

УДК 528.9

Є. Лаврішко, О. Ванчура

Національний університет "Львівська політехніка"

МОТОРИЗОВАНЕ ВИСОКОТОЧНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

© Лаврішко Є., Ванчура О., 2011

Анализируется методика моторизованного высокоточного геометрического нивелирования, его эффективность и перспектива введения в Украине.

Analyzed method motorized precision geometric leveling, its performance and prospects of Ukraine

Постановка, актуальність проблеми. Геометричне нівелювання було і залишається основним методом створення державних і високоточних локальних висотних мереж. Геодезисти використовують його понад сто п'ятдесят років. Звичайно, існують й інші методи нівелювання, але геометричне нівелювання є домінуючим не зважаючи на те, що в сучасний період вже з'явилися супутникові технології, які намагаються взяти на себе роль більш «класичних» методів визначення висот. Напевно і в майбутньому методи геометричного нівелювання ще довго будуть використовуватися в високоточних мережах. Цьому сприяє науково-технічний прогрес в галузі геодезичного приладобудування, а також і в галузі вдосконалення самого методу геометричного нівелювання.

Розроблені моделі цифрових нівелірів, які працюють і забезпечують більш високу точність та рівень автоматизації вимірювання, що сприяє підвищенню точності нівелювання і ефективності робіт.

Бажання виконувати геометричне нівелювання швидше реалізували в 70-х роках минулого століття, коли було розроблено і реалізовано метод моторизованого нівелювання.

Це було започатковано в Німеччині, а потім в Швеції, Швейцарії, пізніше Франції, США та в інших країнах.

Ідея моторизованого нівелювання прогресивна, розрахована на досить швидке прокладання нівелірних ходів при забезпеченні заданої точності. Тому цей метод можна визнати актуальним і перспективним.

Аналіз досліджень, в яких започатковане розв'язання проблеми і формування цілей статті. Найзначнішою перевагою моторизованого нівелювання в порівнянні з іншими методами є те, що геодезичні роботи можна виконувати на протязі всього польового сезону і цілий робочий день, при різних погодних умовах. Ці дані було підтверджено в країнах з різними кліматичними умовами, такими як: Замбія, Малайзія, Франція, США. З економічної точки зору в Швеції цей метод дав можливість знизити собівартість виконання робіт на 50 % порівняно з класичними методами.

На початку заснування методу постала проблема, яким чином перевозити інструменти, щоб зробити це більш ефективно. З початку вдалися до того, що прилади перевозили на велосипедах і нівелірні роботи виконувалися безпосередньо з транспорту. З часом почали використовувати мотоцикли, а потім вже автомобілі. Це питання весь час було актуальне. Прорив у нівелюванні відбувся коли фірма Carl Zeiss розробила і представила нівелір Ni002 у 1972 році, в наш час використовують нівелір DNA-03 фірми Leica Geo System. Нівелір Ni-002 був перший, який сам горизонтував візирну вісь нівеліра і приводив її в робоче положення. З часом з'явилися нівеліри з компенсаторами, які встановлюють вісь приладу вертикально (приводять його в робоче положення). Такі новітні технології дали змогу вдосконалити моторизоване нівелювання, а також збільшувати його ефективність. За допомогою новітніх технологій досягли таких темпів вимірювання: середня швидкість виконаного нівелювання складає 2,2 км/год, з середньою довжиною плечей 35м; загальний час встановлення нівеліра на станції та вимірювання складає 1,6-2,4 хвилини, в залежності від довжини сторони; середньодобові вимірювання складають 12 км в

одну сторону. Дані показують, що ефективний час вимірювання моторизованого нівелювання становить близько 5,5 год. в день. Ці темпи виробництва є результатом оптимального розподілення роботи між всіма учасниками бригади. Дані, які відносяться до інших класичних вимірювань, показують що швидкість нівелювання в одну сторону складає 3,5 км. Найбільш значна перевага моторизованого нівелювання в порівнянні з іншими методами, є те, що геодезичні роботи можна виконувати на протязі всього польового сезону. Також до переваг даного методу належить те, що при класичному нівелюванні, для того щоб здобути перевищення між точками, нам необхідно зробити 16 вимірів, що забирає досить багато часу. При моторизованому нівелюванні потрібно брати лише два відліки: на задню і на передню рейку. Це пояснюється тим, що при використанні електронного нівеліра DNA-03 фірми Leica Geo System, прилад робить певну кількість відліків по рейці, а потім їх усереднює.

