^2 = \frac{m_X^2 + m_Y^2}{2} = \frac{1}{2} m_{P_1}^2 = \frac{1}{2} m_{P_2}^2. \quad (2)$$

Оскільки ходи 1 та 2 рівнозначні за точністю, то далі розглядається перший хід. З виразів (2) та (1) випливає, що

$$m_P^2 = \frac{1}{2} m_{P_1}^2 = \frac{m_N^2}{4} + \frac{m_{L_1}^2}{2}. \quad (3)$$

Щоб отримати рівноточну мережу, поставимо умову, що СКП планового положення пункту  $m_P$  дорівнює СКП взаємного положення вихідних пунктів. Тоді з формули (3) випливає, що:

$$m_N^2 = \frac{m_N^2}{4} + \frac{m_{L_1}^2}{2}; \quad m_{L_1} = \sqrt{\frac{3}{2}} m_N. \quad (4)$$

З довідника [6] відомо, що для витягнутого всячого полігонометричного ходу  $m_{L_1}$  СКП кінцевої точки ходу  $m_{P_1}$  становить:

$$m_{P_1}^2 = [m_{S_i}^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{(n+1) \cdot (2n+1)}{6n} + \frac{m_{\alpha_{\text{пл}}}^2}{\rho^2} \cdot [S_i]^2 + \frac{m_N^2}{2}, \quad (5)$$

де  $[m_{S_i}^2]$  – сума квадратів СКП вимірювання сторін ходу  $S_i$ ;  $m_\beta$  – СКП вимірювання кутів;  $L$  – довжина замикальної ходу;  $n$  – кількість сторін ходу;  $m_{\alpha_{\text{пл}}}$  – СКП визначення дирекційного кута початкового напрямку;  $[S_i]$  – периметр ходу;  $\rho = 206265''$ .

У виразі (5) три перші доданки формують СКП власне ходу  $m_{L_1}$ , а останній – СКП взаємного положення вихідних пунктів. Тоді

$$m_{L_1}^2 = [m_{S_i}^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{(n+1) \cdot (2n+1)}{6n} + \frac{m_{\alpha_{\text{пл}}}^2}{\rho^2} \cdot [S]^2.$$

З урахуванням виразу (4) маємо:

$$\sqrt{[m_{S_i}^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{(n+1) \cdot (2n+1)}{6n} + \frac{m_{\alpha_{\text{пл}}}^2}{\rho^2} \cdot [S]^2} \leq \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot m_N. \quad (6)$$

Вираз (6) дозволяє методом добору визначити необхідні параметри:  $n$ ,  $[S]$ ,  $m_S$ ,  $m_\beta$ ,  $m_{\alpha_{\text{пл}}}$  витягнутого полігонометричного ходу, пункти якого матимуть точність планового положення не гіршу, ніж точність  $m_N$  вихідних пунктів. Точність планового положення пункту  $P$ , до якого сходяться зустрічні ходи, визначається з виразу (3), у якому  $m_{L_1}$  обчислюється за лівою частиною виразу (6) за умови, що вона не перевищує праву частину цього виразу.

Для обчислення СКП дирекційного кута на вихідних пунктах та для орієнтування полігонометричного ходу можна скористатись припущенням, що зсув пункту  $B$  (див. малюнок) відносно пункту  $A$  спрямований перпендикулярно до напрямку  $AB$  і характеризується СКП  $m_B$  взаємного положення пункту  $B$  відносно пункту  $A$ . Тоді для відстані  $D$  між цими пунктами можна записати:

$$m_{\alpha_{\text{пл}}} = \rho \cdot \frac{m_B}{D}. \quad (7)$$

Покажемо на прикладі можливість побудови мережі однакової точності полігонометричним методом.

Нехай необхідно згустити мережу 3 класу полігонометричним ходом 4 класу. Згідно з [4], на побудованих пунктах мережі 2 класу встановлюються по два пункти-супутники, на які від основного пункту визначаються дирекційні напрямки з СКП не менше  $5''$ . На нових пунктах 3 класу, в разі відсутності видимості між ними, також встановлюють пункти-супутники. Крім того, якщо у (7) прийняти  $D_{\text{min}} = 2$  км – для 3 класу, а  $m_B = 0,05$  м [4], то отримаємо:  $m_\alpha = 5,2''$ . Тож приймаємо:  $m_{\alpha_{\text{пл}}} = 5''$ .

