

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра інженерної геодезії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

«Методика застосування зворотної лінійно-кутової засічки для оцінки
стабільності пунктів знімальних геодезичних мереж» .

Поставець Олександр Олексійович

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра інженерної геодезії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Дем'яненко Р.А.

“ ___ ” _____ 20__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

«Методика застосування зворотної лінійно-кутової засічки для оцінки стабільності пунктів знімальних геодезичних мереж»

Виконав студент групи зГД-61 м
спеціальність 193 – «Геодезія та
землеустрій»

спеціалізація «Геодезія»

Поставець Олександр Олексійович

Керівник: к.т.н., доц. Медведський Ю.В.

Ідентичність підтверджую

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Інженерної геодезії

Освітній рівень: «магістр за ОПП/ОНП»

Спеціальність: 193 – «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: «Геодезія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

Нестеренко О.В.

“ ___ ” _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Поставець Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи «Методика застосування зворотної лінійно-кутової засічки для оцінки стабільності пунктів знімальних геодезичних мереж»
затверджена наказом ректора КНУБА № 2529/2 від “ 24 ” жовтня 2023 року.
2. Керівник роботи: к.т.н., доцент Медведський Юрій Вікторович

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту: _____
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

- Р. 1. Знімальні геодезичні мережі, методи спостереження за стабільністю пунктів
- Р. 2. Застосування методики для оцінки стабільності геодезичних пунктів.
- Р. 3. Дослідження стабільності пунктів знімальної геодезичної мережі зворотною лінійно-кутовою засічкою
5. Графічний матеріал за розділами:
- Р. 1. Приклади та схеми знімальних геодезичних мереж

Р. 2. Теорія методу зворотної лінійно-кутової засічки, схема пунктів знімальної мережі, програма спостережень для оцінки стабільності пунктів, конструкція пересувного відбивача

Р. 3 Графіки та таблиці результатів експериментів.

6. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина;
б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1.	до 06.11.2023
Розділ 2.	до 13.11.2023
Розділ 3.	до 20.11.2023
Розділ 4.	до 27.11.2023
Остаточне оформлення роботи	до 29.11.2023
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	до 01.12.2023
Попередній захист роботи на кафедрі	до 07.12.2023

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			

8. Дата видачі завдання: _____

Зав. кафедри

(підпис)

Р.А. Дем'яненко
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ю.В. Медведський
(прізвище та ініціали)

Студент

(підпис)

О.О. Поставець
(прізвище та ініціали)

GISUT KNUCA 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. Знімальні геодезичні мережі, методи спостереження за стабільністю пунктів	9
1.1 Призначення, види й особливості побудови опорних інженерно-геодезичних мереж	9
1.2 Знімальні геодезичні мережі, вимоги до точності та особливості застосування	14
1.3 Аналіз методів спостереження за стабільністю пунктів знімальних геодезичних мереж	17
2. Застосування методики для оцінки стабільності геодезичних пунктів	20
2.1 Теорія методу зворотної лінійно-кутової засічки	20
2.2 Визначення конфігурації пунктів знімальної геодезичної мережі	23
2.3 Вибір геодезичного обладнання та відбивачів на пунктах мережі	26
2.4 Програма спостережень для оцінки стабільності пунктів мережі	28
3. Дослідження стабільності пунктів знімальної геодезичної мережі зворотною лінійно-кутовою засічкою	30
3.1 Вимірювання за першим методом	30
3.1.1 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 2 мм	30
3.1.2 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5 мм	32
3.1.3 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 10 мм	34
3.2 Вимірювання другим методом	36
3.2.1 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 2 мм	36
3.2.2 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 2 мм в двох площинах	38
3.2.3 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 5 мм двома різними тахеометрами	40
3.2.4 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 5 мм в двох площинах двома різними тахеометрами	43

3.2.5 Вимірювання на призмий відбивач із зсувом 2 мм	46
3.2.6 Вимірювання на призмий відбивач із зсувом 5 мм в двох площинах	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТКИ	55

GISUT KNUCA 2023

ВСТУП

На даний момент, незважаючи на широке застосування електронних тахеометрів, їхній потенціал, закладений розробниками, реалізується не в повному обсязі. У більшому ступені це стосується виконання інженерно-геодезичних робіт та моніторингу планово-висотних деформацій. Значний запас точності та алгоритми обчислень електронного тахеометра дозволяють реалізовувати деформаційний моніторинг за схемою зворотного лінійно-кутового засікання, що значно заощаджує час та витрати на виконання робіт.

Основою інженерно-геодезичних робіт є стабільна та надійна вихідна геодезична мережа. Особливо це важливо на будівельних майданчиках, де необхідно з високою точністю проводити винесення осей, вести виконавчі зйомки та визначати величини деформацій [1]. Найчастіше у таких випадках використовують мережу з умовною системою координат, основні пункти якої розміщені на незначній відстані від об'єкта робіт. Ці пункти використовуються як вихідні для моніторингу деформацій у сучасному геодезичному виробництві [2–4].

Класичні технології визначення стабільності пунктів деформаційної геодезичної мережі, побудовані на високоточних теодолітах і нівелірах, що застосовуються в геодезичному виробництві, добре відомі та докладно описані в керівних документах з моніторингу деформацій [5, 6]. Спеціальні автоматичні системи моніторингу доцільно застосовувати лише за високої періодичності спостережень [7]. Однак, вони мають істотні недоліки: великі трудовитрати на польові роботи і складність постобробки результатів. В умовах широкого впровадження у виробництво електронних тахеометрів з'являється можливість більш ефективного розв'язання задачі. А саме – застосуванням зворотних лінійно-кутових засічок виконувати не лише моніторинг споруди, а й оцінку стабільності опорної геодезичної мережі

Актуальність теми: методика застосування зворотної лінійно-кутової засічки для оцінки стабільності пунктів знімальних геодезичних мереж є актуальною та має наукову новизну. Ця методика дозволяє визначити

стабільність пунктів знімальних геодезичних мереж, що є важливим етапом при побудові точних знімальних мереж. Застосування зворотної лінійно-кутової засічки дозволяє визначити точні координати пунктів знімальних геодезичних мереж, що є важливим етапом при побудові точних знімальних мереж. Ця методика є новою та має великий потенціал для практичного застосування в геодезії.

Об'єкт дослідження: методики визначення деформації пунктів знімальної геодезичної мережі.

Предмет дослідження: лінійно-кутова засічка

Метою роботи є визначення можливостей застосування лінійно-кутової засічки для визначення стабільності пунктів знімальної мережі

При вирішенні поставленої задачі запропоновано застосувати методику поступового зсуву точок знімальної мережі на заздалегідь визначену величину та знаходження .

В якості вихідних матеріалів для роботи використано спостереження на підготовленому полігоні, виконані за програмою, що описана в третьому розділі роботи.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у визначенні математичних залежностей між рухом точок знімальної основи як у плані так і по висоті, при застосуванні плівкових відбивачів та призмових відбивачів.

Практична цінність методики полягає в тому, що вона може бути легко застосована на будівництві без створення додаткових геометричних побудов та проведення великої кількості спостережень.

РОЗДІЛ 1. ЗНІМАЛЬНІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ, МЕТОДИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАБІЛЬНІСТЮ ПУНКТІВ.

1.1 Призначення, види й особливості побудови опорних інженерно-геодезичних мереж

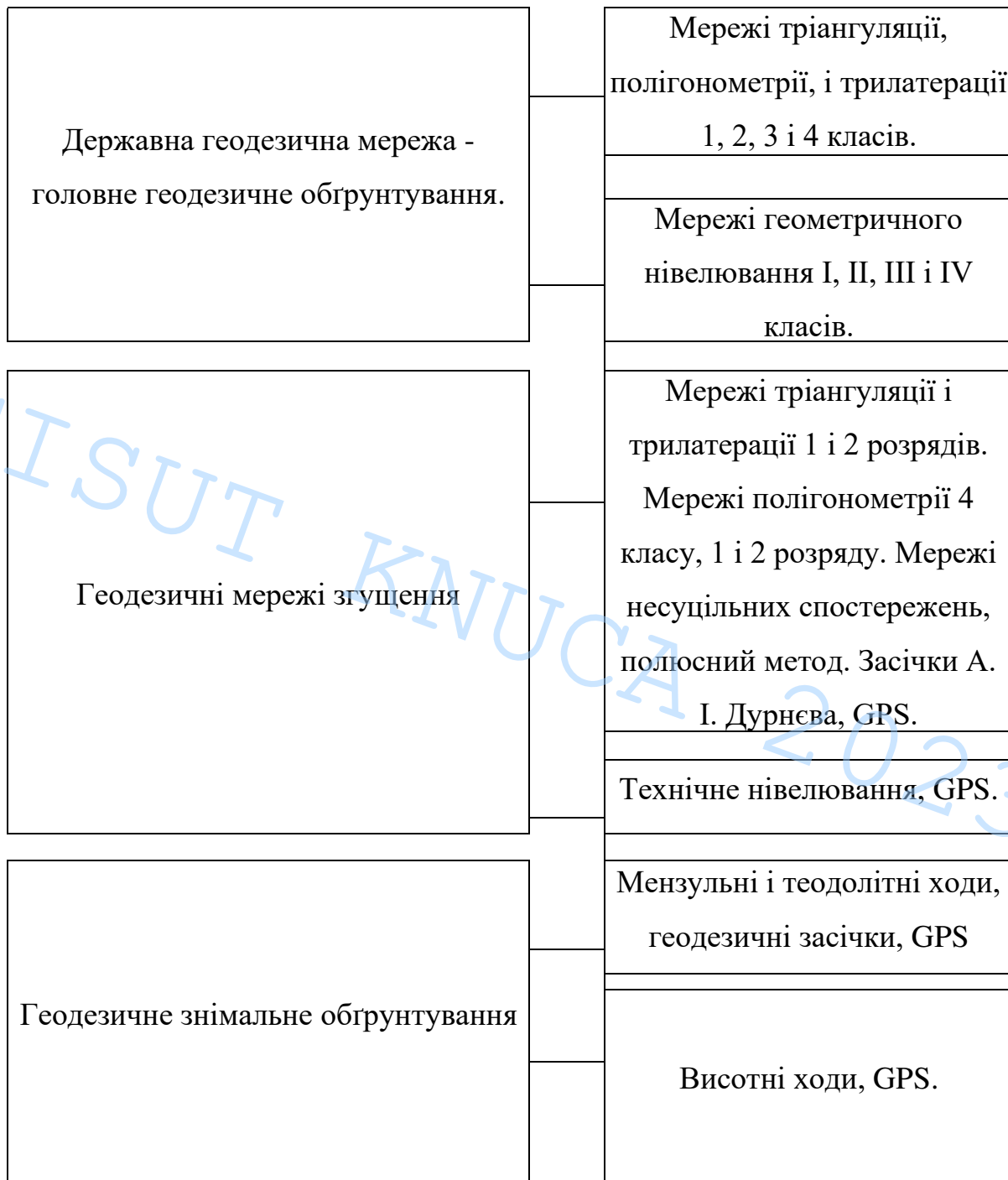


Рис.1. Види геодезичних мереж

Державна геодезична мережа (ДГМ) – це державна геодезична референтна система координат УСК-2000 і загальна система координат. До цієї системи входить: українська перманентна мережа (УПМ) глобальної навігаційної

супутникової системи (ГНСС); геодезична мережа 1 та 2 класів і геодезична мережа згущення 3 класу.

УПМ ГНСС – один із сегментів міжнародної координатної системи ITRS/TTRF2000, яка призначена для підтримки загальноземної системи координат, вивчення фігури Землі, геодинаміки, моніторингу рівня морів тощо.

До мережі УПМ входить 26 періодичних та постійно діючих станцій, розташованих у містах Ужгороді, Львові, Києві, Полтаві, Миколаєві, Семеїзі, Харкові, Євпаторії, Алчевську, Шацьку та інших містах, які покривають всю територію України через 150 км. Це дає змогу визначати положення пунктів і точок інженерно-геодезичних робіт кінематичним методом у режимі RTK.

УПМ функціонує в рамках державної геодезичної мережі та розвивається відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 22 грудня 1999 р. № 2359 “Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84”. УПМ та геодезична мережа 1 класу є просторовими побудовами, координати їх пунктів визначаються винятково супутниковими геодезичними методами.

За основу УСК-2000 прийнято:

– поверхню відліку референц-еліпсоїда Красовського з параметрами: велика піввісь – 6378245 м, стиснення – 1/298,3 (у міжнародному еліпсоїді WGS-84 вони дорівнюють відповідно

6378137,0 м та 1/298,257223563);

– масштаб, що дорівнює масштабу системи ITRS/TTRF2000;
– осі координат паралельні осям системи ITRS/TTRF;
– центр системи координат, якому відповідає мінімальне відхилення поверхні референц-еліпсоїда від реальної поверхні Землі на території України.

Геодезична мережа 1 класу включає 815 геодезичних пунктів, віддалених один від одного на відстані 20 – 30 км. Їх планове і висотне положення визначено із супутникових спостережень з середніми квадратичними похибками (СКП) 15 – 20 мм.

Геодезичну мережу 2 класу складає 5630 пунктів, віддалених один від одного на відстані 8 – 12 км. Їх планове положення визначено із супутникових геодезичних спостережень та лінійнокутових вимірювань із СКП не більше 30 мм.

Геодезична мережа згущення 3 класу нараховує 10330 пунктів, побудована методом супутникових спостережень та лінійно-кутових вимірювань, СКП визначення координат не перевищує 32 мм. Така точність характерна і для пунктів 4 класу, координати яких отримано за результатами зрівноваження координат старих пунктів триангуляції як вставок їх у нову ДГМ.

Положення пунктів ДГМ визначаються в системах координат:

- просторових прямокутних X, Y, Z (вісь Z збігається з віссю обертання референт-еліпсоїда, вісь X лежить у площині нульового меридіана (Гринвіцького), вісь Y спрямована праворуч); X і Y лежать у площині екватора).
- геодезичних (еліпсоїдальних): B – геодезична широта, L – геодезична довгота, H – геодезична висота.
- плоских прямокутних X і Y , які обчислюються в проекції Гаусса-Крюгера.

Щільність пунктів ДГМ усіх класів становить приблизно 1 пункт на 33 км². У містах та промислових районах вона вища, щоб забезпечити умови для забудови на їх основі місцевих геодезичних мереж за вимогами Інструкції [5].

Геодезичні вимірювання сторін і кутів державної геодезичної мережі вищих класів ведуть на фізичній поверхні Землі та відносять (редукують) на поверхню референц-еліпсоїда.

Для правильної організації усіх видів геодезичних робіт створюються опорні планові інженерно-геодезичні мережі, пункти яких зберігають координати на території проведення цих робіт.

До опорної геодезичної мережі належить мережа заданого класу точності, яка є основою для подальшої побудови розмічувальних мереж будівельного майданчика.

При цьому опорна геодезична мережа створюється виключно у вигляді замкнених геометричних фігур та прив'язується не менше ніж до трьох пунктів ДГМ або однаковою за точністю опорної геодезичної мережі.

