

*Е.В.Моїсеєнко, Донбаський державний технічний університет*

**ВИКОРИСТАННЯ ТРИГОНОМЕТРИЧНОЇ НІВЕЛЯЦІЇ  
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ НАФТОПРОВОДІВ  
НА ТЕРИТОРІЯХ, ЩО ПІДТОПЛЯЮТЬСЯ  
ПРИ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ШАХТ**

Моїсеєнко Е.В.

Використання тригонометричної нівеляції для дослідження стійкості нафтопроводів на територіях, що підтопляються при реструктуризації шахт

Запропоновано метод тригонометричної нівеляції реперів, розташованих по мережі квадратів, для спостереження зсувів земної поверхні на територіях, що підтопляються.

*Ключові слова:* підтоплення територій, нафтопровід, нівеляція геометрична, тригонометрична, репер, мережа квадратів.

Моїсеєнко Е.В.

Использование тригонометрического нивелирования для исследования стойкости нефтепроводов на территориях, которые подтапливаются при реструктуризации шахт.

Предложен метод тригонометрического нивелирования реперов, расположенных по сетке квадратов, для наблюдения сдвигов земной поверхности на территориях, которые подтапливаются.

*Ключевые слова:* подтапливание территорий, нефтепровод, нивелирование геометрическое, тригонометрическое, репер, сетка квадратов.

Сучасний стан земної поверхні на території Луганської області зазнає значні зміни. Причиною тому з'явилася реструктуризація шахт з припиненням відкачування підземних вод. Вихід води на розміщені вище горизонти спровокував процес підтоплення промислових споруд, залізниць, сільгоспугідь, а також схилів балок з перепадом висот до сотень метрів, по яких прокладені нитки нафтопроводів, газоводів і водоводів. У багатьох випадках значна частина вказаних територій раніше підроблялася або підробляється в даний час. Раніше проведені нагляди за зсовуванням гірських порід і земної поверхні в умовах

відкачування води послужили основою для розробки заходів охорони споруд для умов, що існували раніше. Різка зміна фізико-механічних властивостей гірських порід в період підтоплення привела до порушення стійкості споруд, до розриву нафтопроводів, до порушення екологічного стану значних територій. В умовах, що створилися, колишні методи маркшейдерських наглядів за зсувами земної поверхні і стійкістю нафтопроводів виявилися недостатніми. На основі вісімнадцятирічного досвіду наглядів був розроблений, проаналізований і впроваджений метод вдосконаленої тригонометричної нівеляції на перетнутій місцевості по сітці квадратів з використанням високоточних електронних тахеометрів і вдосконаленою методикою обробки результатів з урахуванням рефракції.

Попов В.Н. [1] наводить результати тригонометричної нівеляції при нагляді за опадами пересувних залізничних колій на відвалах, що деформуються, на ділянках їх підйому і спуску при перепаді висот 35-40м. Довжини вимірювалися паралактичним методом з постійним базисом, рівним 24м. Зенітні відстані вимірювалися двома теодолітами Т2 одночасно в прямому і зворотному напрямках по трьох нитках.

Після обробки вимірювань одержано такі результати: середня квадратична помилка паралактичного кута  $0,24 - 0,64''$ , середня квадратична помилка визначення довжин ліній  $0,25 - 1,39\text{мм}$  при довжинах від 70 до 103 м, середня квадратична помилка зенітної відстані  $0,47 - 0,82''$ , середня квадратична помилка перевищення, одержаного з тригонометричної нівеляції,  $0,5 - 2,1\text{ мм}$  при заданій по нормативних документах 5мм. Результати показують, що у важкодоступних місцях тригонометричну нівеляцію коротким промінням можна використовувати спільно з геометричною нівеляцією на горизонтальних ділянках при нагляді за опадами рейкових пересувних шляхів на відвалах, що деформуються, із задовільною точністю без вживання дорогих електронних тахеометрів.