Для проведення розрахунків уточнюється і спрощується вираз (6). Якщо довжину ходу  $L$  замикальної виразити через середню відстань  $S_{\text{сер}}$  між пунктами ходу і кількістю сторін у ході  $n$  від вихідного пункту до пункту  $P$  ( $L = n S_{\text{сер}}$ ), тоді



$$[m_s^2] = nm_{s_{\text{сєр}}}^2; [S]^2 = n^2 S_{\text{сєр}}^2.$$

Внаслідок цього вираз (6) набуває вигляду:

$$\sqrt{nm_{s_{\text{сєр}}}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} n^2 S_{\text{сєр}}^2 \frac{(n+1)(2n+1)}{6n} + \frac{m_{\alpha_{\text{п}}}^2}{\rho^2} n^2 S_{\text{сєр}}^2} = \sqrt{\frac{3}{2}} m_N. \quad (8)$$

У виразі (8) у лівій частині під коренем: перший доданок  $nm_{s_{\text{сєр}}}^2$  відповідає поздовжньому зсуву точки  $P$ , який позначимо {1}; другий доданок  $\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} n^2 S_{\text{сєр}}^2 \frac{(n+1)(2n+1)}{6n}$  – це частина поперечного зсуву, який позначимо {2}; третій доданок  $\frac{m_{\alpha_{\text{п}}}^2}{\rho^2} n^2 S_{\text{сєр}}^2$  – інша частина поперечного зсуву, який позначимо {3}. Оскільки ми збираємось згустити мережу 3 класу пунктами, які мають точність планового положення не нижчу, ніж прийнято для цього класу, то, вірогідно, необхідно використати кутомірний прилад з точністю вимірювання горизонтальних кутів  $m_{\beta} \leq 1,5''$  та пристрій для вимірювання відстаней з відносною похибкою вимірювання відстані  $m_s/S \leq 1/200000$  [4]. Електронний тахеометр TS09-1" фірми Leica (Швейцарія) дозволяє вимірювати горизонтальні кути з СКП 1" та відстані з СКП 1 мм + 1,5 мм · S км, що задовольняє вимоги 3 класу. Результати розрахунку СКП визначення планового положення точки  $P$  для  $S_{\text{сєр}} = 500$  м з використанням електронного тахеометра TS09-1" наведено в табл. 1 для різної кількості сторін у прямому ході. Як видно з даної таблиці, ліва частина виразу (8) (див. графу 5) менша від правої частини (гр. 6) для чотирьох сторін, що відповідає ходу з восьми сторін між вихідними пунктами із загальною довжиною 4 км. У сьомій графі вказано для цього випадку значення СКП центрального пункту  $P$ , обчисленої за формулою (3), яка становить 43,5 мм і менша за СКП планового положення пункту 3 класу –  $m_P = 50$  мм.

Таблиця 1. Обчислення СКП планового положення пункту  $P$  для  $S_{\text{сєр}} = 500$  м з використанням електронного тахеометра TS09-1"

$n$	{1}, мм <sup>2</sup>	{2}, мм <sup>2</sup>	{3}, мм <sup>2</sup>	$\sqrt{\{1\} + \{2\} + \{3\}}$ , мм	$\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot m_N$ , мм	$m_P$ , мм
1	2	3	4	5	6	7
1	3,1	5,9	146,9	12,5	61,2	26,5
2	6,1	29,4	587,6	25,0	61,2	30,6
3	9,2	82,3	1322,1	37,6	61,2	36,5
4	12,2	176,3	2350,4	50,4	61,2	43,5
5	15,3	323,2	3672,6	63,3	61,2	51,3

