УДК 528.004

М.І.Тарасенко, А.Г. Тіщенко

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОНИХ ТАХЕОМЕТРІВ ПРИ РОБОТІ У БЕЗВІДБИВАЧЕВОМУ РЕЖИМІ

© Тарасенко М.І., Тіщенко А.Г.,2009

Приведена методика проверки характеристик безотражательного режима измерений расстояний для электронных тахеометров. Эта методика и цикл проведенных экспериментов позволяет разработать рекомендации для использования бесконтактного метода измерений на монтажном горизонте.

The article described the method of cheking of descriptions in total station's reflectorless mode during the distance measurements. This method and cycle of conducted experiments allow to develop recommendations for using in reflectorless mode on assembling horizon.

Постановка проблеми. При геодезичному забезпеченні будівництва споруд в складних умовах монтажного горизонту доволі часто змушені застосовувати безвідбивачевий режим. Найчастіше така ситуація зумовлена неможливістю встановлення відбивача (трипель-призми) на відповідний елемент конструкції. Використання безвідбивачевого режиму надає переваги, до яких можна зарахувати: безпечність виконавця (відпадає необхідність у наближенні до потенційно небезпечних місць), скорочення часу проведення спостережень, доступ до практично всіх елементів конструкції. Та все ж таки за різного кута відбивання та збільшення відстані точність безвідбиваючого режиму може істотно зменшуватись.

Аналіз досліджень даної теми. Варто зауважити, що сьогодні властивості безвідбивачевого режиму електронних тахеометрів досліджені недостатньо. Аналіз останнього досвіду та публікацій виявив деякі розбіжності у точності безвідбивачевого режиму віддалемірів сучасних приладів. Існує істотна різниця між реальними характеристиками геодезичного обладнання та тими, які заявлені їхніми виробниками [2].

Мета статті. Розроблення та дослідження методики визначення технічних характеристик безвідбивачевого режиму електронних тахеометрів та розроблення на базі отриманих даних рекомендацій щодо проведення геодезичних спостережень. Основою дослідження є проведення низки експериментів з визначення впливу додаткових предметів, які розташовані поблизу лазерного променя, кута відбивання та фізичних властивостей поверхонь будівельних матеріалів на точність визначення відстаней.

Викладення основного матеріалу. Розроблена методика передбачає такі етапи досліджень:

– визначення форми розсіювання лазерного променя електронного тахеометра під час спостереження на марки різного розміру та форми;

– виявлення впливу сухого та вологого матеріалу відбиваючої поверхні та кута відбивання на точність виконання вимірів;

– визначення впливу додаткових поверхонь відбивання, які розташовані у створі лазерного променя за об´єктом спомтереження (маркою).