В Європі використовують моторизований метод нівелювання, так як це є економічно вигідно. Цей метод дав можливість знизити собівартість виконання робіт суттєво, в порівнянні з класичними методами. На сьогоднішній день є повна можливість започаткувати даний метод і в Україні, особливо якщо є можливість використовувати нівелір DNA03 Leica GeoSystem.

Для нашої території потрібно дослідити і вдосконалити технологію моторизованого нівелювання, враховуючи стан технічного забезпечення сучасними геодезичними приладами, за рахунок використання нових моделей цифрових нівелірів типу DNA03 та інших, які забезпечують середню квадратичну похибку 0,3 мм на кілометр подвійного ходу при використанні інварних штрих-кодових рейок.

Виклад основного матеріалу. При виконанні моторизованого нівелювання задіяна певна кількість людей – бригада, яка виконує нівелювання та 5 автомобілів. Бригада складається з 6 осіб, кожен з них має своє завдання. Головним в бригаді є досвідчений геодезист, який під час вимірювання весь знаходиться в кузові автомобіля, спостерігача обслуговує водій який перевозить його між стаціями. Два реснички, переміщуються автомобілями. Попереду бригади рухається ще один автомобіль з виконавцем, який розставляє дорожні знаки (рис. 1), щоб попередити учасників руху, про те що на дорозі ведуться вимірювальні роботи, а інший автомобіль їде позаду бригади і збирає дорожні знаки (рис. 2), також він перевозить інший інструмент. Зв'язок між інженером - геодезистом та ресничками відбувається за допомогою радіозв'язку. При вимірюванні дані записуються автоматично до пам'яті приладу «DNA-03» (табл. 1). Крім того спостерігач записує дані до польового журналу, для безпеки збереження даних. Всі роботи виконуються безпосередньо з автомобілів, ні реснички ні спостерігач не покидають автомобілі.



Рис. 1. Встановлення попереджувальних дорожніх знаків

Рис. 2. Автомобіль, який перевозить інструмент

Вимірювання виконують безпосередньо з автомобілів (рис. 3), за виключенням таких випадків, коли необхідно передати висоту від репера чи від проміжної станції до репера. Завдяки такому пересуванню збільшується швидкість виконання нівелювання.

Розглянемо приклад моторизованого нівелювання I-кл, на території Німеччини, в землях «Mecklenburg-Vorpommern». В цій місцевості репери розташовані на відстані 1-2 км один від одного, секції є досить короткі. В моторизованому нівелюванні використовується суцільний

штатив. На рис. 3 можна побачити його встановлення, дві ніжки знаходяться за межами борту автомобіля, а третя ніжка проходить крізь отвір який зроблений в кузові авто, і встановлюється також на землю. Нівелір встановлювався на спеціальний прилад (рис. 5), для того, щоб при транспортуванні його можна було автоматично підіймати. Всі рухи максимально автоматизовані. Рейки перевозяться також на спеціалізованих автомобілях, на яких змонтовані пристрої для стійкого встановлення рейки в робоче положення (рис. 4).