При використанні одночастотних приймачів довжина векторів не повинна перевищувати 20, двочастотних – 50 км. Кут відсічки супутників – не менше ніж 150, інтервал вимірювань – 1, 5, 10, 15 с.

На кожен пункт опорної мережі складається абрис із визначенням віддалі до багатопверхової забудови та деревної рослинності.

Планове положення пунктів опорної геодезичної мережі визначається, як правило, супутниковими (ГНСС) методами [2].

При зрівнюванні замкнених геометричних фігур гранична лінійна похибка не повинна перевищувати $1:20000$, а висотна нев'язка не повинна перевищувати $20 L$, мм, де L – довжина замкненої фігури в км.

Опорні планові геодезичні мережі на будівельних ділянках або на поверхні гірничого підприємства мають ряд характерних особливостей:

- мережі часто створюються в умовній системі координат із прив'язкою до державної системи координат;
- форма мережі визначається територією, що обслуговується або формою об'єктів, групи об'єктів;
- мережі мають обмежені розміри, часто з незначною кількістю фігур або полігонів;
- короткими довжинами сторін;
- до пунктів мережі ставляться підвищені вимоги щодо стабільності положення в складних умовах їх експлуатації; – несприятливі умови спостереження.

Особливості, пов'язані з цільовим призначенням мереж, властиві мережам, створюваним для гідротехнічного будівництва, для будівництва мостів, тунелів різного призначення, прецизійних споруд. Наприклад, при будівництві гребель

значної висоти у вузьких долинах виникає необхідність побудови багатоярусної мережі.

При створенні мережі для будівництва мостового переходу важко вести вимірювання вздовж берегів. Будівництво тунелів і деяких видів прецизійних споруд висуває підвищені вимоги до точності побудов лише за одним певним напрямком.

Наведені вище вимоги визначають вид опорних мереж по конфігурації і за точністю їх побудови. Вибір схеми побудови залежить від призначення мережі, типу об'єкта, його форми і займаної площі, фізико-географічних умов, необхідної точності, а також від наявності у виконавця вимірювальних геодезичних приладів [11].

Так, розрядні мережі згущення триангуляції і трилатерації застосовують на невеликих об'єктах, де потрібна висока точність. Полігонометричні мережі прокладають на закритій або забудованій території, а лінійно-кутові – проектують при створенні мереж підвищеної точності. Розмічувальні мережі в основному розвивають на промислових майданчиках.

Залежно від площі майбутнього об'єкта і з урахуванням технології будівництва геодезичні опорні мережі будують декількома послідовними ступенями (рівнями). При цьому можливі сполучення різних видів побудов. Наприклад, для знімальних і розмічувальних робіт лінійно-кутові мережі можуть бути геодезичною основою для подальшого згущення полігонометричними і теодолітними ходами. Розвиток вимірювальних засобів багато в чому визначає вибір методів побудови мереж. Широке впровадження електронних тахеометрів привело до того, що лінійно-кутові мережі та полігонометрію використовують частіше.

Опорна нівелірна геодезична мережа (висотна основа) створюється, як правило, методом геометричного нівелювання у вигляді одиночних ходів або систем ходів і полігонів, прокладених між вихідними реперами [6].

Висотна основа використовуються при великомасштабних зніманнях з мінімальною висотою перетину рельєфу (0,5 іноді 0,25 м), а також при вертикальному плануванні території і розмічувальних роботах. На будівельних майданчиках висотну основу часто розвивають нівелюванням III і IV класів.

1.2 Знімальні геодезичні мережі, вимоги до точності та особливості застосування.

Знімальна геодезична мережа розвивається від пунктів державної та опорної геодезичних мереж. Точки знімальної геодезичної мережі закріплюються, як правило, тимчасовими знаками. Центри люків колодязів при необхідності використовуються точки постійного знімального обґрунтування [6]. Загальна щільність опорної та знімальної геодезичних мереж складає не менше ніж 4, 12, 16, 20 пунктів на 1 км² для знімань у масштабах відповідно 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Знімальна (планово-висотна) геодезична мережа створюється, як правило, із застосуванням супутникових ГНСС технологій, прокладанням теодолітних ходів з використанням електронних тахеометрів, методами тріангуляції, прямими, оберненими та комбінованими засічками або поєднанням цих методів, прокладанням ходів геометричного та тригонометричного нівелювання, а також супутниковим нівелюванням. Граничні похибки при створенні знімальної мережі теодолітними ходами не повинні перевищувати подвоєних середніх квадратичних похибок. Допустимі середні квадратичні похибки визначення координат пунктів планової знімальної мережі відносно пунктів опорної геодезичної мережі не повинні перевищувати величин, наведених в табл. 1 [6].

Таблиця 1. Характеристика планової знімальної мережі

Масштаб топографічного знімання	Середні квадратичні похибки координат пунктів знімальної мережі на місцевості, м	
	забудованій	вкритій заростями
1:5000	0,50	0,75
1:2000	0,25	0,35
1:1000	0,12	0,20
1:500	0,07	0,10
1:200	0,03	-

Розвиток планово-висотної знімальної мережі з використанням електронних тахеометрів або ГНСС-технологій виконується одночасно з тахеометричним зніманням. Знімальна геодезична мережа з використанням ГНСС створюється статичним методом з постобробкою або RTK-методом (в реальному часі).

Таблиця 2. Методи створення опорних геодезичних мереж



При проектуванні інженерно-геодезичних мереж, виходячи із призначення робіт, виду й площі об'єкта, необхідно вирішити наступні основні завдання:

- з'ясувати вихідні вимоги до точності побудови мережі;
- визначити кількість щаблів розвитку мережі;
- вибрати для кожного рівня вид побудови мережі;
- призначити загальні вимоги до точності побудови мережі на кожному щаблі;

- знайти необхідну точність окремих видів вимірів на кожній сходинці побудови мережі.

Ці завдання можуть бути вирішені двома шляхами.

Перший шлях. Виходячи з умов проектування, визначають конкретний вид мережі й вибирають клас її побудови. Для вибраного класу мережі існують геометричні й точності параметри, обумовлені нормативними документами. Керуючись ними, розробляють проект і виконують його оцінку. Результат позначки по яких-небудь кінцевих параметрах рівняються із заданими або нормативними й робляться відповідні виводи. Далі вибираються рекомендовані інструкціями методи й засоби вимірів. Такий принцип рішення звичайно застосовують при проектуванні опорних мереж для виробництва крупно масштабних топографічних зйомок і виносу в природу основних осей будинків і споруд при будівництві населених пунктів.

Другий шлях. Для опорних мереж спеціального призначення проектування й розрахунок точності ведуться, керуючись призначенням мережі; задаються або розраховуються вихідні точності вимоги. Виходячи з необхідної щільності й можливих місць розташування пунктів, проектується схема побудови мережі. При цьому можна керуватися геометричними параметрами, приблизно відповідними певному класу. Далі на основі розрахунків визначається дійсний клас побудов для кожного рівня розвитку мережі. Так само на основі розрахунків визначається методика й вибираються засоби вимірів на кожному рівні.

1.3. Аналіз методів спостереження за стабільністю пунктів знімальних геодезичних мереж

В роботі [18] проведено короткий огляд основних методів моніторингу.

Прямі методи засновані на безпосередньому вимірі величин зсуву, опади або нахилу споруди, до них відносяться:

1. Метод високоточного нівелювання. Заснований на проходженні нівелірного ходу через марки, закріплені на першому поверсі споруди, що зводиться і дозволяє визначити її осадку.

2. Метод лінійно-кутових вимірів. Заснований на використанні звичайних або роботизованих тахеометрів у парі із спеціальними відбивачами, які закріплені по всій довжині споруди. З метою визначення крену по двох його осях, мають дві лінії відбивачів у взаємно перпендикулярних площинах. Від пунктів зовнішньої геодезичної основи визначають координати відбивачів, зміна яких між циклами характеризують зміну геометрії споруди.

3. Метод лазерного сканування. Заснований на складанні поверхні за результатами вимірювань лазерним сканером та пошуком зміщення між поверхнями у різних циклах спостереження.

4. Метод супутникової навігації. Заснований на спостереженнях за усуненням монтажного горизонту за результатами вимірювання координат GNSS приймача, який працює у статичному або мережевому режимі. Координати визначають від пари опорних пунктів геодезичної мережі, на яких розташовані приймачі GNSS або від віртуальних станцій у разі застосування мережного режиму.

5. Фотограмметричний метод. Заснований на отриманні пар зображень, із заданим відсотком поздовжнього та поперечного перекриття, на підставі яких можливо отримати стереозображення та зробити наступну зшивку в одне цільне зображення або побудувати модель об'єкта. За різницею моделей або усунення меж споруди між циклами визначають його крен і прогин. Для усунення проєкційних спотворень споруді можуть бути розташовані контрольні марки,

координати яких визначають з допомогою тахеометра. Фотографування може бути виконане як з пунктів геодезичної мережі метричними камерами, так і з вільних станцій не метричними камерами.

6. Відеовимірвальний метод. Метод, що ґрунтується на обробці відеопотоку від неметричної камери, у полі зору якої знаходиться контрольна Містобудування та територіальне планування 247 марка на споруді. При построговому аналізі відеопотоку відбувається визначення центру контрольної марки, із різниці між циклами визначають її планове зміщення. При достатній кількості контрольних марок та камер на споруді дозволяє з високою точністю визначати крен та кручення споруди.

7. Відеогідростатичний метод. Метод, заснований на вимірі рівня рідини за допомогою провідної системи. Ця система - є системою рівнів, розташованих на фундаменті споруди із закріпленими датчиками в характерних точках фундаменту. У датчиках розташована камера, яка отримує відбите зображення системи світлодіодів від поверхні рідини. При зміні кута нахилу рідини відображене зображення зміститься, визначаючи зміщення між першим і наступними зображеннями можна отримати зсув кожної характерної точки фундаменту. Даний метод дозволяє визначати нахил фундаменту та нерівномірність осідання.

8. Метод зворотних схилів . Заснований на використанні тонкого сталевого дроту, який закріплюють у основі споруди (у корінних породах), а рухливу частину направляють вгору, де створюють натяг за допомогою «поплавця». Струна розташована в трубі для того, щоб мати можливість зафіксувати струну при перенесенні поплавця на новий монтажний горизонт. Також передбачена координатна палетка для визначення зміщення споруди від початкового положення. Даний метод дозволяє визначати нахил споруди та її кручення.

9. Метод побудови вертикалі ПВП. Заснований на використанні вертикального променя, створеного за допомогою приладу вертикального проектування та визначення зміщення точки, що проектується, на координатну палетку протягом часу. Дозволяє визначати крен споруди та її кручення.

Непрямі методи засновані на використанні зовнішніх датчиків, які дозволяють визначати силу впливу зовнішніх факторів, наприклад силу вітру, температуру, вологість, і на підставі моделі поведінки споруди обчислювати шукані зміни геометричних параметрів. До цих систем належать такі методи:

1. Вимірювання деформацій та напруг за допомогою тензометричних датчиків
2. Вимірювання кута відхилення від початкового положення за допомогою інклінометрів
3. Вимірювання температури за допомогою датчиків температури
4. Вимірювання сили впливу вітру за допомогою датчиків тиску. Зазвичай ці методи не застосовуються самостійно, лише як джерело додаткової інформації до безпосередніх методів або у складі комплексних методів.

Комбіновані методи ґрунтуються на використанні одного або декількох прямих методів у поєднанні з непрямими. Найчастіше мають назву систем моніторингу, в основі яких лежить використання роботизованих тахеометрів. До таких систем належать:

1. Система геодезичного моніторингу Leica, яка заснована на спільному використанні тахеометра, GNSS приймачів, інклінометрів та програмного забезпечення для обробки результатів вимірювань та побудови прогнозної моделі.
2. Система геодезичного моніторингу «Візір 3D» що складається з пари роботизованих тахеометрів та програмного забезпечення.
3. Система геодезичного моніторингу GOCA, Trimble заснована на спільній роботі роботизованих тахеометрів та GNSS приймачів, також має своє програмне забезпечення.

РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАБІЛЬНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПУНКТІВ

2.1. Теорія методу зворотної лінійно-кутової засічки

Суть даного методу полягає в вимірюванні напрямків на пункти з відомими координатами та послідовними розмічувальними роботами методом полярних координат. На рис.2 показано принципову схему вимірювань при використанні методу зворотної лінійно-кутової засічки для точки стояння О.

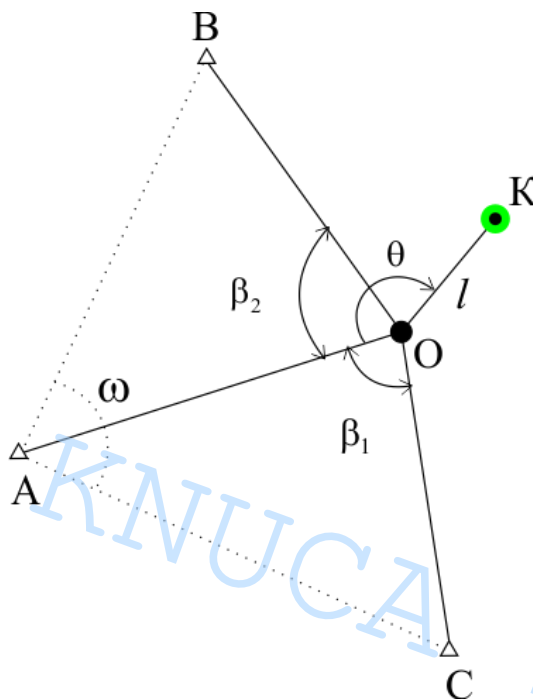


Рис. 2 Схема методу оберненої кутової засічки

СКП виносу точки К буде складатися з похибок оберненої засічки та похибки виносу точки полярним методом:

$$m_K^2 = m_{\text{оберн.}}^2 + m_{\text{пол.}}^2$$

За умови наближених розрахунків $S_A = S_B = S_C = S_{\text{ср}}$; $b_{AB} = b_{AC} = b_{\text{ср}}$, СКП оберненої засічки можна записати в наступному вигляді:

$$m_{\text{оберн.}} = \frac{m_{\beta} \cdot S_{\text{ср}} \sqrt{2}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{ABC})} \cdot \frac{S_{\text{ср}}}{h_{\text{ср}}}, \quad (2.1.1)$$

де S - відстань від визначуваного до відповідних опорних пунктів;
 b - відстань між відповідними опорними пунктами; ω_{BAC} - кут між вихідними сторонами.

Також в літературі [8-10] зустрічається інший підхід до визначення помилок розрахунку координат станції стояння:

$$m_{x_p} = \frac{[p_i \delta x_i]}{[p_i]}, \quad (2.1.2)$$

$$m_{y_p} = \frac{[p_i \delta y_i]}{[p_i]}, \quad (2.1.3)$$

де δx_i – величина залишкового відхилення залишкового відхилення на точці вихідної мережі по координаті x ; δy_i – величина залишкового відхилення залишкового відхилення на точці вихідної мережі по координаті y ; вага вимірюваного напрямку, що залежить від відстані до точки візування та розраховується за формулою:

$$p_i = \frac{1}{S_i^k}, \quad (2.1.4)$$

де S_i – відстань від станції до точки вихідної мережі; k – показник ступеня, прийнятий рівним від 0,5 до 2, що залежить від співвідношення ваг лінійних та кутових вимірів [10]. Так у похибку кутових вимірів вноситься істотна помилка візування на малих відстанях [11]. Подібна методика оцінки точності ОЛУЗ наочно показує залежність похибки визначення координат станції від усунення пунктів опорної геодезичної мережі.