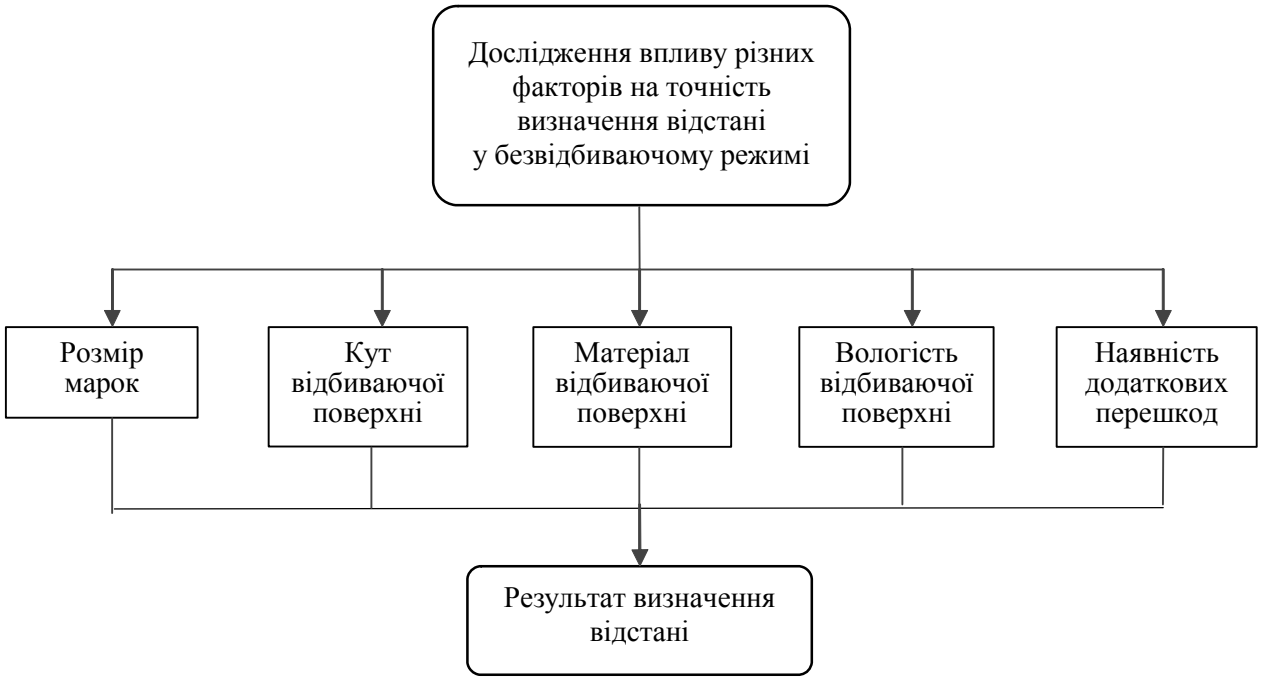

Рис. 1. Структурна схема виконання досліджень

Визначали форму розсіювання лазерного променя за допомогою спеціально сконструйованого пристрою, що складався з квадратної рамки розмірами (150х150) мм, закріпленої на підставці з трипель-призмою. По центру призми на тонкій струні був розміщений маленький магніт, на який кріпились різні за формою та розмірами марки.

Технологія експерименту передбачала виявлення впливу додаткових предметів, які розташовані у створі лазерного променя, тобто за об´єктом спостереження (маркою) на точність визначення відстані. Експеримент передбачав створення додаткової площі відбивання для лазерного променя, причому така площа утворювалась прямокутним екраном розмірами (210х290) мм і розташовувалась позаду рамки з марками, які досліджувались.

До того ж спостереження проводилось на прямокутні марки розмірами (10х20, 15х30, 20х40, 25х50, 30х60, 40х80) мм. Прямокутні марки розміщувались у двох площинах (вертикально і горизонтально), результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення форми розсіювання лазерного променя електронного тахеометра

Параметри досліджень	**Розміри марок, мм**					
	10х20	**15х30**	**20х40**	**25х50**	**30х60**	**40х80**
базова відст.	**9.771**					
	вертикальне розташування марок ($S_{из}$), мм					
вимір. відст.	9929	9798	9777	9774	9771	9771
	горизонтальне розташування марок ($S_{из}$), мм					
	9981	9833	9787	9775	9773	9772
	похибка вимірювань					
$\Delta_в$ ($S_{вим} - S_{іс}$)	158	268	6	3	0	0
$\Delta_г$ ($S_{вим} - S_{іс}$)	210	62	16	4	2	1

Спочатку визначали відстані до відповідних марок без додаткової площі відбивання. Результати спостережень були практично ідентичними, незважаючи на розмір і положення марок, різниця не перевищувала точності приладу, тобто вона була в межах ±2 мм. Тоді як при розміщенні

додаткової відбиваючої поверхні на відстані 1 м за рамкою з марками, відхилення визначення відстаней стали набагато істотнішими. При мінімальному розмірі марок найменша похибка була зафіксована при вертикальному положенні прямокутної марки.

Для виявлення загальної залежності між формою марок та похибкою визначення відстані був розрахований коефіцієнт кореляції r_{xy} [4]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \qquad (1)$$

Коєфіцієнт кореляції визначався між площею марок (в мм^2) та різницею виміряної відстані. Так, для прямокутних марок при їх вертикальному положенні він становив $r_{xy(в)} = -0.57$, а при горизонтальному – $r_{xy(г)} = -0{,}63$.

Від'ємний знак коефіцієнта кореляції свідчить про зворотну залежність між збільшенням розміру марки та помилкою визначення відстані до неї, тобто з збільшенням розміру марок вплив додаткових поверхонь відбивання значно послаблюється. Отримані дані свідчать: що для марок прямокутної форми при їх вертикальному положенні залежність між їх площею та величиною отриманих похибок є мінімальною, тобто вони найкраще відбивають лазерний промінь, а це свідчить про його вертикальну поляризацію.