Тригонометрична нівеляція застосовувалася для наглядів за переміщеннями земної поверхні в районі вулкана Толбачик. Автор В.І Каптан [2] відзначає, що на підставі довголітніх досліджень руху земної кори тригонометричною

нівеляцією встановлено, що в гористій місцевості завдяки вживанню особливої методики, точність нівеляції набагато підвищується. Автор відзначає також, що „вона використовується рідко і недостатньо ефективно” . Далі наголошується, що тригонометрична нівеляція „дозволяє одержувати достовірну інформацію про рух земної поверхні”. Проте є цілком переконливі докази ефективності вживання тригонометричної нівеляції із застосуванням точних приладів при вивченні „швидких вертикальних рухів земної поверхні, особливо в районах активного вулкана”. Вертикальні зсуви в таких районах досягають „декількох дециметрів і навіть метрів”. При цьому автор посилається як на вітчизняних дослідників, так і на закордонних [3,4,5,6,7].

Тригонометрична нівеляція з успіхом застосовувалася при дослідженнях на Камчатці [6], в дослідженнях [5,7] і рекомендується офіційно [3]. Точність тригонометричної нівеляції на рівнинній місцевості набагато нижча за геометричну нівеляцію. На цьому наголошують практично всі дослідники [2,7]. Проте, вживання геометричної нівеляції на площинах з кутом падіння  $2 - 8^{\circ}$  різко знижує його точність, збільшується кількість стоянок, погіршуються умови взяття відліків. Відіграє негативну роль і часовий фактор. Якщо тригонометричну нівеляцію можна зняти з 4–5 точок за 1 годину, то геометричним – 2.

Дослідниками Ізотовим А. А. [4] і Граділеком Л. [8] встановлені закономірності зменшення коливань атмосферної рефракції із збільшенням еквівалентних і абсолютних висот лінії візування. Визначений час доби, протягом якого коефіцієнт рефракції змінюється в найменшій мірі. Отже, в період вигідного часу наглядів в гористій і різко перетнутій місцевості визначення вертикальних зсувів тригонометричною нівеляцією може бути проведено „з вищою точністю, ніж на рівнині”. [2]

Гіпотеза про „постійність кута рефракції одного і того ж напрямку від епохи до епохи” була перевірена шляхом статистичного аналізу 298 повних кутів рефракції на трьох геодинамічних полігонах протягом двох, трьох, і чотирьох епох наглядів з інтервалом 14 років. Дослідження показали тісну взаємну кореляцію суміжних за часом значень  $\sigma$ . Результати статистичного аналізу підтвер-

дили можливість визначення довгострокових вулканічних рухів тригонометричною нівеляцією.

Ізотов А. А. запропонував особливу обробку тригонометричних даних – порівнювання різниці повторних вимірювань [4] для визначення рухів земної поверхні. Цей метод був застосований при обробці планових мереж за наслідками тригонометричної нівеляції.

На основі способу порівнювання розроблена методика поетапного аналізу поверхні методом тригонометричної нівеляції з рівною векторною картиною зсувів по декількох групах пунктів: малостійким, середньостійким і взаємностійким. Основою для аналізу є пункти стійкої мережі.

Можна використовувати метод тригонометричної нівеляції і для визначення об'ємних величин зсувів, що дозволяє вирішувати задачі стійкості укосів. Так Каптан В. І. дає рішення задачі об'ємів зсувів по трикутнику з оцінкою точності. Одержані об'єми мас зсувів легко ув'язуються з так званими резервуарами води, над якими йде зсовування. Ці ж об'єми легко пов'язати з об'ємами виїмки вугілля в шахтах.

Ізотов А. А., Каптан В. І., Герасименко М. Д., Граділек Л., Торж В. [3 - 8] зтверджують, що при значних вертикальних переміщеннях, які досягають 0,5 і більше метрів, точність тригонометричної нівеляції на перетнутій місцевості може скласти 5 – 7% в порівнянні з геометричною нівеляцією, де точність повинна бути набагато вищою. Проте таких порівнянь в роботах вказаних авторів немає.

В цілому аналізовані роботи відзначають, що вживання тригонометричної нівеляції для наукових цілей, пов'язаних із зсувами земної поверхні, можливе і дає добрі результати, особливо з погляду динаміки процесу. На думку авторів, вживання актуальних методів наглядів, що дозволяють проводити урівноваження на високому рівні із застосуванням високоточних приладів і вживанням тригонометричної нівеляції, більш економічне за часом.