Електронний журнал високоточного моторизованого нівелювання

LVerma Mecklenburg-Vorpommern (Adresse) (Telefon)		(Fax)	(eMail)	Seite: 1 (usw)
Datei: D:\NIVAUS\08201_51.gsi			Datum: 16-Aug-2010	Zeit: 12:59
410001+00000000	42...+26512652	43...+00330459	44...+00000000	45...+00000000 46...+0
410002+00000004	42...+00008201	43...+00000202	44...+00000000	45...+00000000 46...+0
410003+00000005	42...+00001000	43...+00261009	44...+00000000	45...+00000000 46...+0
410001+?.....1				
110002+86332000	83...58+00000000			
110005+86332000	32...8+03992817	331.08+00059553	390...+00000005	391.08+00000003
110006+00000001	32...8+03924250	332.08+00129914	390...+00000005	391.08+00000001
110007+00000001	573...8+00068567	574...8+07917066	83...08-00070360	
110008+00000001	32...8+04101212	331.08+00176190	390...+00000005	391.08+00000002
110009+00000002	32...8+03799117	332.08+00134108	390...+00000005	391.08+00000004
110010+00000002	573...8+00370662	574...8+15817395	83...08-00028278	
110011+00000002	32...8+03632290	331.08+00121183	390...+00000005	391.08+00000001
110012+00000003	32...8+03360152	332.08+00205002	390...+00000005	391.08+00000009
110013+00000003	573...8+00642800	574...8+22809837	83...08-00112097	
110014+00000003	32...8+03060490	331.08+00108120	390...+00000005	391.08+00000003
110015+00000004	32...8+03452321	332.08+00140266	390...+00000005	391.08+00000004
110016+00000004	573...8+00250969	574...8+29322649	83...08-00144243	
110017+00000004	32...8+04143553	331.08+00161736	390...+00000005	391.08+00000001
110018+00000005	32...8+04131960	332.08+00120492	390...+00000005	391.08+00000002
110019+00000005	573...8+00262562	574...8+37598162	83...08-00102998	
110020+00000005	32...8+03975133	331.08+00212993	390...+00000005	391.08+00000002
110021+00000006	32...8+03761606	332.08+00101918	390...+00000005	391.08+00000002
110022+00000006	573...8+00476090	574...8+45334901	83...08+00008076	
110023+00000006	32...8+03944017	331.08+00181799	390...+00000005	391.08+00000002
110024+00000007	32...8+04065426	332.08+00215932	390...+00000005	391.08+00000003
110025+00000007	573...8+00354680	574...8+53344344	83...08-00026057	
110026+00000007	32...8+03989389	331.08+00111065	390...+00000005	391.08+00000002
110027+00000008	32...8+03819338	332.08+00103733	390...+00000005	391.08+00000002
110028+00000008	573...8+00524731	574...8+61153072	83...08-00018725	
110029+00000008	32...8+03566188	331.08+00255367	390...+00000005	391.08+00000002
110030+00000009	32...8+03379240	332.08+00011940	390...+00000005	391.08+00000002
110031+00000009	573...8+00711678	574...8+68098500	83...08+00224702	
110032+00000009	32...8+01578519	331.08+00274003	390...+00000005	391.08+00000001
110033+86332070	32...8+01397376	332.08+00045127	390...+00000005	391.08+00000002
110034+86332070	573...8+00892822	574...8+71074395	83...08+00453578	
410035+?.....1				



Рис. 3. Вимірювання перевищення між станціями



Рис. 4. Встановлення рейки на башмак безпосередньо з автомобіля

Відстані від нівеліра до рейок (плечі не більше ніж 40 м) різниця не більше ніж 1 см. Плечі вимірюються наступним чином: на кожному автомобілі встановлений електронний спідометр, з допомогою якого досить легко контролювати рівність плечей; автомобіль з рейкою під'їжджає до автомобіля з нівеліром і збиває показники електронного спідометра на нуль, далі починається нове вимірювання, коли пристрій покаже знову на табло 40 м, реєсник з автомобілем зупиняється. Процес вимірювання виглядає наступним чином: розмішуються автомобілі по черзі, задня рейка, по середині автомобіль з нівеліром та передня рейка, яка також знаходиться на машині. Встановлюють рейки в робоче положення, (рис. 4) з допомогою спеціального пристрою, що знаходиться на автомобілі та сферичним рівнем рейки. Після того як встановили нівелір на штатив та закріпили його, опускають на землю, за допомогою механізму (рис. 5), який встановлений на кузові автомобіля. Коли нівелір з штативом опустили на землю і міцно встановили ніжки штатива, прилад приводиться в робоче положення за допомогою підймальних гвинтів нівеліра по сферичному рівню.



Рис. 5. Механізм для піднімання та опускання приладу

Передня рейка встановлюється по аналогії задньої. Спостерігач бере один відлік по задній рейці, потім по передній і на цьому вимірювання на станції закінчилися. Автомобіль який з задньою рейкою переїжджає вперед і стає передньою, а автомобіль який був з передньою рейкою автоматично стає задньою рейкою, звичайно рівність плеч контролюється, так як описано вище. Середня квадратична похибка нівелювання складає 0,1 – 0,05мм на кілометр подвійного ходу. Різниця нулів рейок вважають близькими до нуля і не враховують. З урахуванням того що нівелір знаходиться на суцільному штативі, візирний промінь проходить над поверхнею на висоті 1,5 – 2м, така технологія дає можливість усунення багатьох джерел похибок і збільшує швидкість роботи. Моторизоване нівелювання I-го класу виконують в прямому та зворотному напрямках.

Рейки калібруються та перевіряються 1-2 рази на рік. В таблиці 1 наведено фрагмент електронного журналу, який фіксується в момент нівелювання.

В порівнянні з класичним методом, вартість виконання робіт знижена на 50%.

Більше 100000 км нівелірних ходів прокладено методом моторизованого нівелювання, і ці результати свідчать, що цей метод залишається ефективним, навіть після 25 років запровадження.

Новітні технології, такі як GPS-технології ще не можуть потужно конкурувати з геометричним нівелюванням. Крім того, в майбутньому, традиційні методи визначення висоти будуть використовуватися і конкурувати на ринку нівелювання по крайній мірі для мереж високих томностей і ще довго будуть забезпечувати задану точність.