Величину розсіювання лазерного променя залежно від зміни відстані спостережень визначали так. Під час дослідження відстань збільшувалась з кроком приблизно 10 метрів. Було проведено 5 циклів спостережень на відстанях від 10 м до 50 м. Під час спостережень застосовували марки прямокутної форми з вертикальним розміщенням довгої сторони, тому що в ході попереднього дослідження було виявлено, що цей прилад (Topcon 3005N) має вертикальну поляризацію лазерного променя. У кожному циклі спостережень розміри марок змінювались в діапазоні від (10x20) мм до (40x80) мм з кроком в 2 мм. Додаткова площа відбивання (екран) була розміщена на відстані 1 метра за рамкою з марками, результати спостережень наведені в табл. 2, де ΔS – різниця між еталонною відстанню та фактичною (з вимірювань).

Таблиця 2

Визначення величини розсіювання лазерного променя

Відстань спостережень, в мм	**Розміри марок, мм**															
	10x20	**12x24**	**14x28**	**16x32**	**18x36**	**20x40**	**22x44**	**24x48**	**26x52**	**28x56**	**30x60**	**32x64**	**34x68**	**36x72**	**38x76**	**40x80**
	Площа марок, мм^2															
	200	***288***	***392***	***512***	***648***	***800***	***968***	***1152***	***1352***	***1568***	***1800***	***2048***	***2312***	***2592***	***2888***	***3200***
9599	9639	9620	9617	9615	9613	9612	9611	9611	9610	9610	9609	9609	9609	9608	9.608	9.607
	40	20	18	15	**14**	**13**	**12**	**12**	**11**	**11**	**10**	**10**	**10**	**9**	**9**	**8**
20767	20819	20794	20789	20783	20779	20779	20774	20775	20774	20773	20774	20775	20.775	20.775	20.775	20.773
	52	27	22	16	12	12	**7**	**8**	**7**	**6**	**7**	**8**	**8**	**8**	**8**	**6**
30932	31152	31087	31050	31029	31009	30992	30974	30966	30957	30957	30954	30955	30956	30953	30950	30948
	220	155	117	97	77	60	41	33	**25**	**24**	**22**	**23**	**24**	**20**	**17**	**16**
41555	42221	42052	42060	41983	41977	41837	41749	41756	41669	41654	41620	41616	41610	41614	41600	41591
	666	498	506	428	422	282	195	201	114	99	**65**	**61**	**55**	**59**	**45**	**36**
50090	50895	50806	50780	50726	50621	50428	50509	50280	50287	50257	50224	50207	50172	50155	50152	50143
	805	716	690	636	531	338	419	190	197	167	133	116	82	**65**	**62**	**53**

Результати дослідження, наведені в табл. 2, свідчать, що з збільшенням дистанції до об'єкта спостережень (марки фіксованого розміру) похибка визначення відстані до неї постійно зростає, тоді як у разі збільшення розмірів марок і фіксованій відстані похибка зменшується. Якщо порівнювати величину розсіювання лазерного променя, виявлену під час досліджень із паспортними характеристиками, то різниця є істотною. Так для тахеометра Topcon 3005N на відстані 50 метрів величина розсіювання, заявлена виробником, становить (20x40) мм, при вертикальній поляризації лазерного променя, а насправді вона становить (36x72) мм, тобто майже в два рази

більше. Для повнішого аналізу даних були застосовані методи математичної статистики, з обчисленням коефіцієнта кореляції [4] між результатами визначення відстані та площею відповідної марки на основі даних із результатів досліджень із табл. 2.

На основі даних таблиці згідно з формулою (2) отримаємо коефіцієнти кореляції для різних відстаней спостережень *rxy(10)=-0.66, rxy(20)=-0.62, rxy(30)=-0.76, rxy(40)=-0.87, rxy(50)=-0.90,* де *rxy(10)… rxy(50)* – коефіцієнти кореляції при відстанях спостереження від 10–50 м.

Аналіз цих даних свідчить, що кореляційний зв'язок між збільшенням розміру марки та результатом визначення відстані постійно наближається до одиниці. А від'ємний знак коефіцієнта кореляції говорить про зворотну залежність, тобто з збільшеням розміру марки похибка визначення відстані зменшується.