Теоретичну схему нерівномірного розподілу помилок в пункти при використанні методу зворотної лінійно-кутової засічки зображено на рис.3.

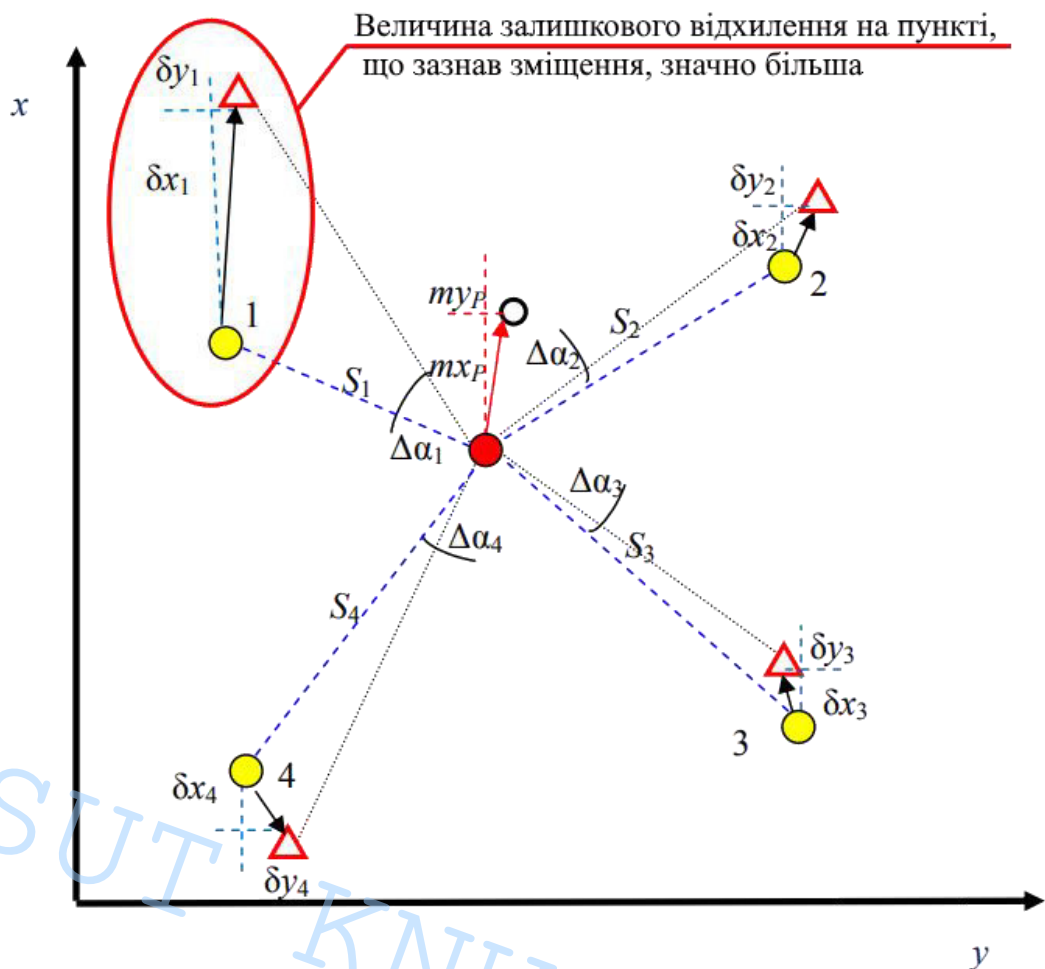


Рис.3. Теоретична схема похибок координат станції при вирівнюванні програмним забезпеченням електронного тахеометра

Умовні позначення:

△ - фактичне положення вихідного пункту;

● - стан станції при стабільних вихідних пунктах, відсутності їх помилок координат та відсутності похибки вимірювань;

● - положення вихідного пункту, що обчислюється ПЗ тахеометра по результатам зрівнювання вимірів засічки;

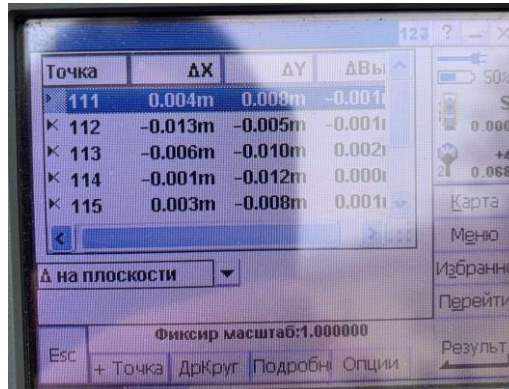
○ - зміщене положення станції стояння, внаслідок помилок координат вихідних пунктів через врівноваження засічки та похибок вимірювань мережі;

--- - вимірювані напрямки;

→ - вектор зсуву (Δl).

2.2 Визначення конфігурації пунктів знімальної геодезичної мережі

Для дослідження реальної точності оцінки стабільності опорних пунктів із застосуванням зворотної лінійно-кутової засічки, було заплановано серію експериментів з найбільш поширеними сучасними тахеометрами марок: Sokkia CX-55 та Trimble S6. Усі вказані моделі інструментів видають на дисплеї оцінку точності координат та висот станції, а також величини залишкових від відхилень на вихідних пунктах (рис. 4), хоча і представляють їх у різному вигляді.



Точка	ΔX	ΔY	ΔВы
111	0.004m	0.008m	-0.001m
112	-0.013m	-0.005m	-0.001m
113	-0.006m	-0.010m	0.002m
114	-0.001m	-0.012m	0.000m
115	0.003m	-0.008m	0.001m

Рис. 4. Відображення нев'язок на станції

Для проведення дослідження запропоновано створити мережу у вигляді 8 опорних пунктів. Оскільки в роботі буде проведено дослідження двома різними способами в різний час, то було отримано 2 різні мережі. Схема першої мережі представлена на рис. 5.1.

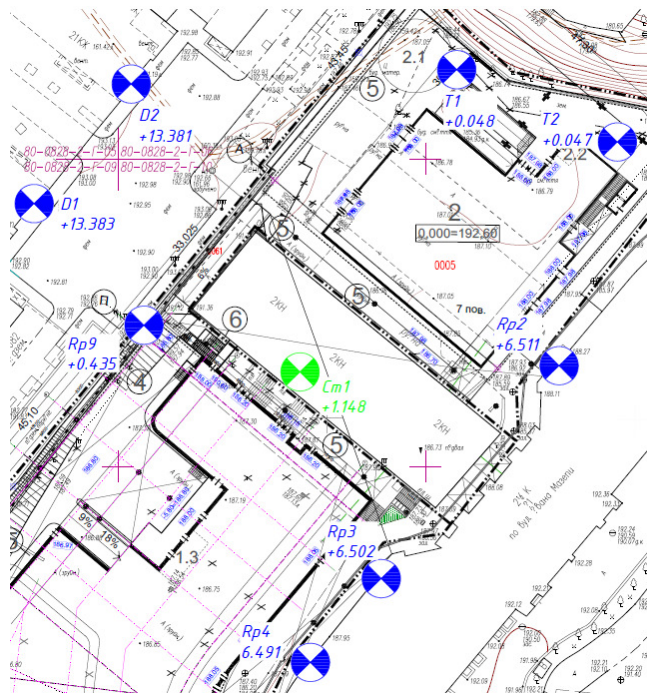


Рис.5.1. Схема 1 опорної мережі пунктів

Пункти опорної мережі позначено синім кольором. Просторові координати 8 пунктів обчислювалися в умовній системі, координати станції стояння були прийняті рівними $X=1000.000$ $Y=200.000$, а напрямок на північ – напрямок на пункт – 0. Вимірювання виконувались згаданими вище тахеометрами, полярним методом, одним напівприйомом. Різниця координат точок, що визначаються, не перевищувала 2 мм, а за остаточні були прийняті усереднені значення координат. Надалі ці пункти було прийнято за вихідні, тобто їх обчислені координати (табл. 3) вважалися безпомилковими (еталонними).

Таблиця 3.1. Координати точок опорної мережі

№ п/п	X	Y	H
<u>Ст1</u>	5590465.407	303279.588	1.148
<u>1</u>	5590512.741	303312.344	0.048
<u>2</u>	5590501.154	303329.958	0.047
<u>Rp2</u>	5590466.417	303321.705	6.511
<u>Rp3</u>	5590431.815	303292.787	6.502
<u>Rp4</u>	5590418.191	303281.281	6.491
<u>Rp9</u>	5590472.985	303254.211	0.435
<u>D1</u>	5590492.763	303236.369	13.383
<u>D2</u>	5590512.199	303252.145	13.381

Схема другої мережі наведена на рис. 5.2.

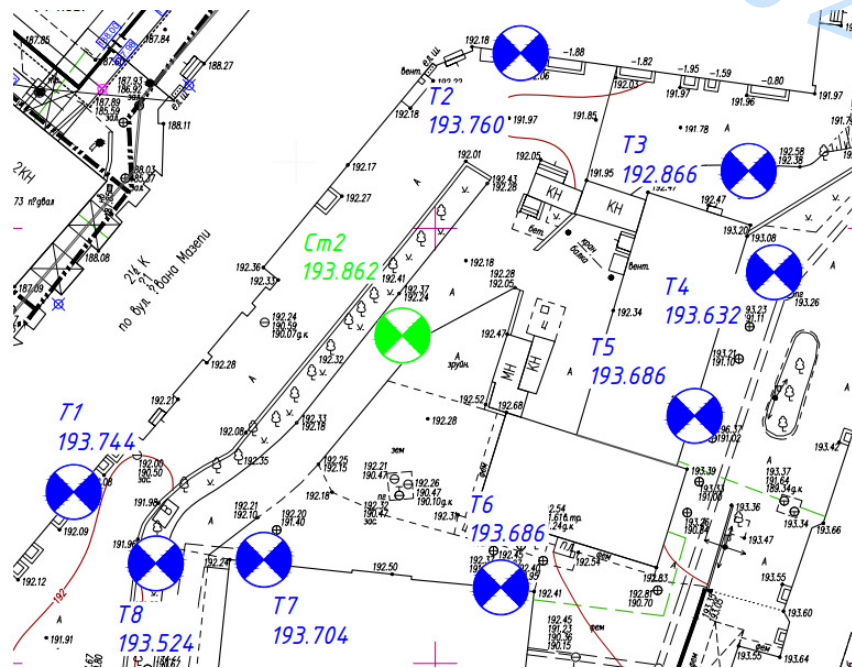


Рис.5.2. Схема 2 опорної мережі пунктів

Пункти опорної мережі позначено синім кольором. Просторові координати 8 пунктів обчислювалися в умовній системі аналогічно до попередньої мережі.

Таблиця 3.2 Координати точок опорної мережі

№ п/п	X	Y	H
<u>Ст2</u>	5590437.700	303346.220	193.862
<u>T1</u>	5590419.699	303308.444	193.744
<u>T2</u>	5590470.140	303359.815	193.760
<u>T3</u>	5590456.592	303386.033	192.866
<u>T4</u>	5590444.950	303388.954	193.632
<u>T5</u>	5590428.451	303379.810	193.686
<u>T6</u>	5590408.741	303357.554	193.686
<u>T7</u>	5590411.915	303330.300	193.704
<u>T8</u>	5590411.501	303317.888	192.524

GISUT KNUCA 2023

2.3 Вибір геодезичного обладнання та відбивачів на пунктах мережі

Для безвідбивачевого режиму було використано модифіковані плівкові відбивачі (рис.6), які можна повертати та нахилити у напрямку станції стояння приладу.



Рис.6. Плівковий відбивач

Для вимірювання на відбивачі використано призмові відбивачі фірми XXX (рис.7) із сталою призми XX для Sokkia CX-55 та сталою XX для Trimble S6.



Рис.7. Призмовий відбивач

Характеристики застосованих тахеометрів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Характеристики тахеометрів Sokkia CX-55 та Trimble S6

Параметр	Sokkia CX-55	Trimble S6
Точність виміру кута	5"	3"
Точність визначення відстані на призму	1,5 мм + 2 ppm	2 мм + 2 ppm
Точність визначення відстані на плівку	1,5 мм + 2 ppm	2 мм + 2 ppm
Точність визначення відстані без відбивача	2 мм + 2 ppm	2 мм + 2 ppm
Збільшення зорової труби	30 крат	30 крат
Зображення		

GISUT KNUCA 2023

2.4. Програма спостережень для оцінки стабільності

Запропоновано провести два різних типи спостережень :

Перший метод:

- в мережі опорних пунктів зміщується один пункт на задану величину;
- виконується визначення координат станції за допомогою методу зворотної лінійно-кутової засічки виміром на всі пункти;
- виконується повторне визначення координат станції за допомогою методу зворотної лінійно-кутової засічки вимірюючи на один пункт менше;
- повторюються визначення координат станції поки не залишиться лише три пункти;
- зміщений пункт присутній у всіх вимірах.

Другий метод:

- в мережі опорних пунктів зміщується один пункт на задану величину;
- виконується визначення координат станції за допомогою методу зворотної лінійно-кутової засічки виміром на всі пункти;
- в мережі опорних пунктів зміщується два пункти на задану величину;
- виконується визначення координат станції за допомогою методу зворотної лінійно-кутової засічки виміром на всі пункти;
- так повторюється поки не залишиться незміщеними 2 пункти.

Для зміщення пунктів зроблено палетки (рис.8), які дозволять виконати зміщення відбивачів та відбиваючих пластин на заздалегідь визначені величини та напрямки.

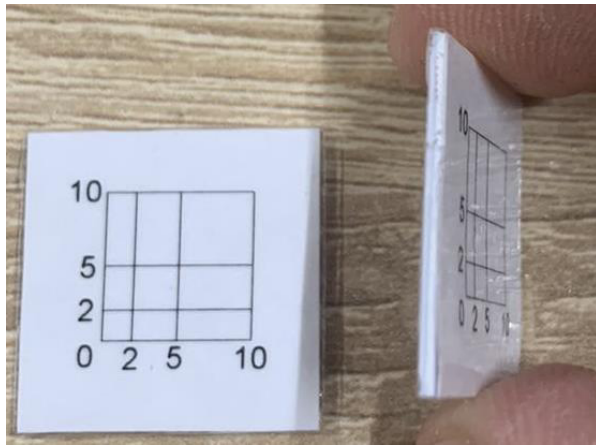


Рис.8. Палетка для зсуву опорних точок.

Загальний принцип зміщення марки на опорному пункті наведено на рис.9.