Успіх залежить від метрологічної повірки цифрових нівелірів і інварних штрих-кодових рейок.

Компаратори рейок є різних типів: автоматичний та механічний, вони досить різні між собою, але точність визначення штриха забезпечують однаково.

Автоматичний компаратор працює за принципом порівняння штрихів рейки з еталонною, за допомогою цього компаратора ми прикладаємо мінімум зусиль. Механічний компаратор працює за принципом вимірювання ширини штриха і відстані між штрихами, після чого виконують порівняння з допусками.

Автоматичний компаратор (рис. 6) повністю автоматизований та економить час.

Автоматичний компаратор – пристрій для компарування рейки, повністю автоматизований, оснащений електронним термометром, сервомоторами які рухають рейку по всій довжині шахти, також має сенсори, які розташовані по всій її довжині, та забезпечують визначення метрологічних даних.

Беремо штрих-кодову інварну рейку, встановлюємо її в шахту, надійно закріплюємо закріпними гвинтами, за допомогою рівнів встановлюємо її в робоче положення, герметично закриваємо двері компаратора. До цієї шахти підданий ЕОМ, вмикаємо його і обираємо відповідне програмне забезпечення. Обираємо тип і виробника рейки яку ми встановили, тому, що є різні типи рейок програма має знати з яким еталонним зразком потрібно порівнювати. Після запуску компаратора, виконуються такі дії:

– вмикається лазерний випромінювач за допомогою якого ведеться контроль за камерою (рис. 7) та положенням рейки. Лазерний промінь проходить шлях – (5-6-7), таким чином програма контролює положення камери. Промінь (5-5-8) визначає положення рейки і виводить дані на екран ЕОМ;

– камера (9) (рис. 8) закріплена нерухомо, під час руху рейки вона робить рисграфії з розширенням 25px, по всій довжині рейки, робить знімання кожної лінії штриха (рис. 8). Під час фотографування, кожного штриха програма фіксує положення рейки, і метрологічні дані при яких відбувається знімання. Положення рейки вимірюється для того, щоб програма ідентифікувала на якому відрізку рейки було зроблено зображення і порівнювала з еталонною величиною, яка задана в програмі, метрологічні дані вводяться до обрахунків, (тиск, температура, вологість) фіксуються автоматично, потім вводяться поправки відносно вимірювань.