Побудуємо графік, який відображатиме залежність між розміром марки та похибкою визначення відстані. Знайдемо функцію, яка буде максимально точно апроксимувати залежність між похибкою визначення відстані спостережень та розміром марок. Для цього скористаємось регресійним аналізом. Найважливішою задачею в цьому разі є вибір оптимального алгоритму апроксимації (лінії тренда) [8]. В основі алгоритму апроксимації лежить метод найменших квадратів.

Лінійна апроксимація оптимальна під час моделювання характеристик, значення яких збільшуються або зменшуються з постійною швидкістю. Це найпростіша в побудові модель досліджуваного процесу. Вона будується відповідно до рівняння:

$$y = a + bx + \varepsilon \tag{2}$$

Статечна апроксимація дає хороші результати, якщо значення досліджуваної залежності характеризуються постійною зміною швидкості росту. Якщо серед даних трапляються нульові або негативні значення, то використовувати статечну лінію тренда не можна. Вона задається відповідно до рівняння:

$$y = ax^b + \varepsilon \tag{3}$$

Експонентну апроксимацію ефективно застосовувати в тому разі, якщо швидкість зміни даних безупинно зростає. Для даних, що містять нульові або від'ємні значення, цей вид наближення також не можливий, він задається такою фунціональною залежністю:

$$y = ae^{bx} + \varepsilon \tag{4}$$

Логарифмічну апроксимацію з успіхом застосовують під час моделювання характеристик, значення яких спочатку швидко міняються, а потім поступово стабілізуються. За наявності від'ємних значень цей метод апроксимації застосовувати теж неможливо. Вона задається рівнянням:

$$y = a + b \cdot \ln x + \varepsilon \tag{5}$$

Поліноміальна апроксимація корисна для опису характеристик, що мають декілька яскраво виражених екстремумів. Вибір ступеня полінома визначається кількістю екстремумів досліджуваної характеристики. Цей вид апроксимації будується відповідно до рівняння:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ... + hx^k \tag{6}$$

Для вище перерахованих рівнянь: x – незалежний фактор, y – результат, a і b – параметри, які максимально наближають певну математичну модель до отриманих результатів, ε – спотворення. У разі вибору оптимального методу апроксимації, додатково розраховувалось значення величини R^2 (коефіцієнт достовірності), яка характеризує вірогідність апроксимації, тобто чим ближче значення R^2 до одиниці, тим надійніше цей метод апроксимує досліджуваний процес.

Проаналізувавши наступні види апрокимації, які задаються відповідними рівняннями регресій, а саме: лінійним, статечним, експонентним, логарифмічним та поліноміальним ми дійшли висновку, що оптимальним є логарифмічна апроксимація. У нашому випадку дані, які підлягають аналізу, не можливо визначити певним інтервалом, отримані дані спочатку мали тенденцію до швидкої зміни та потім повної стабілзізації (у разі збільшення розміру марок похибка спочатку швидко зменшується, а потім вже стабілізується). Під час дослідження найефективнішим виявився логарифмічний метод апроксимації, про що свідчить найбільший коефіцієнт достовірності R^2.