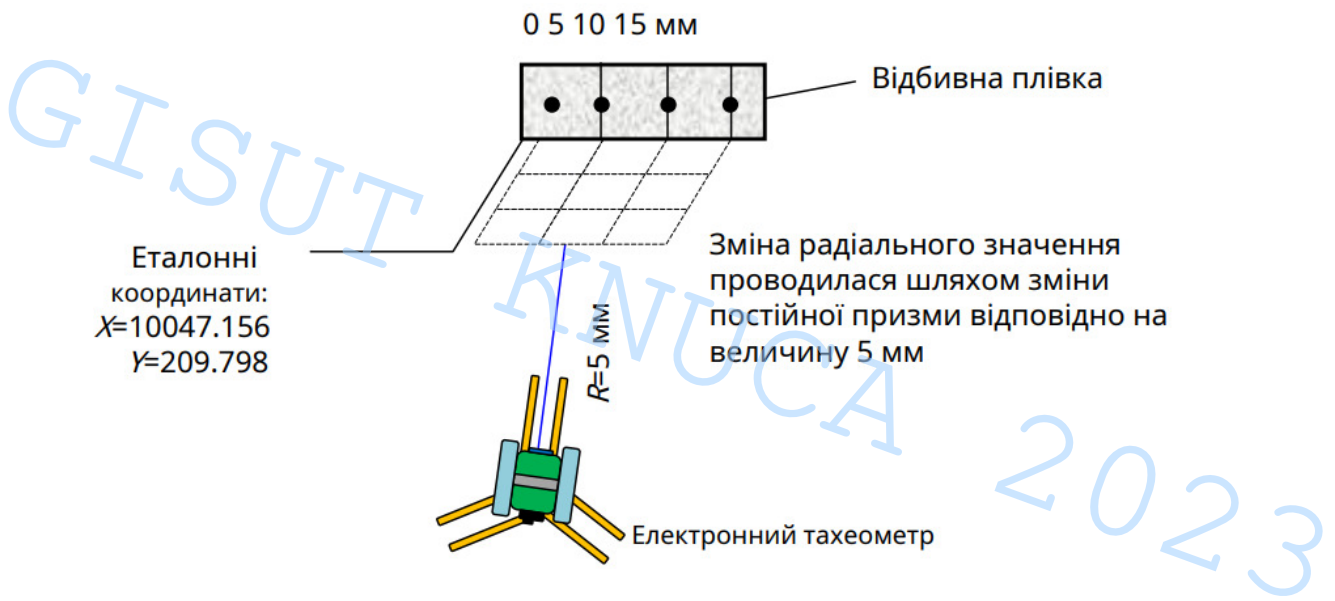


Рис. 9. Схема зміщення марки на опорному пункті

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПУНКТІВ ЗНІМАЛЬНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЗВОРотноЮ ЛІНІЙНО- КУТОВОЮ ЗАСІЧКОЮ

3.1 Вимірювання за першим методом

3.1.1 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 2 мм.

Всі виміри було зведено в таблицю і додатково представлено на круговому графіку, який ілюструє помилки на точках.

Таблиця 5. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 2 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55															
	Без зміщення	8 тчк		7 тчк		6 тчк		5 тчк		4 тчк		3 тчк		2 тчк		
Кількість зміщ. пунктів № пункта на схемі	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм
1 зміщений	-1	-1	-2	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
2	-1	1	-1	1	-3	2	-2	3	-1	2	-1	3	-1	1	-1	3
3	-1	0	-1	1	-3	1	-2	2	-2	2	-2	2	-1	0		
4	0	0	0	-1	-1	-2	0	-1	0	-1	0	-1				
5	-1	0	1	-1	0	-1	1	-2	2	-1						
6	1	-1	0	-1	1	0	1	0								
7	0	0	1	1	1	2										
8	1	0	1	2												
Похибка, мм	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.7	0.4	1.2	0.6	1.1	0.9	5.5	5.0

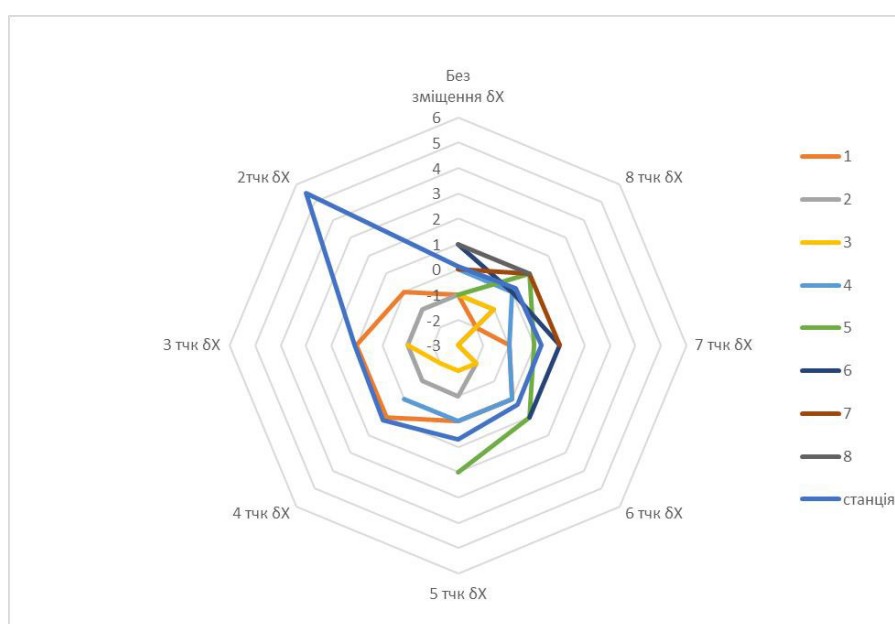


Рис.10. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

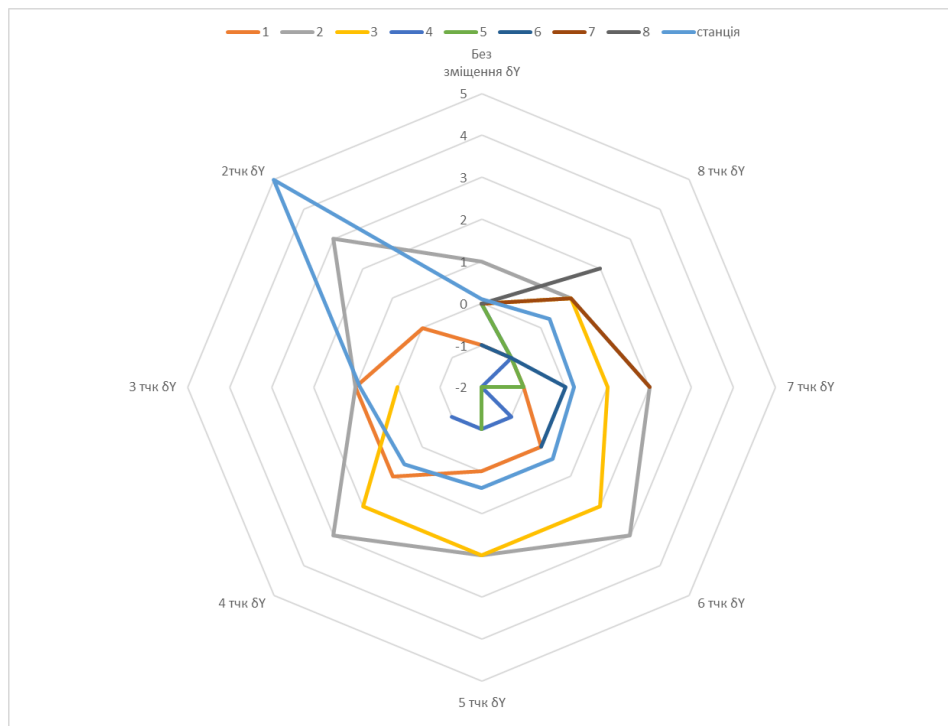


Рис.11. Помилки в У на точка в залежності від кількості точок засічки

З результатів видно, що помилка на точку 1, яка зазнала реального зсуву на 2 мм, майже весь час має значення близьке до помилки засічки в цілому по обом координатам.

GISTU
KNUCA 2023

3.1.2 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5 мм.

Таблиця 6. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55														
Кількість зміщ. пунктів № пункту на схемі	Без зміщення	8 тчк		7 тчк		6 тчк		5 тчк		4 тчк		3 тчк		2тчк	
		δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм
1 зміщений		-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	2	1	0	0
2		-6	3	-4	2	-5	4	-4	3	-3	3	-4	5	-2	4
3		-5	2	-4	2	-5	3	-3	4	-2	3	-3	1		
4		-2	-3	-1	-2	-1	-2	0	-2	0	-2				
5		1	-3	1	-2	1	-3	2	-2						
6		2	1	1	2	2	1								
7		2	3	1	3										
8		3	5												
Похибка, мм		0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	0.8	0.6	1.6	0.8	4.2	3.3	9.2	8.3

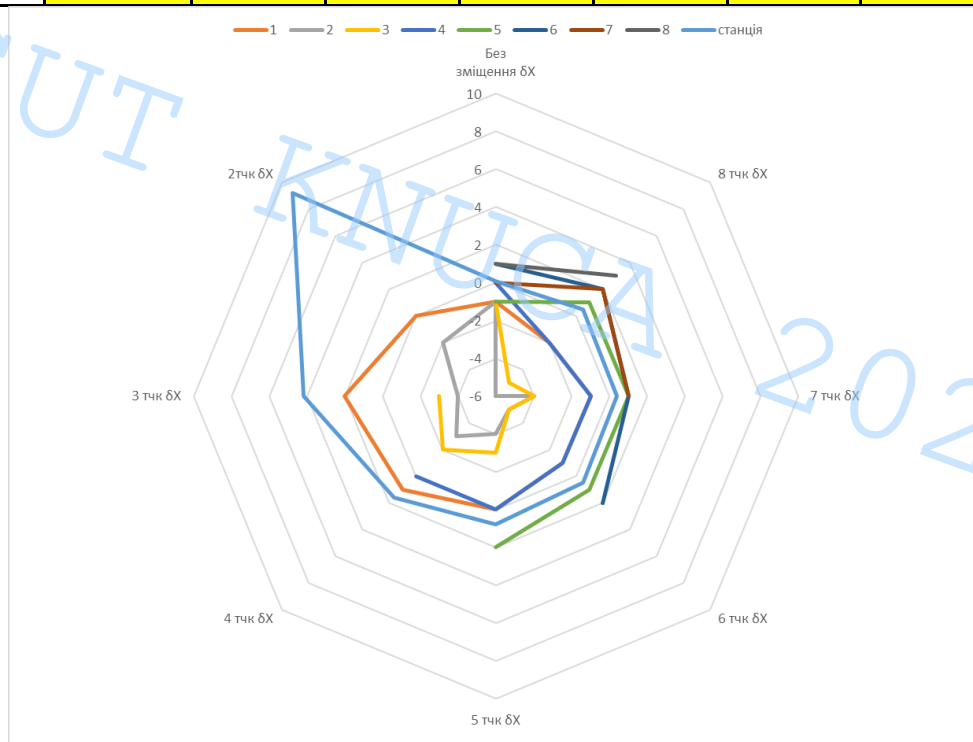


Рис.12. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

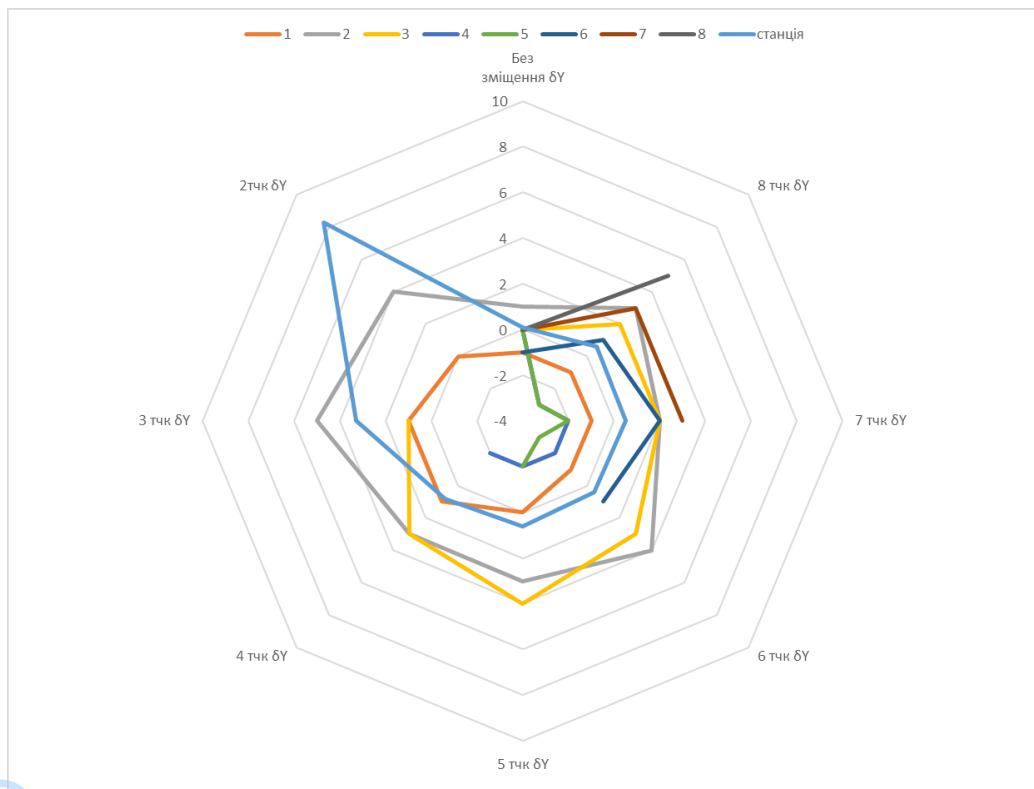


Рис.13. Помилки в У на точках в залежності від кількості точок засічки

З результатів видно, що помилка на точку 1, яка зазнала реального зсуву на 5 мм, майже весь час має значення близьке до помилки засічки в цілому по обом координатам.

3.1.3 Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 10 мм.