Хренов Л.С. в статті «Електронно-оптичні прилади» за матеріалами 167-го засідання семінару секції інженерної геодезії і маркшейдерії НТС ГУГК, від-

значає, що доповідь Разумцева С.В. «Применение электронных светодальномеров і тахеометрів при геодезичних измерениях» була розглянута і схвалена. Світлодалекоміри (на 1991г) СТ-5, МДГМ, Та-3, Ренота, Рета, Геодіметр 14А забезпечують точність вимірювання довжин 1 – 10мм. Ці тахеометри широко вживаються для створення планово-висотної основи для кар'єрів (Діковенко В.І., Гавріленко Ю. До.), для наглядів за деформаціями споруд. За останні 15 – 20 років іноземні фірми випустили ряд тахеометрів з високою продуктивністю і точністю вимірювання горизонтальних, вертикальних кутів, відстаней і перевищень.

Калучин Ю.В. [9] зтверджує, що в практиці тригонометричної нівеляції коротким промінням (до 100м) вимірювати відстані світлодалекомірами, на які вказує Хренов Л. З. – нерентабельно. В цих випадках відстані зручно визначати по вертикальному базису. По зміряних зенітних відстанях можна обчислювати перевищення. Погрішність вимірювання відстані залежить, як від величини і точності вимірювання базису, так і від величини зенітних відстаней і точності їх вимірювання. Автором встановлено, що помилка визначення довжин (при базисі 2,5 м, при вимірюванні зенітної відстані з помилкою  $m_{ДЖ}=2''$  і при погрішності відліку  $m_v = 0,05$ ) складає приблизно 2-4 мм. Автор зтверджує, що тригонометричну нівеляцію з використанням вертикального базису можна ширше застосовувати в геодезичних роботах.

Аналогічних висновків дійшов і болгарський геодезист Дімітров Р., використовуючи вертикальну базу при визначенні відстані і перевищення [10].

Автори Гайрабеков І. Р., Сианісян З. З., Абрамова М. Е. [11], на підставі робіт на чечено-ингушському геодинамічному полігоні встановили, що вплив рефракції тим сильніше, чим більше перевищення по секції, проте воно практично виключається при нівеляції замкнутих полігонів. Найсприятливішим часом наглядів автори вважають до 11 годин і з 16 годин. Оптимальної, при незначному впливі рефракції приблизно 1 мм, є довжина візирного променя до 50м. Поправки за рефракцію визначають по спеціальних формулах з урахуванням довжини плеча, температури. Зтверджують, що спеціальні польові вимірювання

робити не треба, проте, при довжині променя більше 50м, таке зтвердження некоректне.

На основі огляду літературних джерел можна дійти таких висновків:

1. При наглядах за зсувами земної поверхні на перетнутій місцевості, метод тригонометричної нівеляції дає порівняно високі по точності результати, він економічний в часі і потребує менших витрат праці.

2. При удосконаленні методик наглядів можливе підвищення точності, одержуваних результатів визначення відносних зсувів реперів.

3. Метод тригонометричної нівеляції дозволяє застосовувати високоточні електронні прилади, а також вертикальні базисні рейки.

4. Проведення додаткових вимірювань дозволяє врахувати вплив атмосферних умов і рефракцій на результати.

Ці висновки надали можливість зробити постанову задачі даної роботи наступним чином.

Нафтопровід є складною конструктивною спорудою з окремих відрізків труб завдовжки від 500 до 1200 м і діаметром 600 -1200 мм, діаметр стінок до 15мм. Труби, що складають ділянку, зварені під різними кутами, залежно від планових поворотів. Вертикальна амплітуда за профілем досягає 40 – 80 м. Одночасно прямолінійна ділянка зварених труб може знаходитися як на синклінальній, так і на висоті антиклінальної складки. Окрім цього, ця ж ділянка може проходити як на території, що підробляється, так і на тій, що не підробляється. Просідання земної поверхні над гірськими роботами, зсуви по складках небезпечних ділянок, попадання в цілому всієї нитки нафтопроводу під вплив підтоплення, приводить до руйнування трубопроводу. За останні 20 років на ділянці Лисичанськ – Росія було 4 великих руйнування: над гірськими роботами шахти Тошковська, руйнування без розливу нафти над гірськими роботами шахти Ворошиловська і над гірськими роботами м. Краснодону. Всі розриви проходили по крайових частинах мульди зсовування практично біля кордонів шахтного поля, тобто на контакті з бар'єрним ціликом між шахтами. В трьох з чотирьох випадках розриви відбувалися на крилах антиклінальних складок.