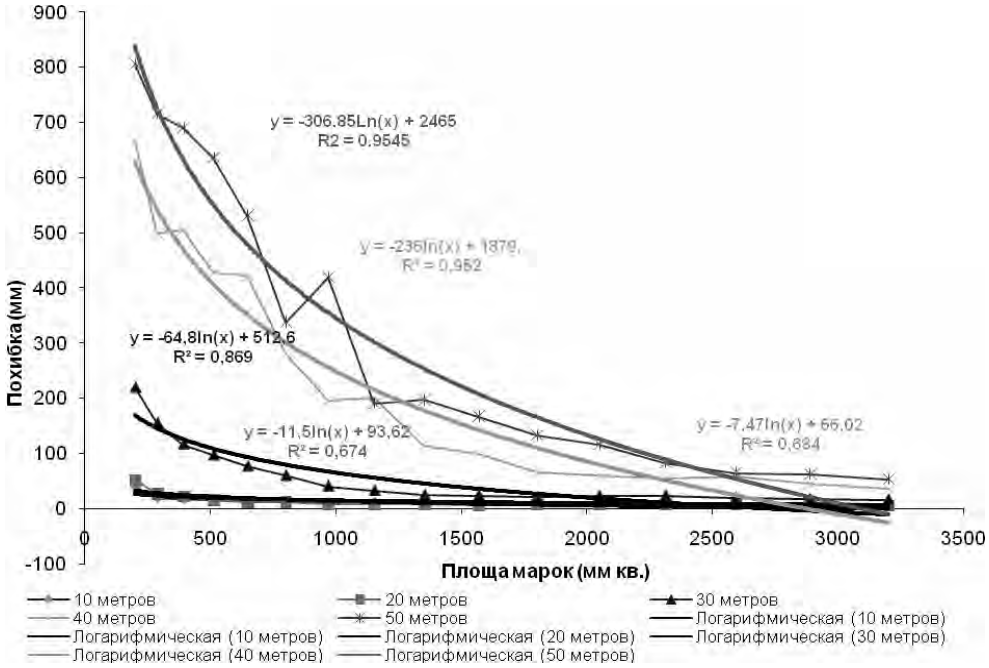

Рис. 1. Графік залежності між похибкою визначення відстані та розміром марок

Перевірка апроксимованих графіків проводилась підстановкою в отримане рівняння значень площі марок згідно з результатами, отриманими під час експерименту (максимальне, середнє та мінімальне). Графіки регресії і їх рівняння визначались програмою Microsoft Excel.

Надалі дослідження було продовжено на реальному об'єкті будівництва. Його метою було визначення впливу додаткових предметів, які можуть попасти у створ лазерного променя під час спостереження на контрольований об´єкт. Порядок дослідження передбачав нанесення на стіну будинку рисок з кроком 5 мм від краю, в діапазоні 30 мм. Вимірювання проводились під кутом 45° до стіни будівлі, причому додаткова площа відбивання (екран) розташовувався за кутом будівлі та віддалявся з кроком 0,5 м так, щоб він постійно перебував у створі лазерного променя електронного тахеометра. Результати досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Визначення впливу відхилення лазерного променя від краю поверхні на точність вимірювань

Дані спостережень (мм)	Величина зміщення лазерного променя від краю будинку (мм)					
	0	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**
$S_{вих}$ (баз. відст)	***14.7588***	***14.7568***	***14.7524***	***14.7496***	***14.7456***	***14.7418***
$S_{зміщ}$ (0.55м)	15.1090	14.8592	14.7796	14.7550	14.7472	14.7442
Δ S	*350.2*	*102.4*	*27.2*	*5.4*	*1.6*	*2.4*
$S_{зміщ}$ (1.00м)	15.2870	14.9096	14.7774	14.7562	14.7492	14.7452
Δ S	***528.2***	*152.8*	*25.0*	*6.6*	*3.6*	*3.4*
$S_{зміщ}$ (1.50м)	15.2586	14.8958	14.7748	14.7576	14.7502	14.7448
Δ S	*499.8*	*139.0*	*22.4*	*8.0*	*4.6*	*3.0*
$S_{зміщ}$ (2.00м)	15.1201	14.8238	14.7608	14.7530	14.7474	14.7416
Δ S	*361.3*	*67.0*	*8.4*	*3.4*	*1.8*	*-0.2*
$S_{зміщ}$ (3.50м)	14.7960	14.7648	14.7554	14.7488	14.7456	14.7424
Δ S	*372.0*	*80.0*	*30.0*	*-8.0*	*0*	*6.0*
$S_{зміщ}$ (3.00м)	14.7604	14.7580	14.7524	14.7486	14.7438	14.7426
Δ S	*16.0*	*12.0*	*0*	*-10.0*	*-18.0*	*8.0*
$S_{зміщ}$ (5.00м)	14.7584	14.7554	14.7530	14.7486	14.7450	14.7422
Δ S	*-4.0*	*-14.0*	*6.0*	*-10.0*	*-6.0*	*4.0*

***Примітка**. $S_{вих}$ – базисна відстань (відстань, яка була отримана без впливу додаткової площі відбивання), $\Delta S = S_{зміщ} - S_{баз.}$ – різниця між базисною відстанню та відстанню отриманою с похибкою.