Таблиця 7. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 10 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55															
Кількість зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		8 тчк		7 тчк		6 тчк		5 тчк		4 тчк		3 тчк		2тчк	
	δX мм	δY мм	δX м	δY м	δX м	δY м	δX м	δY м	δX м	δY м	δX м	δY м	δX м	δY м	δX мм	δY мм
1 зміщений			-2	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	2	1	2	1	-1	-1
2			-9	7	-8	5	-8	7	-6	8	-7	7	-7	8	-5	9
3			-9	3	-7	4	-7	3	-6	4	-5	4	-4	2		
4			-3	4	-3	-3	-2	-3	-1	-3	0	-4				
5			0	-7	0	-5	0	-4	1	-5						
6			3	2	2	2	2	2								
7			5	7	4	6										
8			3	9												
Помилка, мм			0.8	1	0.9	0.8	0.8	1	2	1.1	3.2	1.5	7	5.4	19.7	17.9

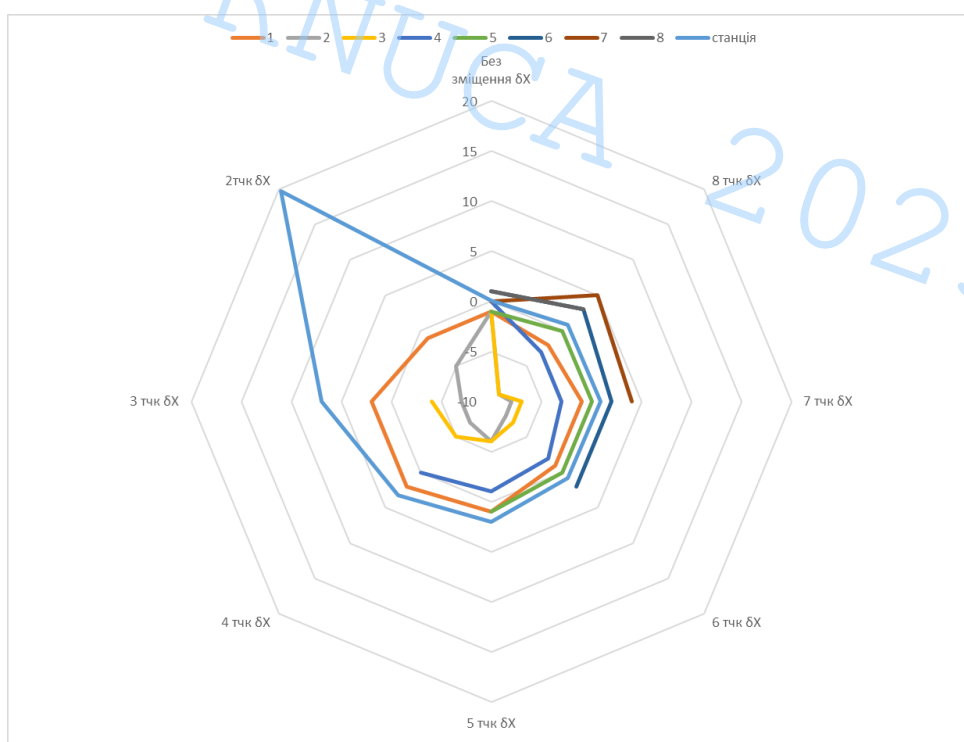


Рис.14. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

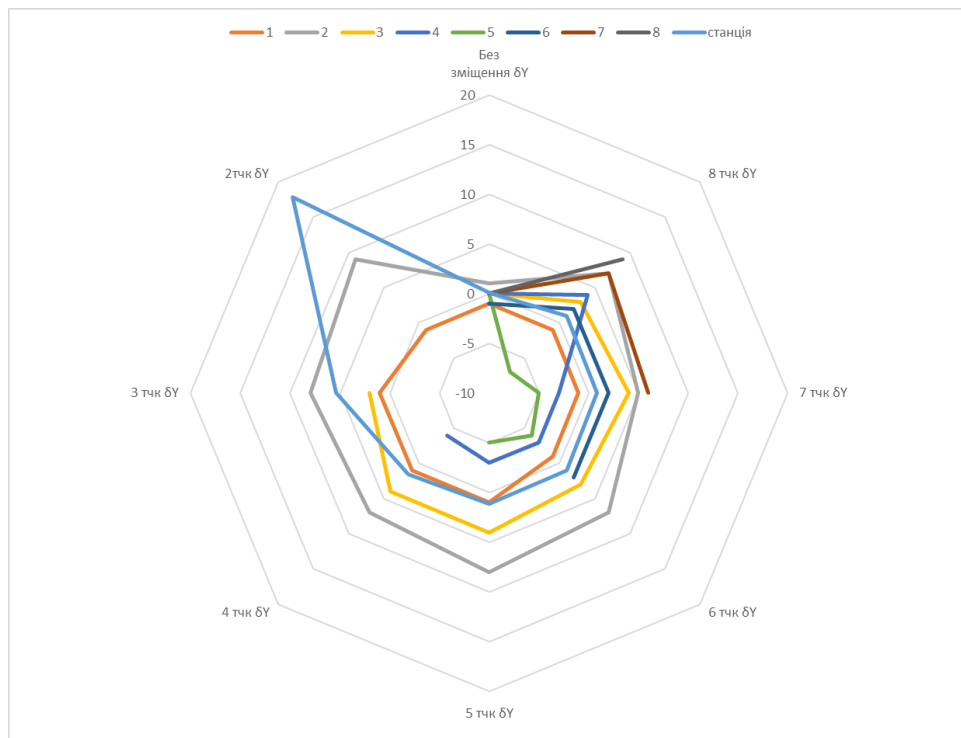


Рис.15. Помилки в У на точках в залежності від кількості точок засічки

З результатів видно, що помилка на точку 1, яка зазнала реального зсуву на 10 мм, майже весь час має значення близьке до помилки засічки в цілому по обом координатам.

GI SU
 KNUCA
 2023

3.2. Вимірювання другим методом

3.2.1. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 2 мм

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 8 нерухомих точок
- 7 нерухомих, 1 в бік на 2 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 2 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік на 2 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік на 2 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік на 2 мм кожна

Таблиця 8. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 2 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55														
Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк		
	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	
1	0	1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
2	1	0	1	-1	1	-1	2	-1	0	-3	0	-1	0	0	-1
3	2	1	2	0	2	0	1	0	1	-1	0	-1	2	-1	
4	1	1	2	2	3	1	1	0	2	0	2	0	3	3	
5	1	-2	2	-1	2	-1	1	-2	3	-1	3	-1	2	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	2	-1	2	-1	1	-1	1	
7	-2	0	-2	0	-3	1	-3	0	-4	0	-3	1	-4	0	
8	0	1	-2	2	-1	3	-2	0	-2	1	-2	0	-2	1	
Похибка, мм	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	

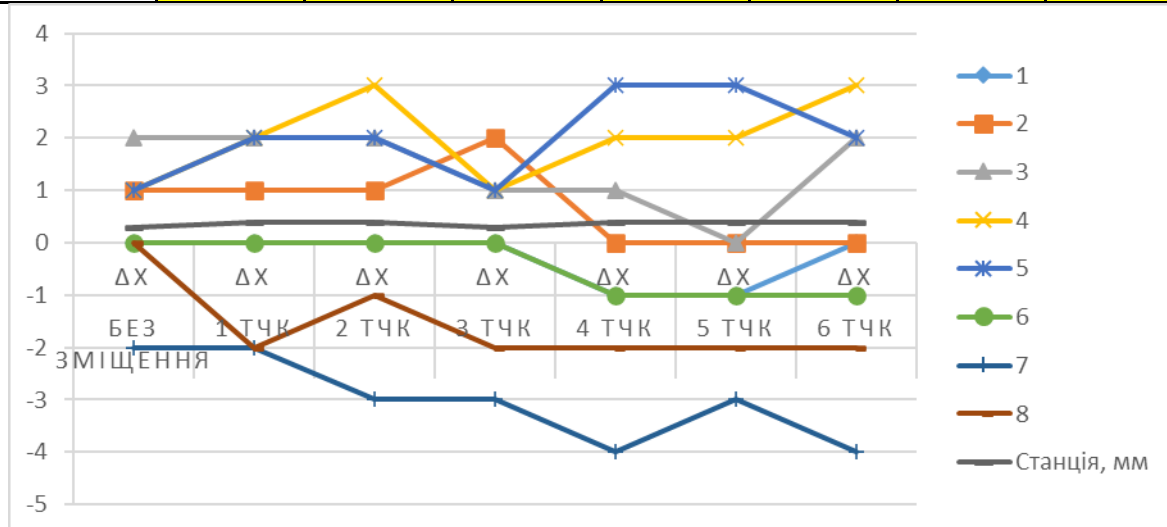


Рис.16. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

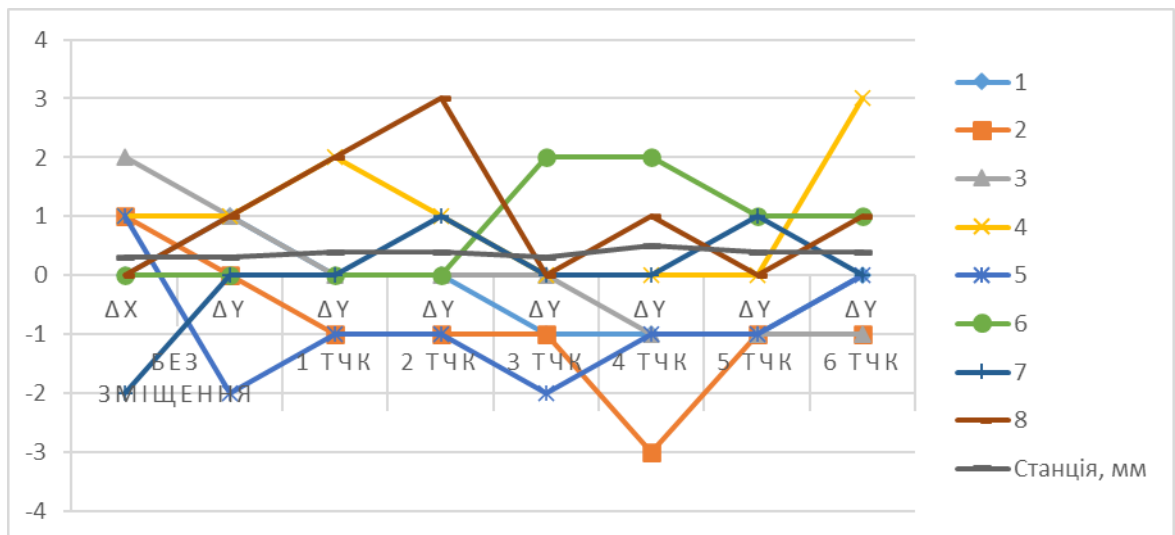


Рис.17. Помилки в U на точках в залежності від кількості точок засічки

За результатами можна зробити висновок, що такі малі зміщення суттєво не відображаються на розрахованій засічці і знаходяться в межах помилок станції без зміщень.

GISUT KNUCA 2023

3.2.2. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 2 мм в двох площинах

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 8 нерухомих точок
- 7 нерухомих, 1 в бік на 2 мм
- 7 нерухомих, 1 в бік та назад по 2 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 2 мм кожна
- 6 нерухомих, 2 в бік та назад по 2 мм
- 5 нерухомих, 3 в бік на 2 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік та назад по 2 мм
- 4 нерухомих, 4 в бік на 2 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік та назад по 2 мм
- 3 нерухомих, 5 в бік на 2 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік та назад по 2 мм
- 2 нерухомих, 6 рухаються на 2 мм в бік
- 2 нерухомих, 6 в бік та назад по 2 мм

Таблиця 9. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 2+2 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55													
Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк	
	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
1	0	1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-2	-1	-1	-1	-2
2	1	0	0	-2	0	-1	1	-2	0	-3	0	-1	0	-1
3	2	1	1	-1	1	-1	2	-3	2	-2	0	-1	1	-3
4	1	1	2	1	3	2	1	0	1	1	1	-2	3	-2
5	1	-2	2	-2	2	-1	2	-2	4	-3	3	-4	3	-4
6	0	0	0	1	0	0	2	1	1	0	1	0	1	0
7	-2	0	-3	0	-1	2	-1	2	-3	2	-1	1	-2	1
8	0	1	-1	3	0	3	-1	4	0	4	-1	2	-1	3
Похибка, мм	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5

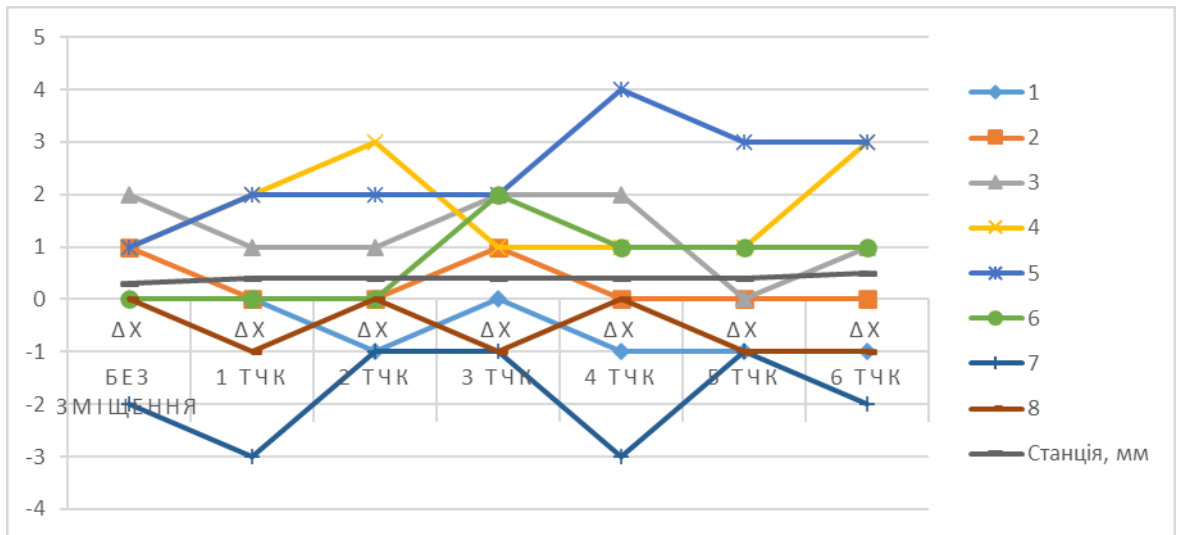


Рис.18. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

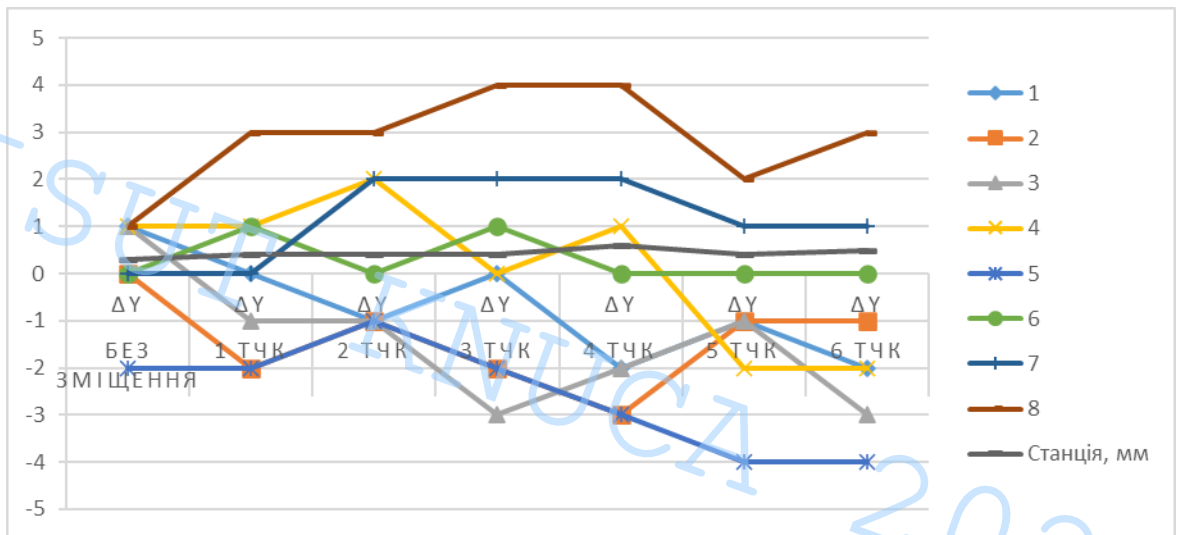


Рис.19. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

За результатами можна зробити висновок, що такі малі зміщення по 2мм в двох площинах призводять до збільшення помилок на конкретні точки при русі від 3х пунктів.