Аналізуючи числові дані табл. 1, можна помітити, що перша і друга складові виразу (8), які характеризують відповідно похибки вимірювання відстаней і горизонтальних кутів, значно менші за похибки орієнтування полігонометричного ходу на вихідних пунктах – третя складова. Тому, щоб збільшити відстань між вихідними пунктами, необхідно підвищити точність орієнтування ходу. Це вказує також на можливість зменшення вимог щодо точності вимірювання відстаней і горизонтальних кутів у зустрічних хо-

дах. Дійсно, якщо використати світловідалемір "Блеск", який дозволяє вимірювати відстані з СКП 10 мм + 5 мм · S км та виконати вимірювання горизонтальних кутів за програмою 4 класу полігонометрії з  $m_{\beta} = 3''$  [1], тоді (див. табл. 2) планове положення пункту  $P$  згідно з формулою (3) для  $n=3$  та  $m_{L_1} = 50,3$  мм становитиме:  $m_P = 43,5$  мм. Максимальна відстань між вихідними пунктами 3 класу скоротиться до 3 км.

Таблиця 2. Обчислення СКП планового положення пункту  $P$  для  $S_{\text{сєр}} = 500$  м з використанням світловідалеміра "Блеск"

$n$	{1}, мм <sup>2</sup>	{2}, мм <sup>2</sup>	{3}, мм <sup>2</sup>	$\sqrt{\{1\} + \{2\} + \{3\}}$ , мм	$\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot m_N$ , мм	$m_P$ , мм
1	2	3	4	5	6	7
1	156,2	52,9	146,9	18,9	61,2	28,3
2	312,5	264,4	587,6	34,1	61,2	34,7
3	468,7	740,6	1322,1	50,3	61,2	43,5
4	625,0	1586,5	2350,4	67,5	61,2	53,9

Після визначення середнього значення координат пункту  $P$  з прямого і зустрічного ходів виконується зрівноваження цих ходів (його процедуру буде описано в наступних публікаціях). Ходи зрівноважуються окремо. Визначаються виправлені координати проміжних пунктів. Після цього СКП положення пункту в слабкому місці, тобто всередині прямого чи зустрічного ходів, приблизно вдвічі менша за СКП кінцевої точки до зрівноваження [5]. До зрівноваження кінцева точка  $P$  мала СКП планового положення, яка обчислювалась за виразом (1). З урахуванням виразу (4)

$$m_{P_1}^2 = \frac{m_N^2}{2} + m_{L_1}^2 = \frac{m_N^2}{2} + \frac{3}{2} m_N^2 = 2m_N^2$$

або

$$m_{P_1} = \sqrt{2} m_N. \quad (9)$$

Тоді СКП прямого чи зустрічного ходів у найслабшому місці після зрівноваження буде вдвічі меншою і становитиме з урахуванням (9):

$$m = \frac{m_{P_1}}{2} = \frac{m_N}{\sqrt{2}} = 0,71 \cdot m_N \leq m_N.$$

Для контролю якості вимірювання горизонтальних кутів полігонометричного ходу необхідно виміряти кут і на пункті  $P$  та визначити величину кутової нев'язки, порівнявши її з нормативною.

**Висновок.** Наведені розрахунки переконують, що запропонований спосіб побудови полігонометричних мереж згущення зустрічними ходами рівної довжини дає змогу будувати мережі без втрати точності планового положення його пунктів відносно вихідних. Згущення може виконуватись за методикою та приладами, точність яких нижча, ніж в інструментів, які застосовуються для вимірювання відстаней та горизонтальних кутів у мережах, що відповідають параметрам вихідних пунктів. Запропоновано математичний апарат для визначення параметрів таких ходів.



**Перспективи подальших досліджень.** У майбутньому належить виписати процедуру зрівноваження зустрічних ходів з урахуванням визначених середніх координат центрального пункту.

#### Література

1. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000-1:500.* ГКНТА-2.04-02-98. – К.: Головне управління геодезії, картографії та кадастру, 1992. – 155 с.
2. *Конусов, В.Г.* Предвычисление точности полигонометрических ходов / В.Г. Конусов. – М.: Недра, 1966. – 133 с.
3. *Пат. 93119, Україна, МПК (2011.01) G01C7/00.* Спосіб згущення геодезичної мережі / Д.Ф. Байса, В.О. Боровий, В.Г. Бурачек [та ін.]; заявники та патентовлас. Д.Ф. Байса, В.О. Боровий, В.Г. Бурачек, П.Д. Крельш-

тейн, С.Д. Крячок. – № а200906037; заявл.11.06.2009; опубл.10.01.2011. – Бюл. № 1.