Під час експерименту було виявлено, що максимальна похибка спостерігається у разі відбивання лазерного променя від краю кута будинку, коли екран перебував на відстані 1 м за точкою спостереження по створу, то похибка становила 528 мм. При відхиленні променя на 20 мм вздовж стіни похибка практично не відчувається (±2мм). Віддалення екрана від точки спостереження (краю кута будинку) більш ніж на 3 метри практично не впливає на результати визначення відстані.

Надалі досліджувався вплив різного типу будівельних матеріалів на точність визначення відстані електроним тахеометром в безвідбивачевому режимі. Для проведення цього дослідження був виготовлений спеціальний пристрій, на якому встановлювались фрагменти різних будівельних матеріалів однакової товщини. Під час проведення експерименту було виявлено, що при перпендикулярному розміщенні фрагментів матеріалу до падаючого променя, результати вимірювань були практично ідентичними, не зважаючи на зміну освітленості і вологості матеріалу, тоді як у разі зміни кута відбивання, результати почали змінюватись (див. табл. 4).

Таблиця 4

Вплив типів поверхонь та кута падіння лазерного променя на точність визначення відстані у безвідбивачевому режимі

Тип поверхні		**Значення кута відхилення матеріалу (в градусах)**									**Коеф. корел.**
		0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	
1		*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
Бетон	*Сухий*	9999	10000	9999	9999	10000	10002	10000	9998	9997	***-0.36***
	Вологий	10000	10000	10000	9999	10000	9999	9999	9999	9997	***-0.73***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*1*	*0*	*0*	*1*	*3*	*1*	*-1*	*-2*	
	Δв	*0*	*1*	*1*	*0*	*1*	*0*	*0*	*-1*	*-3*	
Мармур матовий	*Сухий*	10000	9999	10001	10000	10001	10001	10002	10003	10003	***0.87***
	Вологий	10004	10007	10009	10009	10011	10013	10014	10015	10018	***0.99***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*-1*	*0*	*-1*	*0*	*1*	*1*	*2*	*3*	
	Δв	*0*	*3*	*4*	*5*	*7*	*9*	*10*	*11*	*14*	
Плитка облицювальна	*Суха*	9999	9998	9999	9998	10000	9999	10001	10002	10001	***0.80***
	Волога	10001	9999	10000	9998	10000	10000	9999	9999	9999	***-0.25***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*-1*	*0*	*-1*	*0*	*0*	*2*	*3*	*2*	
	Δв	*0*	*-2*	*-1*	*-3*	*-1*	*-1*	*-2*	*-2*	*-2*	
Плитка глянсова	*Сухий*	10000	9999	9999	10000	10002	10006	10021	10094	10256	***0.72***
	Вологий	9998	9999	9999	10001	10003	10006	10022	10084	10231	***0.73***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*-2*	*-1*	*0*	*2*	*6*	*21*	*94*	*256*	
	Δв	*0*	*1*	*1*	*2*	*5*	*7*	*23*	*86*	*233*	
Плитка матова	*Суха*	10000	9999	9999	10000	10000	10001	10001	10001	9996	***-0.20***
	Волога	9999	10000	9999	10001	10002	10002	10003	10004	9997	***0.29***
	Δс	*0*	*-1*	*-1*	*0*	*0*	*1*	*1*	*1*	*-4*	
	Δв	*0*	*1*	*0*	*2*	*3*	*3*	*4*	*5*	*-2*	
Алюміній	*Сухий*	9998	9999	10014	10078	10189	10250	10302	10408	-	***0.97***
	Вологий	9998	9997	10008	10053	10154	10206	10275	10359	-	***0.95***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*1*	*16*	*80*	*191*	*252*	*304*	*410*		
	Δв	*0*	*-1*	*10*	*55*	*156*	*208*	*277*	*361*		
Мідь	*Суха*	10001	10001	10002	10002	10004	10006	10008	10012	10003	***0.74***
	Волога	10000	10001	10001	10002	10004	10005	10005	10007	10000	***0.50***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*0*	*1*	*1*	*3*	*5*	*8*	*11*	*3*	
	Δв	*0*	*1*	*1*	*2*	*4*	*4*	*5*	*7*	*0*	