3.2.3. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 5 мм двома різними тахеометрами

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 7 нерухомих, 1 в бік на 5 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 5 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік на 5 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік на 5 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік на 5 мм кожна
- 2 нерухомих, 6 рухаються на 5 мм в бік

Таблиця 10. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55													
Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк	
	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм
1	0	1	0	0	0	0	-1	-1	-2	-4	-1	-3	-1	-1
2	1	0	1	-2	3	-2	2	-5	1	-4	-1	-3	-2	-3
3	2	1	3	0	5	-1	4	-4	2	-3	-1	-2	3	-3
4	1	1	4	2	5	1	4	-2	2	-1	5	-2	3	-1
5	1	-2	3	-2	5	-3	4	-4	7	-3	6	-4	4	-4
6	0	0	0	1	0	1	2	4	2	3	1	2	0	2
7	-2	0	-2	0	-3	5	-6	3	-6	2	-6	1	-5	1
8	0	1	-4	4	-4	4	-5	3	-6	2	-5	1	-5	1
Похибка, мм	0.3	0.3	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.6	0.6

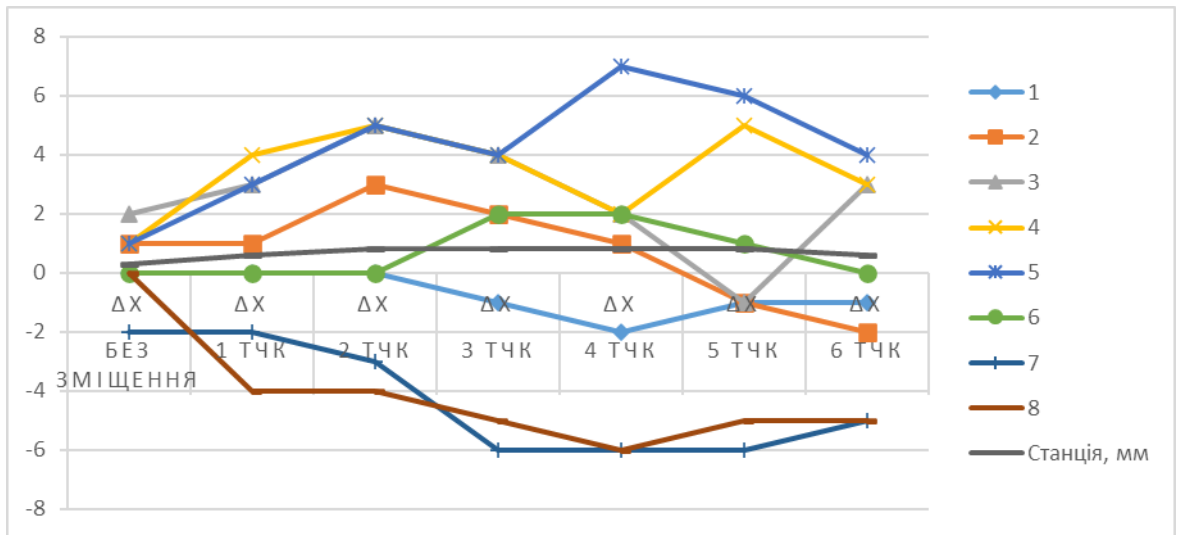


Рис.19. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

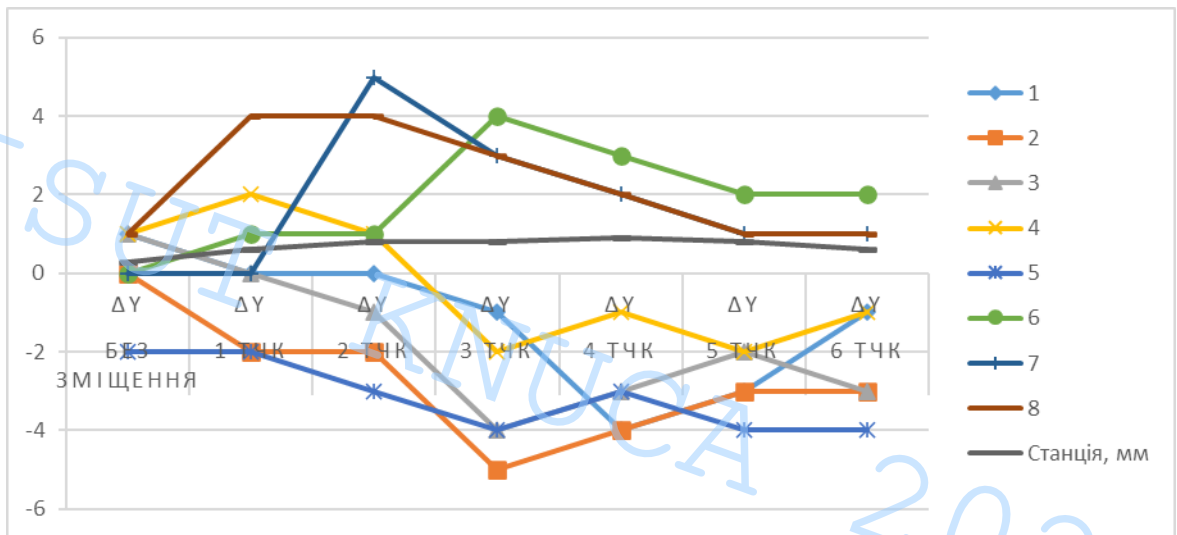


Рис.20. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

Таблиця 11. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5 мм

Марка тахеометра	Trimble S6													
	1	2	2	1	4	0	3	-2	2	-3	1	-3	2	-3
1	1	2	2	1	4	0	3	-2	2	-3	1	-3	2	-3
2	-1	0	-3	0	-2	-1	-3	-3	-5	-3	-6	-3	-7	-1
3	-1	-2	0	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-3	-1	-6
4	0	-1	0	0	0	-2	-1	-4	-3	-4	2	-4	1	-3
5	0	1	1	1	1	0	0	-2	3	-3	2	-3	0	-2
6	1	-1	2	-2	2	-3	4	-1	3	-2	2	-2	1	-2
7	-1	-1	-1	-2	0	2	-2	0	-3	0	-3	-1	-3	0
8	-1	0	-4	2	-1	1	-2	-1	-3	-2	-4	-2	-4	-2
Похибка, мм	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

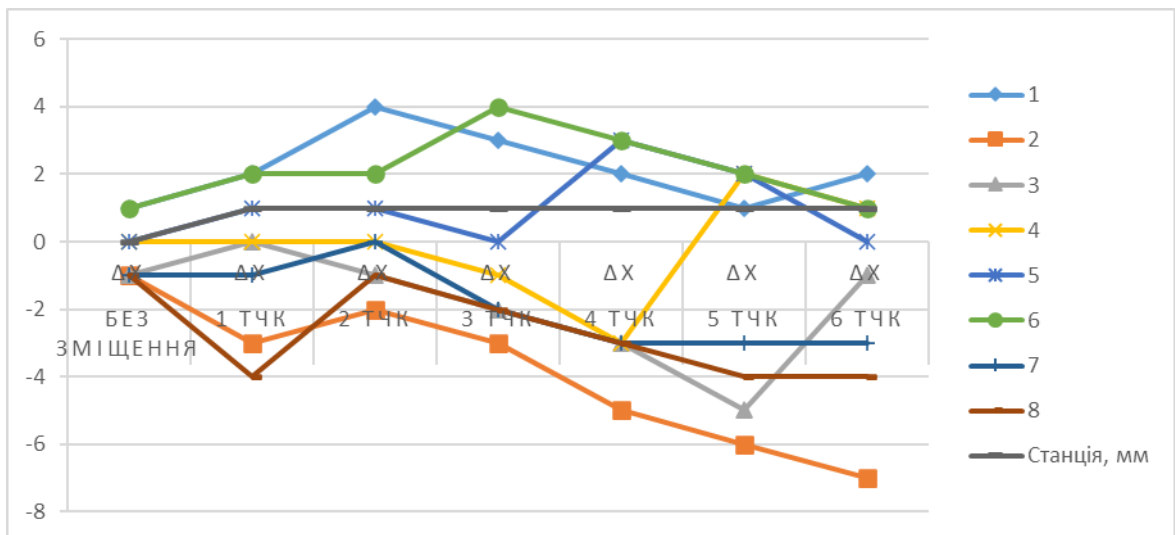


Рис.21. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

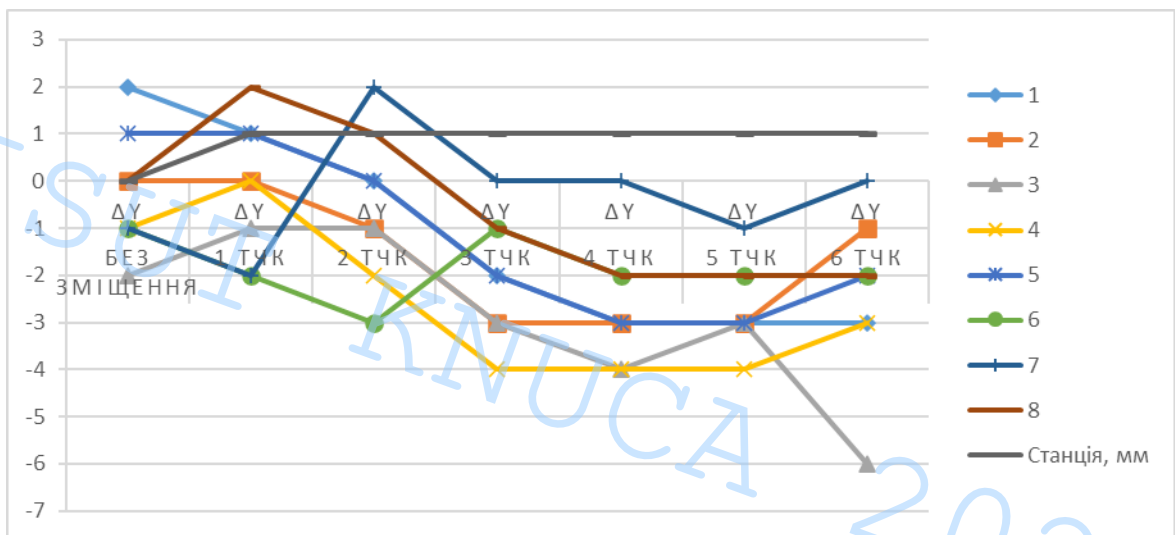


Рис.22. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

За результатами можна зробити висновок, що зміщення в межах 5 мм впливають і на розрахунок похибок станції і конкретних пунктів основи. Причому в різних приладах це цей ефект проявляється по різному. В обох приладах після руху першої точки з'являються помилки в координатах пунктів основи, проте у Trimble S6 помилки по осі Y уходять в один бік, а не розподіляються рівномірно відносно середньої лінії значень помилки на станції.

3.2.4. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом 5 мм в двох площинах двома різними тахеометрами

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 7 нерухомих, 1 в бік на 5 мм
- 7 нерухомих, 1 в бік та назад по 5 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 5 мм кожна
- 6 нерухомих, 2 в бік та назад по 5 мм
- 5 нерухомих, 3 в бік на 5 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік та назад по 5 мм
- 4 нерухомих, 4 в бік на 5 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік та назад по 5 мм
- 3 нерухомих, 5 в бік на 5 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік та назад по 5 мм
- 2 нерухомих, 6 рухаються на 5 мм в бік
- 2 нерухомих, 6 в бік та назад по 5 мм

Таблиця 12. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5+5 мм

Марка тахеометра	Sokkia CX-55													
Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк	
	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм
1	0	1	-1	-1	-1	-2	-2	-4	-1	-3	-1	-3	-1	-2
2	1	0	1	-1	2	-2	2	-4	0	-3	-1	-3	-2	-1
3	2	1	2	0	3	-3	3	-4	0	-3	0	-2	2	-8
4	1	1	2	1	4	0	3	-2	1	-1	4	-6	4	-5
5	1	-2	2	-2	4	-4	3	-4	7	-8	6	-8	5	-7
6	0	0	0	1	1	1	7	1	5	-1	4	-1	3	0
7	-2	0	-2	-1	1	6	1	6	-1	4	-1	4	-1	4
8	0	1	0	7	-1	7	-2	6	-1	5	-2	5	-1	6
Похибка, мм	0.3	0.3	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1