4. *Селиханович, В.Г.* Задачник по геодезии. – В 2 ч.: изд. 2-е, перераб. и доп. / В.Г. Селиханович, Г.П. Логина. – М.: Недра, 1970. – 288 с.

5. *Справочник геодезиста.* – В 2 т.; под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука. – 3-е изд., перераб. и доп. – Кн. 2. – М.: Недра, 1985. – 449 с.

6. *Топографо-геодезична та картографічна діяльність (законодавчі та нормативні акти).* Ч.1. – К.: Головне управління геодезії, картографії та кадастру, 2000. – 405 с.

7. *Тревого, И.С.* О соотношении точности угловых и линейных измерений в светодальномерной полигонометрии / И.С. Тревого // Геодез. картогр. и аэрофотосъем. – 1977. – № 26. – С. 90-97.

8. *Тревого, И.С.* Городская полигонометрия / И.С. Тревого, П.М. Шевчук. – М.: Недра, 1986. – 199 с.

Надійшла 21.05.14

\* \* \*

УДК.528.482 : 69.058.4

К. О. Бурак, Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій, М. Я. Гринішак,  
Г. Г. Мельниченко, В. П. Михайлишин, В. М. Ковтун

## ОСОБЛИВОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕОТЕХНОГЕННОЇ ДИНАМІКИ НА ШАХТНИХ ПОЛЯХ КАЛІЙНИХ РОДОВИЩ

*На основании исследований геотехногенной динамики на наблюдательной станции рудника «Ново-Голынь» Калуш-Голынского месторождения калийных солей освещены пути решения проблем, возникающих при возобновлении работ после длительного перерыва. Доказана высокая эффективность использования метода геодезических наблюдений за осадками реперов для оценки масштаба геотехногенных процессов. В частности, получены убедительные данные, свидетельствующие о целесообразности проведения мероприятий по гидрозакладке выработанного пространства калийных рудников.*

*Methods of solution of problems arising in resumption of works after a long break were considered basing on studies of geotechnogenic dynamics at the observation station of "Novo-Holyn" mine of Kalush-Holyn potash salt deposit. High efficiency of using of the method of geodetic observations of precipitation rappers to assess the scope of geotechnogenic processes was proved. Compelling data were received showing reasonability of carrying out activities concerning hydraulic filling of mine goaf of potash mines.*

**Постановка проблеми.** На території України, зокрема в західних її областях, є велика кількість гірничорудних виробок, де колись видобували руду підземним способом. Через різні причини зараз вони практично заморожені та не одержують фінансування на виконання у повному обсязі передбачених нормативами геолого-маркшейдерських робіт з документування процесів, які загрожують довкіллю. Зокрема, це стосується і робіт з визначення осідань та дослідження деформацій земної поверхні на спостережних станціях, які досі в обов'язковому порядку створювались на шахтних полях над підземними виробками не тільки для

фіксації, але і для прогнозування геотехногенної динаміки (розвитку мульд зсуву), без чого безпечне господарське використання таких територій неможливе. Особливо потенційну небезпеку процеси осідань земної поверхні становлять тоді, коли гірничі виробки розміщені під жилими масивами або в безпосередній близькості від них. Для прикладу: безпосередньо над відпрацьованими площами шахтних полів тільки одного рудника "Ново-Голинь" Калуш-Голинського родовища розташовано 589 жилих будинків. На жаль, роботи з дослідження деформацій земної поверхні відновлюють тільки у випадках техногенних аварій, що мало місце і на даному родовищі.

Як свідчить наш досвід робіт з вимірювань осідань земної поверхні на території рудника "Ново-Голинь", відновлення спостережень має

© К. О. Бурак, Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій,  
М. Я. Гринішак, Г. Г. Мельниченко,  
В. П. Михайлишин, В. М. Ковтун, 2014