Продовження табл. 4

1		*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
Сталь	*Суха*	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9998	10.000	***-0.10***
	Волога	10001	10000	10000	9998	10000	10002	10004	10010	-	***0.73***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*-1*	*0*	
	Δв	*0*	*1*	*0*	*-1*	*1*	*2*	*4*	*11*	-	
Цегла	*Суха*	9998	9998	9997	9996	9997	9997	9996	9997	9997	***-0.25***
	Волога	9999	9998	9998	9996	9996	9996	9996	9999	9996	***-0.41***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*0*	*-1*	*-1*	*0*	*0*	*-2*	*0*	*-1*	
	Δв	*1*	*0*	*0*	*-1*	*-2*	*-2*	*-2*	*1*	*-1*	
Дерево	*Сухе*	10003	10004	10005	10005	10005	10005	10005	10.003	10.006	***0.23***
	Вологе	10004	10005	10006	10007	10006	10008	10007	10.008	10.013	***0.85***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*1*	*2*	*2*	*1*	*2*	*1*	*0*	*2*	
	Δв	*0*	*0*	*2*	*2*	*2*	*4*	*3*	*4*	*9*	
Пенопласт	*Сухий*	10004	10006	10008	10010	10009	10010	10011	10010	10003	***0.27***
	Вологий	10005	10008	10009	10011	10010	10012	10012	10015	10003	***0.22***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*3*	*4*	*6*	*5*	*6*	*7*	*6*	*0*	
	Δв	*0*	*2*	*4*	*6*	*5*	*6*	*6*	*10*	*-3*	
Мармур глян.	*Сухий*	9998	10002	10003	10004	10008	10012	10019	10058	10030	***0.82***
	Вологий	10000	10004	10006	10007	10009	10012	10015	10054	10029	***0.78***
		S0	S10-S0	S20-S0	S30-S0	S40-S0	S50-S0	S60-S0	S70-S0	S80-S0	
	Δс	*0*	*4*	*5*	*7*	*10*	*14*	*21*	*60*	*33*	
	Δв	*0*	*7*	*9*	*9*	*11*	*14*	*17*	*56*	*31*	

***Примітка**. Δс – різниця між виміряною відстанню до перпендикулярно розташованої сухої площі матеріалу та відхиленою, Δв – різниця між виміряною відстанню до перпендикулярно розташованої мокрої площі матеріалу та відхиленою.

У результаті досліджень було виявлено, що найбільшу залежність між збільшенням кута відбивання та похибкою визначення відстані спостерігаємо у сріблястих та глянсових матеріалів (зокрема алюмінію, мармуру та керамічної плитки). Так, для алюмінію у разі відхилення поверхні на кут в 30° похибка становила 80 мм. Глянсова плитка та шлифований мармур при куті в 60° приводили до похибки в визначенні відстані до 20 мм. Найстабільніші характеристики були виявлені у таких матеріалів: для цегли максимальна похибка на всьому діапазоні відхилень становила 6 мм; для дерева – 9 мм; бетон будівельний – 2 мм.

Для матеріалів, у яких були зафіксовані максимальні відхилення у визначенні відстаней, побудуємо графік залежності між кутом відбиваючої поверхні та відповідною похибкою визначення відстані. Надалі підберемо оптимальний варіант апроксимації графіка за допомогою методів регресійного аналізу. Серед всієї сукупності отриманих даних (див. табл. 4) зустрічаються від'ємні та нульові значення відхилень, тому оптимальним є метод апроксимації за поліноміальним рівнянням регресії (див. рис. 2).

Результати, отримані під час дослідження, підтвержені спектральними характеристиками матеріалів [7]. Так, для довжини світової хвилі λ=589,3 нм (спектр червоного лазера) коефіцієнти відбивання (ρ) відповідають таким значенням (див. табл. 5)