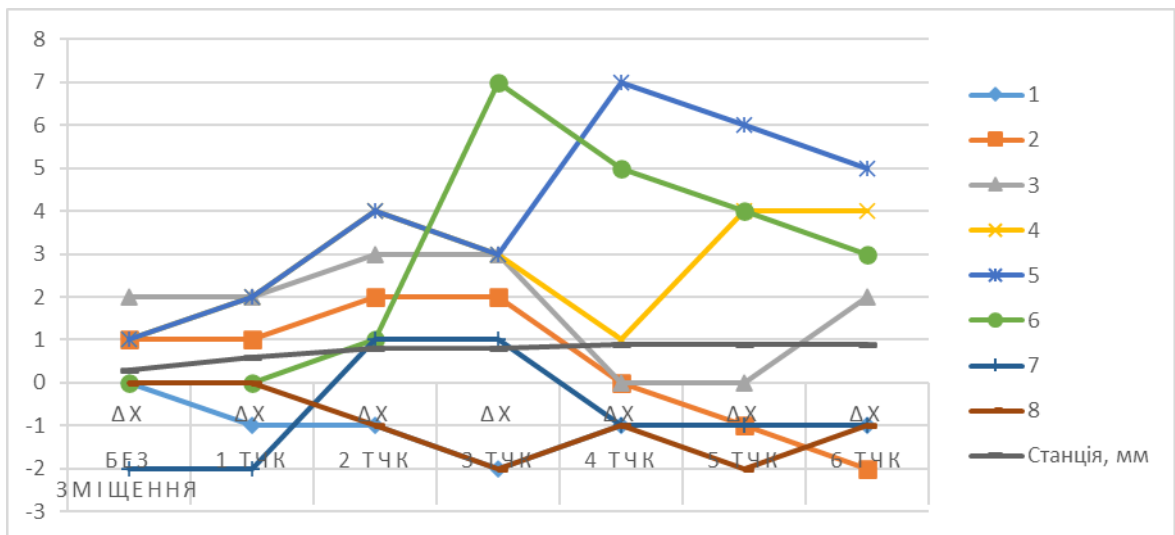


Рис.23. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

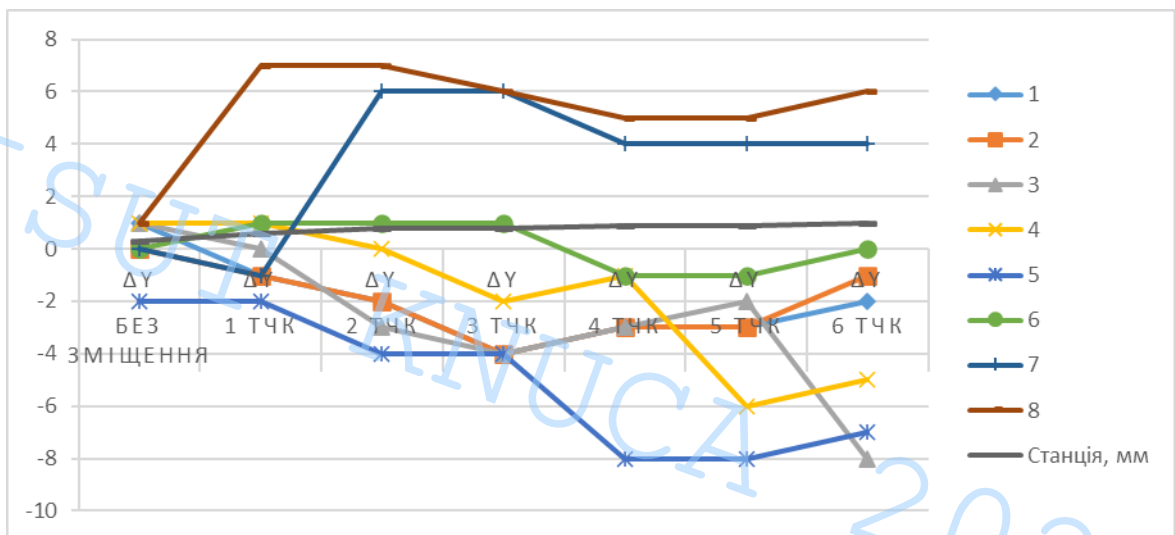


Рис.24. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

Таблиця 13. Вимірювання на плівковий відбивач із зсувом на 5+5 мм

Марка тахеометра	Trimble S6													
	1	2	3	3	5	1	4	0	3	-1	2	-1	3	-1
1	1	2	3	3	5	1	4	0	3	-1	2	-1	3	-1
2	-1	0	-1	0	-1	0	-2	-2	-3	-2	-4	-1	-5	0
3	-1	-2	0	-1	0	-1	-1	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-9
4	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-3	-2	-3	2	-7	1	-7
5	0	1	1	0	1	-1	0	-2	4	-6	2	-6	1	-5
6	1	-1	2	-2	3	-3	9	-3	7	-4	6	-4	6	-4
7	-1	-1	1	0	3	4	2	3	1	2	0	2	0	2
8	-1	0	1	6	2	5	1	4	0	3	0	3	0	3
Похибка, мм	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

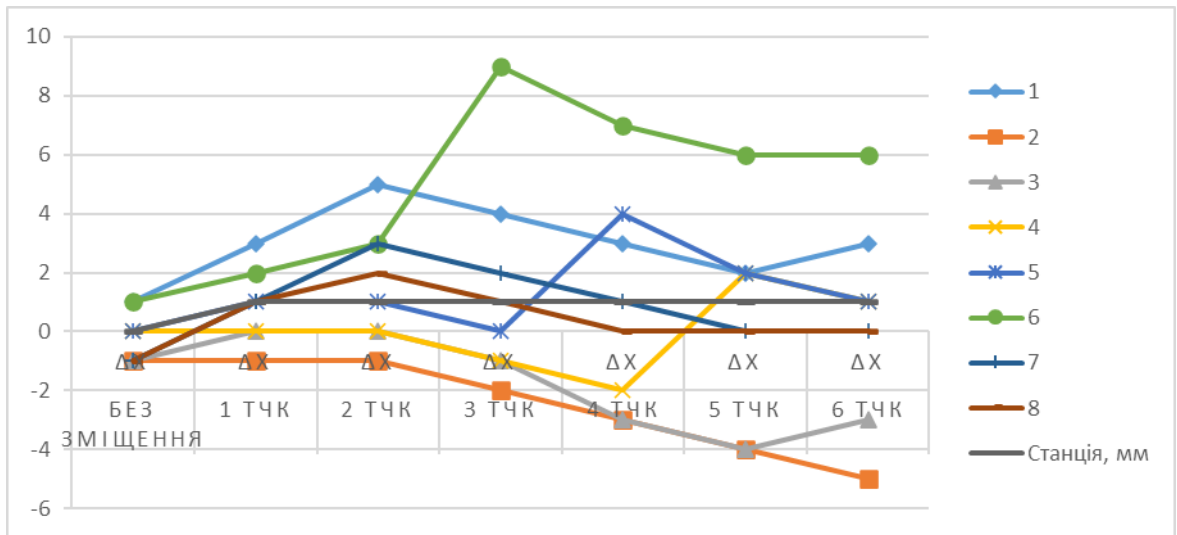


Рис.25. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

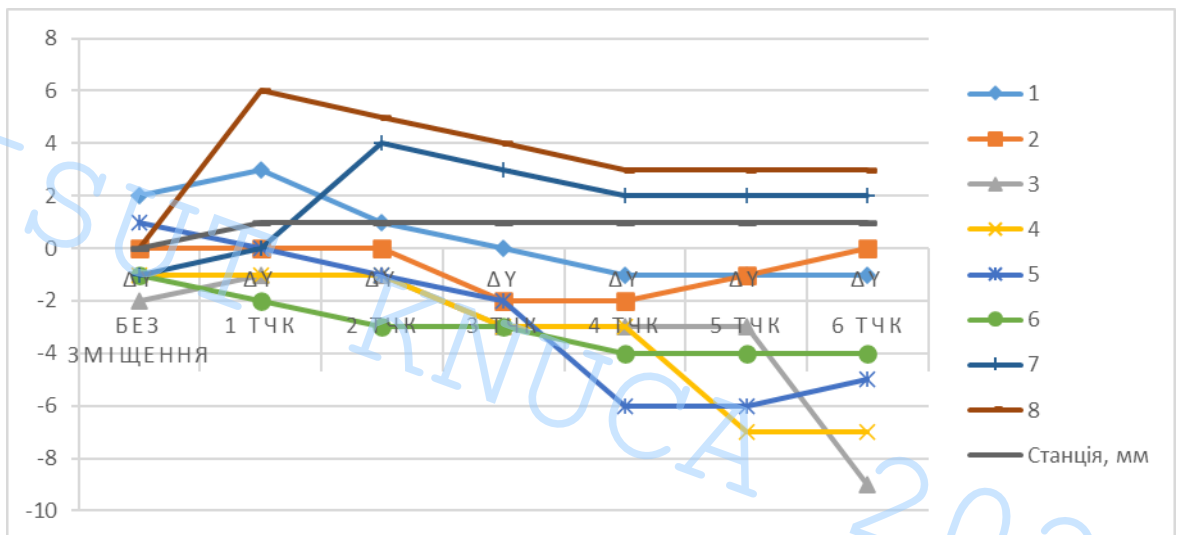


Рис.26. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

Особливим моментом є майже незмінна помилка на станції для обох приладів при зміні положення відбивачів на 5 мм в двох напрямках, незважаючи на суттєві помилки по точкам основи з перших зміщень.

3.2.5. Вимірювання на призмовий відбивач із зсувом 2 мм

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 8 нерухомих точок
- 7 нерухомих, 1 в бік на 2 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 2 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік на 2 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік на 2 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік на 2 мм кожна

Таблиця 14. Вимірювання на призмовий відбивач із зсувом на 2 мм

Марка тахеометра	Trimble S6													
	Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі	Без зміщення		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк
δX мм		δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм	δX мм	δY мм
1	-1	-3	1	-3	3	-5	2	-7	0	-8	0	-8	0	-8
2	-1	-1	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-5	-2	-6	-1
3	0	-2	0	-2	0	-2	-1	-4	-4	-5	-6	-5	1	-6
4	0	1	1	1	1	0	-1	-2	-3	-3	2	-4	0	-3
5	-1	2	-1	1	-1	0	-2	-2	3	-3	2	-2	0	-2
6	0	0	1	0	2	-2	2	1	0	-1	-1	-1	-2	-1
7	0	0	2	-1	0	3	-1	1	-3	0	-4	-1	-4	-1
8	-1	0	-4	3	-2	1	-4	-1	-5	-2	-6	-3	-6	-3
Похибка, мм	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

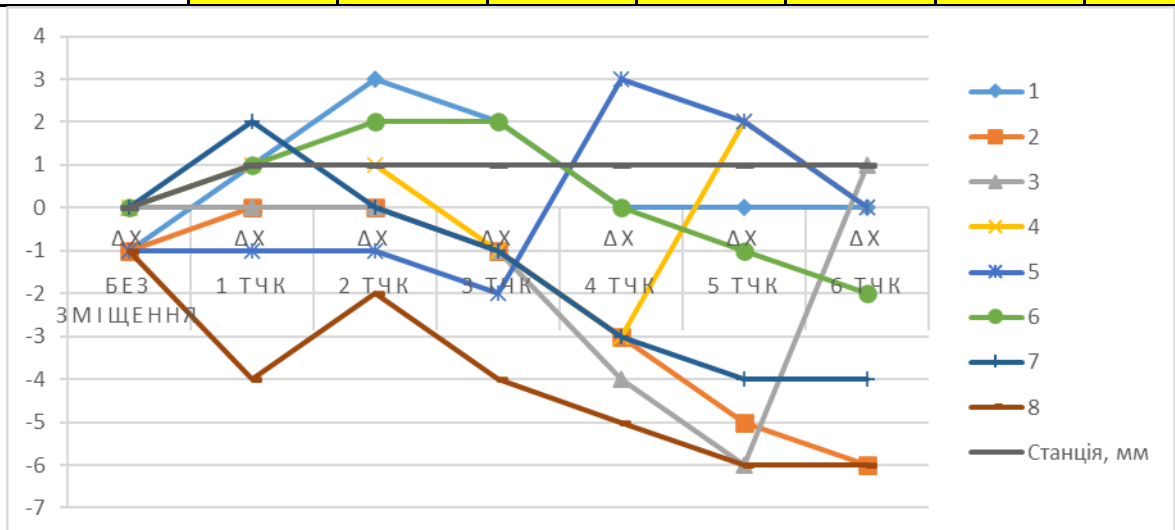


Рис.27. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

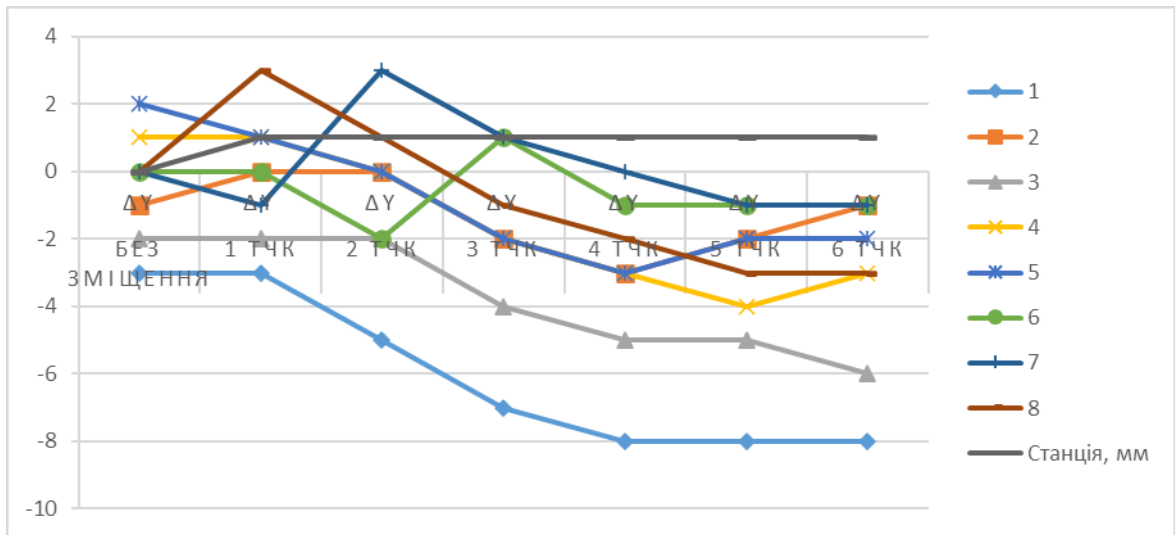


Рис.28. Помилки в У на точках в залежності від кількості точок засічки

Прилад показує дуже схожу картину як і на плівковому відбивачі, зміщення по У сильно відходять в від'ємні значення і не рівномірно розподілені відносно значення помилки на станції. Але зважаючи на те, що в експерименті на зміщення в 2мм плівкового відбивача значення похибок майже не мінялись, то при використанні призмового відбивача таке зміщення помітно вже з першої точки як по загальному значення помилки на станції так і по значеннях на окремі точки основи.