Рис 6. Автоматичний компаратор

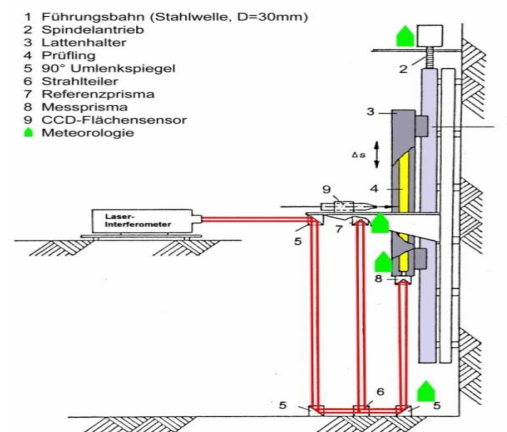


Рис 7. Принцип роботи компаратора

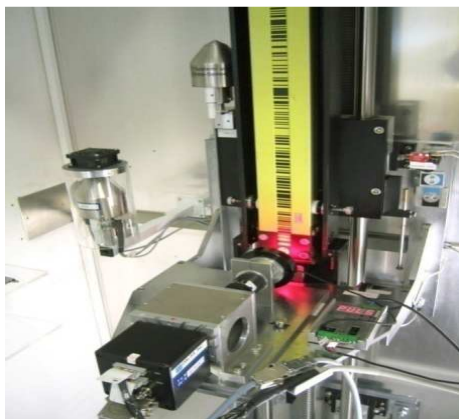


Рис. 8. Камера робить зображення при кожному спалаху червоного світла

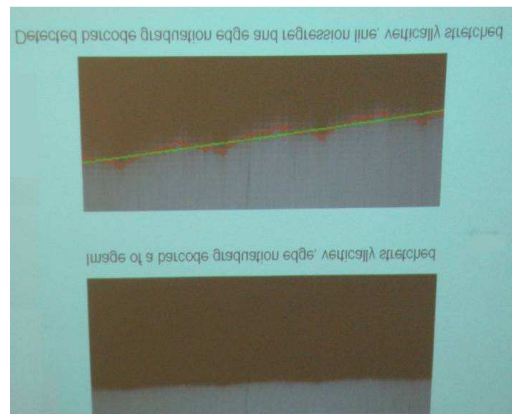


Рис. 9. Зображення, яке фіксує камера

Маючи еталонну величину штриха в базі даних, програма автоматично порівнює її з (рис. 9.) фактичною, і визначає похибку нанесення штриха, чи його спотворення, складає протокол по результатам вимірювань, штрих результати якого не є в допуску, або мають велику різницю з еталонним значенням, такі незадовільні результати програма виводить на екран ЕОМ. Вимірювання виконуються при чотирьох різних температурах, при 0 °C, 10 °C, 20 °C та 30 °C градусах.

Середня квадратична похибка вимірювання штриха становить 0,01мм. Дані вимірювання на автокомпараторі показали, що штрихи нанесені з точністю 0,05 мм. Дослідження штрих-кової рейки проводилося на двох компараторах, перше на авто компараторі, а наступне на механічному компараторі. В автоматичному компараторі вимірювання відбувалося автоматично, а в механічному компараторі ми безпосередньо проводимо компарування. Вставляємо інварну рейку в пристрій (рис. 11), вмикаємо ЕОМ та відповідне програмне забезпечення за допомогою якого ми будемо досліджувати рейку, для визначення похибки нанесення штриха. Рейка підводиться під нульове положення (рис. 10) пристрою (2) за допомогою оптичної осі (1). Вмикаємо прилад (2), лазерний промінь проходить шлях а-в і повертається назад, так як зображено на схемі (рис.10). Таким чином на екрані ЕОМ відображається положення рейки в пристрої, відліки беруть з обох сторін штриха, трьома наведеннями, а потім їх усереднюють, дані вносять до таблиці на ЕОМ, рейку зміщують на відрізок l2 і знову беруть відлік, і так по всій довжині рейки. Відрізок l2 залежить від того, які саме штрихи рейки ми компаруємо, метрові, чи дециметрові. В результаті вимірювань ми отримали таблицю з даними, де можна побачити ширину кожного штриха та відстані між штрихами. Результати ми порівнюємо з допустимими значеннями. По закінченню вимірів отримуємо похибку нанесення штрихів.

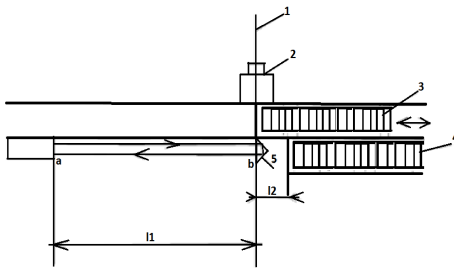


Рис. 10. Принцип роботи механічного компаратора Рис. 11. Встановлення рейки в механічний компаратор

Максимальне відхилення дорівнює 0,05 мм, порівнявши з інструкцією, дані результати є задовільними, рейка придатна до використання в моторизованому нівелюванні I-го класу.

На підставі викладеного можна зробити висновки і пропозиції.

Висновки і перспективи подальшого розвитку. Моторизоване нівелювання є прогресивним і ефективним методом високоточного геометричного нівелювання;

– моторизоване нівелювання виконується майже в два рази швидше і економічніше, порівнюючи з класичними методами знімання;

– більше 100000 км виконано моторизованим нівелюванням в світі та Європі і ці результати показують, що ця методика залишається перспективною, навіть після 25 років запровадження, для точних вимірювань;

– середня квадратична похибка менше 1 мм, навіть при несприятливих умовах;

– покращення умов праці, роблять його фізично легшим;

– збільшення темпів виробництва на 50 % в порівнянні з класичним методом;

– вартість виконання робіт також знижується на 50 %, порівняно з іншими методами.

В найближчі роки в Україні планується розпочати створення нової нівелірної мережі, тому доцільно було б залучити до цієї справи, метод моторизованого нівелювання.

1. *Інструкція по нивелированию I, II, III и IV классов/И 57 Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР.-М.: Недра, 1990-167 с.: ул. ISBN 5-247-02243-2.* 2. http://www.pobonline.com/Articles/Cover_Story/5645f0b5ba0f6010VgnVCM100000f932a8c0 Motorized Leveling Jean-Marie Becker, Mikael Lilje and Per-Ola Eriksson, April 20, 2000. 3. <http://www.pobonline.com/Articles/Features/6f86be768d0f6010VgnVCM100000f932a8c0> Leveling with Four-Wheeled Chariots by Paul J. Hartzheim, PE, Darin J. Henkel and Robert Quandt, May 28, 2003.