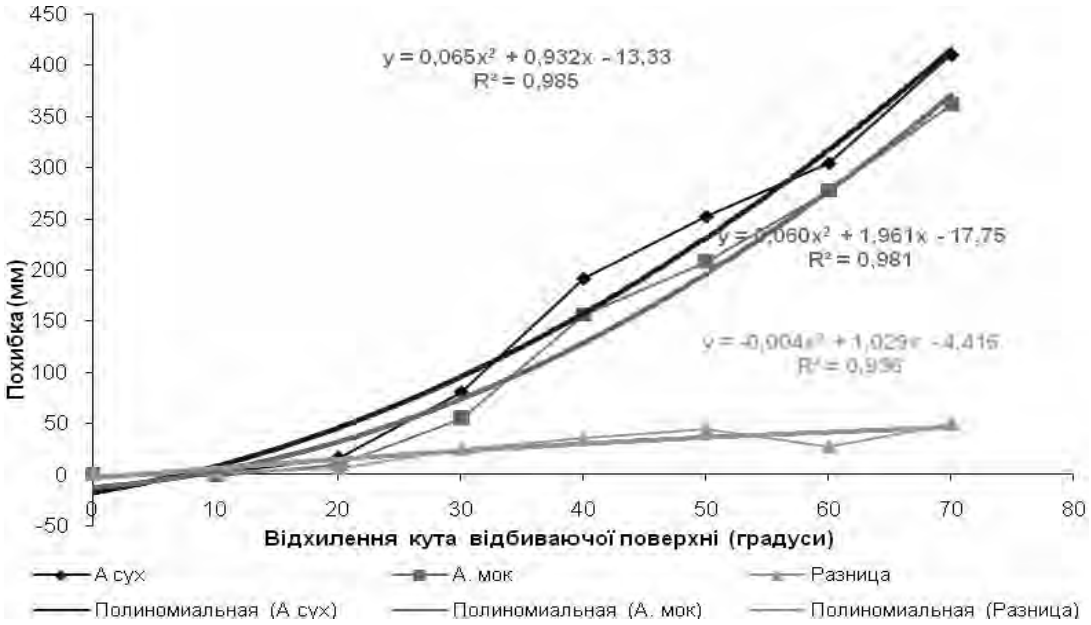

Рис. 2. Залежність між похибкою визначення відстані та кутом падіння лазерного променя

Таблиця 5

Значення коефіцієнта відбивання (ρ) для різних типів поверхонь

Тип матеріалу	Алюміній	Сурьма	Платина	Серебро	Вісмут	Свинець	Нікель	Вольфрам	Золото	Мідь	Родій	Нікель	Хром	Олово	Біла фарфорова емаль
Коефіцієнт відбивання (ρ)	0,83	0,70	0,70	0,95	0,65	0,62	0,66	0,54	0,85	0,73	0,74	0,70	0,62	0,65… …0,69	0,65… …0,85

Як очевидно з табл. 5, алюміній має практично один із найбільших коефіцієнтів відбивання.

Висновки. Розроблена методика та цикл проведених спостережень дає змогу розробити рекомендації для використання безвідбивачевого режиму вимірювань під час геодезичного забезпечення будівництва і реставрації споруд.

Під час вимірювання відстаней на глянсові та сріблясті поверхні бажано спостерігати під прямим кутом, або застосовувати додаткові поверхні, якими можна перекрити розсіювання лазерного променя.

У разі створення опорної основи на монтажному горизонті з застосуванням пластикових світовідбиваючих марок бажано їх закріплювати на однорідній поверхні розмірами не менше 100х100 мм.

Запропоновану методику можна використовувати для перевірки сучасних електронних тахеометрів. Дослідження режимів лазерних віддалемірів електронних тахеометрів у таких граничних умовах дає змогу судити про реальну точність певного приладу.

1. Использование безотражательных тахеометров и систем комплекса Credo для съёмки фасадов зданий/ Геопрофи/ №5, 2003г. 2. Ворошилов А.П. Спутниковые системы и електронные тахеометры в обеспечении строительных работ/ Учебное пособие: Челябинск: Аквелл, 2007, с.163. 3. С.И. Котельников Применение наземного лазерного сканирования при проектировании навесных фасадов //. Геопрофи №4, 2007г. 4. С.П. Войтенко Математична обробка геодезичних вимірів / Київ 2003 с. 205. 5. Н.Г. Видуєв, Г.С. Кондра Вероятно-статистический аналіз погрішностей измерений / м. "Недра", 1969, с.320. 6. В.И. Суслов, Н.М. Ибрагимов, Б.Б. Карпенко, Е.А. Коломак Эконометрия I: регрессионный анализ / методическое пособие с.25. 7. А. Пряхов Светотехнические материалы // http://rus.625-net.ru/625/2005/01/prjadko.htm. 8. В. Гавриленко, Л. Парохненко Решение задач аппроксимации средствами Excel // http://subscribe.ru/archive/comp.paper.bestarticles/200302/04010208.html.