3.2.6. Вимірювання на призмий відбивач із зсувом 5 мм в двох площинах

В цьому варіанті буде застосовано наступний алгоритм:

- 8 нерухомих точок
- 7 нерухомих, 1 в бік на 5 мм
- 7 нерухомих, 1 в бік та назад по 5 мм
- 6 нерухомих, 2 в бік на 5 мм кожна
- 6 нерухомих, 2 в бік та назад по 5 мм
- 5 нерухомих, 3 в бік на 5 мм кожна
- 5 нерухомих, 3 в бік та назад по 5 мм
- 4 нерухомих, 4 в бік на 5 мм кожна
- 4 нерухомих, 4 в бік та назад по 5 мм
- 3 нерухомих, 5 в бік на 5 мм кожна
- 3 нерухомих, 5 в бік та назад по 5 мм
- 2 нерухомих, 6 рухаються на 5 мм в бік
- 2 нерухомих, 6 в бік та назад по 5 мм

Таблиця 15. Вимірювання на призмий відбивач із зсувом на 5+5 мм

Марка тахеометра	Trimble S6													
	Кіл-ть зміщ. пунктів № пункта на схемі		1 тчк		2 тчк		3 тчк		4 тчк		5 тчк		6 тчк	
	Без зміщення		δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY	δX	δY
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
1	-1	-3	1	-2	2	-3	2	-5	0	-5	0	-6	1	-5
2	-1	-1	0	0	1	0	0	-1	-2	-2	-2	-1	-3	0
3	0	-2	0	0	1	0	0	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-9
4	0	1	0	-1	0	-2	0	-3	-2	-4	1	-7	0	-6
5	-1	2	0	-1	0	-2	-1	-3	3	-7	2	-6	1	-6
6	0	0	1	-1	2	-2	6	-1	4	-2	3	-2	3	-2
7	0	0	1	-1	4	5	3	3	2	2	2	2	2	2
8	-1	0	1	6	2	4	1	3	0	2	-1	2	-1	2
Похибка, мм	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

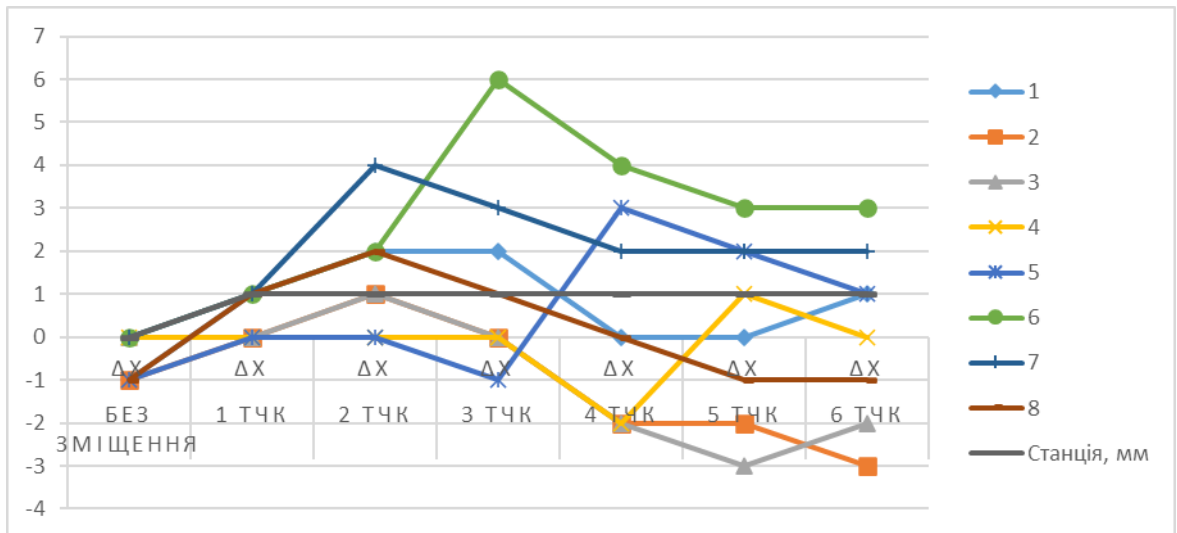


Рис.29. Помилки в X на точках в залежності від кількості точок засічки

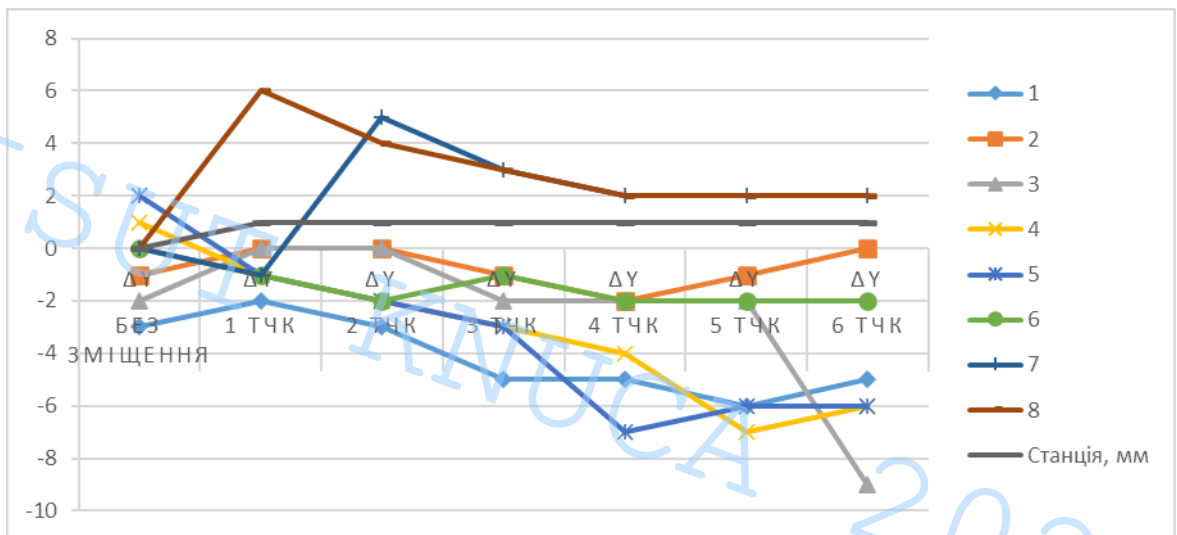


Рис.30. Помилки в Y на точках в залежності від кількості точок засічки

Зміщення на 5 мм по двом координатам при вимірюваннях на призмові відбивачі дає помітні помилки на точки основи вже з одного зміщеного пункту.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи отримані результати з першого методу спостереження пунктів основи, коли на заздалегідь відому величину рухався лише один пункт мережі і відбувались серії вимірювань лінійно-кутової засічки поступово зменшуючи кількість пунктів засічки, можна зробити наступні висновки:

- точка, яка зазнавала реального зсуву на 2, 5 та 10 мм, при зменшенні кількості пунктів, які брали участь в розрахунку засічки, ніяк не проявляла свої зміщення через наявні значення помилок на неї в меню приладу.
- значення помилки на точку, яка зазнавала реального зсуву, майже постійно прямує до розрахованого значення помилки засічки
- значення зміщення точки розподіляються на інші точки опорної мережі, таким чином всі точки, які не мають зміщень отримують збільшення помилки свого положення в результатах розрахунку лінійно-кутової засічки.

Підсумовуючи отримані результати з другого методу спостереження пунктів основи, коли на заздалегідь відому величину рухались поступово 6 з 8 пунктів мережі і відбувались серії вимірювань лінійно-кутової засічки поступово збільшуючи кількість зсунутих пунктів, можна зробити наступні висновки:

- малі зміщення у 2 мм на плівковій відбивачі суттєво не відображаються на розрахованій засічці і знаходяться в межах помилок станції без зміщень, на відміну від вимірів на призмовій відбивачі, де зміщення помітно вже з першої точки як по загальному значення помилки на станції так і по значеннях на окремі точки основи
- помітні зміщення при використанні плівкових відбивачів будуть при зсуві точок основи по 2 мм в двох площинах при русі від 3х пунктів основи.
- зміщення в межах 5 мм впливають і на розрахунок похибок станції і конкретних пунктів основи. Причому в різних приладах це цей ефект проявляється по різному. В обох приладах після руху першої точки з'являються помилки в координатах пунктів основи, проте у Trimble S6

помилки по осі У уходять в один бік, а не розподіляються рівномірно відносно середньої лінії значень помилки на станції.

- особливим моментом є майже незмінна помилка на станції для обох приладів при зміні положення відбивачів на 5 мм в двох напрямках, незважаючи на суттєві помилки по точкам основи з перших зміщень.
- Зміщення на 5 мм по двом координатам при вимірюваннях на призмові відбивачі дає помітні помилки на точки основи вже з одного зміщеного пункту.
- в усіх результатах є спільна риса, СКП станції незначно відходить від нульового значення вже при першому зсунутому пункті, але після цього залишається майже незмінною при зсуві всіх інших пунктів.

GISUT
KNUCA
2023

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Code of Practice. (2012). SP 126.13330.2012. Set of rules. Geodetic work in construction. Updated version of SNiP 3.01.03-84. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Simonyan, V. V., Shmelin, N. A., & Zaytsy, A. K. (2015). Geodezicheskiy monitoring zdaniy i sooruzheniy [Geodetic monitoring of buildings and structures]. V. V. Simonyan (Ed.). Moscow: NRU MGSU Publ. [in Russian].
3. Shults, R. V., Annenkov, A. A., Khaylak, A. M., & Strilets, V. S. (2014). Statistical examination of retaining wall displacement by geodetic measurements results. Vestnik SGGGA [Vestnik SSGA], 3(27), 35–53 [in Russian].
4. Sholomitsky, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2017). High precision geodetic measurements at deformation monitoring of aquapark. Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT], 22(3), 45–59 [in Russian].
5. Interstate Standard. (2012). GOST 24846-2012. Soils. Methods for measuring deformations in the foundations of buildings and structures. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian]. Геодезия и маркшейдерия 39
6. Instructions for monitoring the movement of the earth's surface and objects located on it while building underground structures in Moscow (RD 07-166-97). (1997). Moscow: IPKON RAS Publ. [in Russian].
7. Survey Control Survey Trimble Survey: Neighborhood. (July 23, 2009). Retrieved from [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document409759/TSC_Stationing%20Programs.htm# Setting up neighbors](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document409759/TSC_Stationing%20Programs.htm#Setting%20up%20neighbors) Date of issue.
8. Trimble Survey Controller software: configuring the backsight configuration. (January 21, 2008). Retrived from [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document409759/TSC_Stationing%20Programs.htm # Rear Point Configuration](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document409759/TSC_Stationing%20Programs.htm#Rear%20Point%20Configuration) Configuration.
9. Hiller, Bernd, & Jambaev, H. K. (2016). Development and natural tests of automated systems of deformation monitoring. Vestnik SGUGiT [Vestnik SUGGT], 1(33), 48–61 [in Russian].

10. Trimble Survey Controller software: problems of resection without redundancy. (January 21, 2008). Retrieved from http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document409759/TSC_Stationing%20Programs.htm#Resection.

11. Goryainov, I. V., Kodirov, A. A., Shevchuk, A. A., Averyanov, S. V., & Delphonians, E. V. (2017). Influence of the positions of the sighting target-the reflective mark on the accuracy of the measurements according to the linear-angle intersection scheme. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 29–35 [in Russian].

12. Goryainov, I. V. (2015). Inverse linear angular intersection: a new look at the geometry of the geodesic intersection. *Inzhenernye izyskaniya. Geomarketing [Engineering Survey. Geomarketing]*, 6, 62–66 [in Russian].

13. Goryainov, I. V. (2016). On the best configuration of the linear-angle intersection and the necessary places to achieve the specified accuracy. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 41–47 [in Russian].

14. Lukin, A. S., & Portnov, A. M. (2011). Geodetic resections accuracy at carrying out cadastral works. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 3(16), 53–59 [in Russian].

15. Nikonov, A. V. (2014). Investigation of the influence of the original initial geodetic base on the accuracy of the linear-angle intersection. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 1]*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/v/issledovanie-vliyaniya-stabilnosti-polozheniya-ishodnoy-geodezicheskoy-bases-on-tochnostobratnoy-lineyno-uglovoy-zasechki> [in Russian].

16. Nikonov, A. V. (2013). About the accuracy of reciprocal linear-angles resections for short distances. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1]*. Retrieved from

<https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-tochnosti-obratnoylineyno-uglovoy-zasechki-na-malyh-rasstoyaniyah> [in Russian].

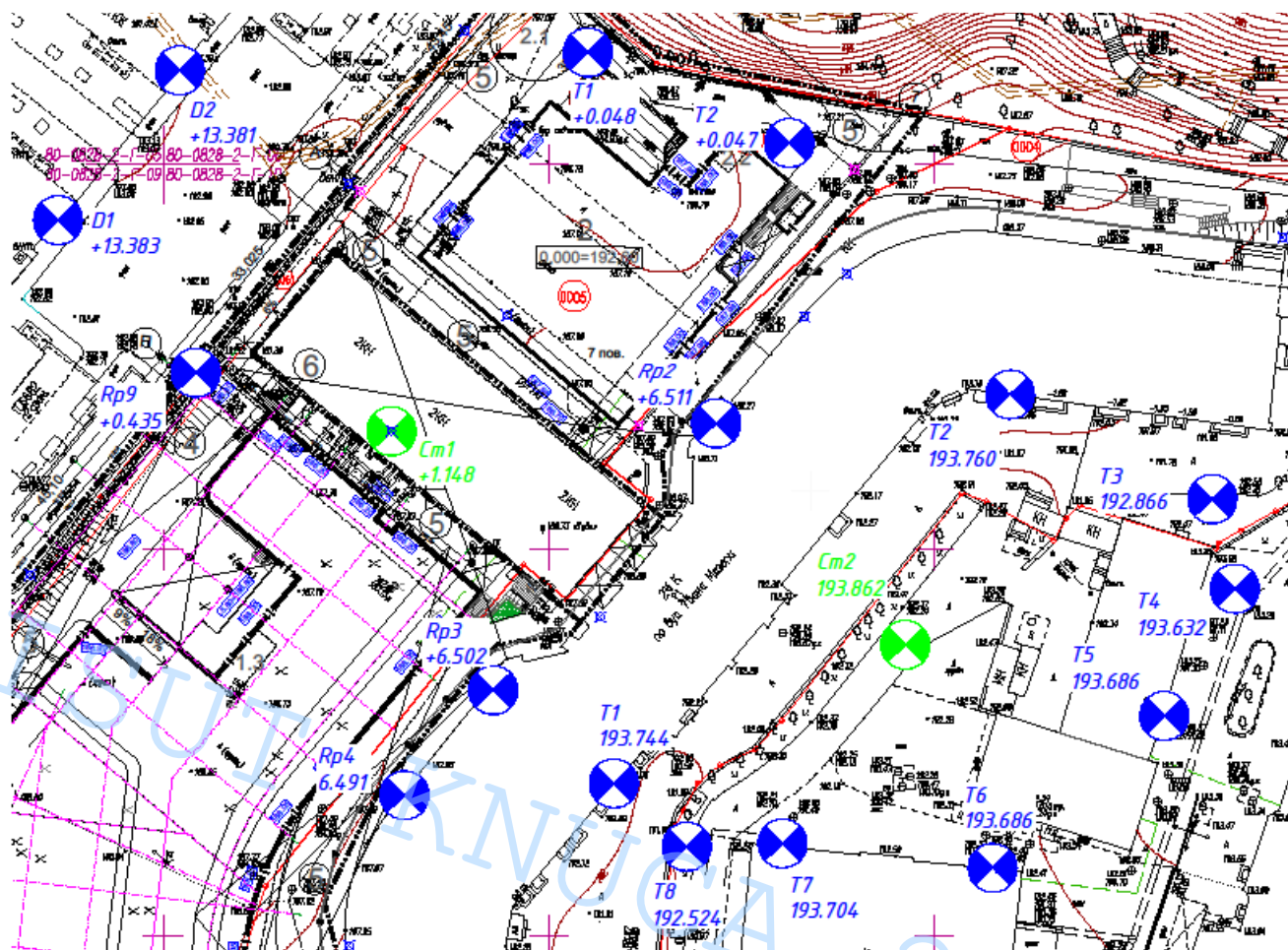
17. Information Bulletin System 1200 – No. 29 TPS1200 Setup – Resection. (n. d.). Retrieved from http://w3.leicageosystems.com/downloads123/zz/general/general/newsletters/System_1200_29_Resection_2_en.pdf.

18. Медведський, Ю., Анненков, А., Ісаєв, О., & Дем'яненко, Р. (2022). АВТОМАТИЗАЦІЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВИСОТНИХ СПОРУД. Містобудування та територіальне планування, (81), 244–253. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.244-253>

GISUT
КНУСА
2023

ДОДАТКИ

Додаток 1





GISUT KNUCA 2023



GISUT
KNUCA 2023