Протягом восьми років на шести ділянках нафтопроводу Лисичанськ – Росія і на трьох ділянках Лисичанськ – Кременчук проводилися нагляди геометричною нівеляцією за стійкістю земної поверхні і укосів. Відстань між реперами прийнята 30 м. На окремих ділянках по балках між двома реперами проводилися три установки штатива. Аналіз точності показав, що середньоквадратична помилка передачі відмітки або визначення перевищення складає 3,75 мм. Особливо несприятливі умови при вітрі і вітряному сонці. Як завжди по балках є значна трав'яна рослинність заввишки до 0,45 – 0,55 м, що зменшує обзорність рейок.

Під керівництвом докт. техн. наук Буянова А. Д. науковий колектив кафедри маркшейдерії ДонГТУ, м. Алчевська провів обстеження 175 км траси нафтопроводу, дав аналіз геологічного, тектонічного і стратиграфічного складу порід, а також сучасних гідрогеологічних процесів. Додатково намічено п'ять особливо небезпечних місць по трасі, як підроблених гірськими роботами, так і водозаборами. Встановлено, що вживана маркшейдерською службою методика визначення деформацій земної поверхні по лініях реперів по простяганню і по падінню не відображає дійсного стану процесу зсовування, особливо на перетнутій місцевості і в крайовій частині мульди зсовування.

Виходячи з вищевикладеного і з огляду літератури, ставиться наукова задача розробки принципово нової як схеми нагляду, так і методики нагляду різними приладами з урахуванням рефракції. Як початковий повинен бути прийнятий метод розрахунку перевищень і їх аналіз.

Вище було відзначено [1, 2, 5], що в певних умовах тригонометрична нівеляція по точності не поступається геометричній нівеляції. Для цього необхідно створити цілий комплекс або механізм, що сприяє отриманню достовірних початкових даних в полі. Сприяючим цьому є рельєф по трасі нафтопроводу саме в тих місцях, де необхідно проводити дослідження. В більшості випадків по трасі межами розробок є ослаблені зони в масиві, викликані певними тектонічними явищами. На поверхні такі ослаблення виявляються у вигляді балок, через які проходить нафтопровід. Це сприяє тому, що небезпечна ділянка на

одному схилі спостерігається з протилежного, незачепленого процесом зсування від підземних робіт. Тому пропонується для нагляду декілька схем.

Схема 1. На небезпечному схилі закладається площадкова наглядова станція з відстанню між реперами 30 – 50 м. Залежно від розмірів укусу це буде ділянка від 250 x 250 до 400 x 350 м, що в цілому складе станцію від 25 до 50 реперів. Кожний репер закладається відповідно до існуючих вимог. Виходячи з досвіду, по неорних і не сінокісних схилах закладка робочих реперів спрощується. Для цього використовуються кути, металеві штирі і дерев'яні коли завдовжки до 60 м, забивні, не бетоновані. Кутіві репери всіх квадратів і базовий репер на вершині іншого, протилежного схилу бетонуються, глибина закладки 1,1 м, нижче за рівень промерзання. По цій схемі нагляди ведуться з установкою приладів на базовий репер, а на робочі репера встановлюють або відбивачі при зйомці електронними тахеометрами, або базові рейки, при зйомці довжин і зенітних відстаней теодолітом 2Т2. При цьому методом тригонометричної нівеляції знімаються тільки контурні репери, а методом геометричної нівеляції – репери по горизонтальних лініях. Всі роботи проводяться двічі. Для виключення впливу рефракції проводять відповідні визначення між кутівими точками і базовою точкою. Обробка проводиться по формулах тригонометричної і геометричної нівеляції з урівноваженням по контуру і по горизонтальних лініях сітки квадратів. Така схема прийнятна в тому випадку, якщо є можливість застосувати геометричну нівеляцію.

Схема 2. Відмінність другої схеми від першої полягає в тому, що на протилежному схилі закладаються два опорні репери, оскільки конфігурація поверхні, що зсувається, в крайовій частині мульди скрутна для обхвату наглядами всіх кутівих точок квадратів і лінія квадратів витягнута уздовж меж мульди зсування. Тоді нагляди ведуться з двох опорних реперів з включенням додаткових середніх реперів по верхній і нижній лінії квадратів. При нагоді нагляди ведуться за повною програмою з кожного репера з нівеляцією реперів по горизонтальних лініях або тригонометричним або геометричним способом. Обробка



результатів ведеться з двох базових реперів з використанням терезів, що відображають відстані від базових реперів до реперів на сітці квадратів.

*Схема 3.* Особливістю цієї схеми є схема квадратів, витягнута по межі мультуди зсування з урахуванням активізації процесу зсування від сусідніх лав і наявності другої нитки нафтопроводу, прокладеної на відстані до 150 м від першої. В даному випадку нагляди ведуться з трьох базових реперів з обробкою наглядів як трьох складових: по схемі 1, як двох квадратів, що становлять контур всієї площадкової станції, по схемі 2 або по схемі 3, як складна система з різним терезами і з усереднюванням результатів.

До теперішнього часу проведені випробування схеми 1 з однієї стоянки. Вимірювання відстаней і перевищень проводилося електронним тахеометром на 1 і 3 відбивача. Вимірювання проводилися тільки по верхній кромці укусу із станції на протилежному березі однієї із заток водосховища з метою визначення переміщень берегової лінії, розташованої по одному із сторін ослабленої зони тектонічного порушення. Між кінцевими реперами прокладений нівелірний хід. Різниця між відмітками кінцевих реперів двома способами склала 3,6 см, що говорить про те, що методику вимірювань необхідно удосконалювати.

### Література

1. **Попов В.Н.** Наблюдения за осадками железнодорожных путей на деформируемых отвалах. // Геодезия и картография. - 1990. -, №11. – с.9.

2. **Кафтан В.И.** Анализ тригонометрического нивелирования в районе вулкана Толбачек // Геодезия и картография. №1, 1991, ГУГК и ВОТАК, с. 32 – 36.

3. **Геодезические методы** изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах: Метод. руков. – М.: изд. ЦНИИГА и К, 1985, - 113с.

4. **Изотов А.А., Пеллинек Л.П.** Исследование земной рефракции и методы геодезического нивелирования. // Тр. ЦНИИГА и К. – 1955. – Вып. 102. – 176 с.

5. **Torge W.** / Regional local vertical crystal movements in Northern Iceland, 1965 – 1980 // Journal of geophysical research. – 1985. - Vol. 90, NB 12/ - P/ 10.173 – 10.177/

6. **The study of deformations** of the earth's surface on Kamchatka Peninsular by repeated geodetic measurements / S.A. Fedotov, S.B. Zolotarskaya, M.A. Maquskin et al // Journal of geodynamics. – 1988/ - Vol. 9. N 2 – 4. – P. 237.

7. **Bjornsson A.** Dynamics of crustal rifting in NE Iceland. // Journal of geophysical research/ - 1985/ - Vol. 90, NB 12 – P. 10.151 – 10.162.

8. **Hrdilek L.** Three – dimensional terrestrial triangulation. Stuttgart Konrad Wittewerlag. - 1986. - 250 p.

9. **Калугин Ю.В.** О точности расстояний по вертикальному базису. // Известия ВУЗ. Геодезия и аэросъемка. М.: МИИГА и К, №2, 1984г. – с. 35 – 39.

10. **Димитров Г.** Върху няком грешки при параллактическом определении на къси расстояния и превышения с вертикална база. – Геод. Картограф. Землеустройство, 1975, 15, №4 – С. 17 – 19.

11. **Гайрабеков И.Г., Сианисян С.С. , Абрамова М.Е.** Учет влияния рефракции при нивелировании на геодинимических полигонах // Геодезия и картография, №9. – 10, Геодиздат, 1992. – С. 24 – 26.

Moyseenko E.V.

Use of the trigonometric leveling for research of firmness of oil pipelines on territories which sinking during restructuring of mines.

The method of the trigonometric leveling of reper located on the net of squares is offered, for the supervision of changes of earthly surface on territories which sinking.

*Key words:* sinking of territories, oil pipeline, leveling is geometrical, trigonometric, reper, net of squares.

Відомості про автора

*Моїсеєнко Олена Володимирівна* – асистент кафедри "Автоматизоване керування технологічними процесами паливно-енергетичного комплексу" Донбаського державного технічного університету.