



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580301](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580301)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 25.06.2025 г.

АНАЛИЗ НА ТОЧНОСТТА И ВЕРИФИКАЦИЯ НА ИЗМЕРЕНИ ВИСОКИ ОБЕКТИ ПОСРЕДСТВОМ ЛАЗЕРЕН ДАЛЕКОМЕР SW-600A

Б. Александров¹, Р. Николов²

Ключови думи: лазерен далекомер, тотална станция, високи обекти, тригонометрични превишения

РЕЗЮМЕ

Разгледана е възможността за приложение на специализиран лазерен далекомер при определяне на височините на обекти в труднодостъпна природна среда, където използването на конвенционална геодезическа апаратура е по-сложно или невъзможно поради риск за работните екипи. Извършени са голям брой сравнителни измервания с цел установяване на сходимост при резултатите, контролирани с тотална станция.

1. Въведение

Определянето на височини на различни обекти е често срещана дейност в геодезическата практика. Най-разпространени са случаите на разнообразни строителни конструкции и съоръжения, като: комини, антени, ретранслатори, водонапорни кули, кранове и други, чиято височина може да бъде определена както от конструктивни чертежи, така и от преки измервания. Съществуват и обекти, които могат да бъдат определени по височина единствено чрез геодезически измервания: скални отвеси, стени а също така и водопади. В общия случай тези природни дадености не са с правилна форма и строго отвесни, което прави тяхното измерване сложно, а често и особено

¹ Борислав Александров, доц. д-р инж., кат. „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: alekb_fgs@uacg.bg

² Радослав Николов, инж., оператор в компютърна лаборатория към ГФ, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: rnikolov.fgs@uacg.bg

опасно. Използването на въжета или мерни ленти за непосредствено измерване на височините не може да се приеме за достоверно поради големите отклонения от вертикалната линия от различни обструкции по стените или отклоняване на мерната линия. Това налага да се разчита на друг, достатъчно надежден метод за установяване на височините, и то с желана за целта точност.

За тази цел се прибягва до геодезически измервания на съответния обект чрез ъгли и дължинни измервания, от които на базата на геометрични зависимости се изчислява търсената височина [3]. Избраните инструменти осигуряват съответната точност на крайния резултат, която предварително е установена за отделните обекти. При изследване на структурата на водопадите като географски обект и феномен, начина на тяхното геоморфоложко образуване и съществуване, е установено, че изчисляването на височините им с точност, по-прецизна от няколко дециметра, освен че не е необходима, е и несигурно определена поради сложния път на водата, не винаги ясен и недвусмислен между скалите и алувиалните наслаги. От друга страна повечето водопади, напълно логично и обяснимо, са в силно пресечени планински терени, което технически затруднява конвенционалните геодезически измервания с най-точната техника, достъпа до обекта, както и сигурността на екипите. Това обезсмисля инвестицията в скъпи и рискови геодезически дейности за постигането на точност от няколко сантиметра при определяне на височините на водопадите.

2. Лазерен далекомер SNDWAY SW-600A

Лазерният далекомер е лесно преносим, не затруднява екипите, надежден е като работа и издръжливост, и е установено, че осигурява необходимата дециметрова точност. В експеримента е използван модел SW-600A, предназначен за измерване на разстояния, вертикални ъгли и скорост. Приложението му не предполага използване за точни геодезически измервания, но за определени цели и точности компактността на уреда, лесната експлоатация и ниската цена са безспорно предимство (фиг. 1).



Фиг. 1. Лазерен далекомер SW-600A

Далекомерът използва за измерванията лазерен лъч в невидимия за човешкото око спектър, с клас II, дължина на вълната 905 nm и мощност под 1 mW. Лазерният лъч се отразява от целта и се връща в оптическата система, като по този начин се определят разстоянието и ъгълът. Условието за измерване имат известни ограничения, свързани с качествата на отразяващата повърхност, като например огледални части или много ярка светлина. Влияние може да окажат също формата и цветът на обекта. Техническите характеристики на далекомера са представени в табл. 1.

Таблица 1. Технически параметри на далекомера SW-600A

| Параметър | Стойност и мерна единица |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Зрително поле | $6^{\circ} \pm 10 \%$ |
| Работен диапазон за дължини | 5 – 600 m |
| Точност на измерените дължини | 1 m + 0,2 % D |
| Диапазон на измерваните ъгли | $\pm 90^{\circ}$ |
| Точност на измерваните ъгли | $\pm 1^{\circ}$ |
| Увеличение на зрителната тръба | 6x |
| Диаметър на окуляра | 15 mm |
| Изходяща зеница | 23,7 mm |
| Диапазон на фокусиране | $\pm 5 D$ |
| Покритие на лещите | Пълно (FMC) |
| Влагоустойчивост | IP 54 |
| Работна температура | 0 – 40° |
| Размери | 104 × 76,5 × 41 mm |
| Тегло | 197 g |
| Възможности на батерията (750 mAh) | 30 000 измервания с пълен заряд |
| Живот на батерията | 800 цикъла на заряд-разряд |

Тоталната станция, използвана за сравнителните измервания, е Topcon GM-55. Инструментът е предназначен за геодезически измервания с висока точност, а конкретният модел е с параметри, позволяващи използването му в по-голяма част от геодезическите работи, извършвани при строителството на сгради и съоръжения и създаването на цифрови модели за картографски и други нужди. Разполага с високоточен светлодалекомер, позволяващ определяне на разстояния до 4000 m, с използване на отражател, и до 500 m при измерване в безпризмен режим върху различни повърхности. По критерия точност той е напълно подходящ за контрол на измерванията с горепосочения лазерен далекомер, както и за определяне на височините на водопади.

3. Експериментален анализ за изследване на достоверността на измервания с лазерен далекомер при определяне на височини на водопади

Експериментът включва поредица от измервания на наклонени разстояния и ъгли с цел определяне на височини на недостъпни обекти, като е направено сравнение на установената крайна височина на обектите. При измерванията с тоталната станция е използван безрефлекторен режим за разстояния от 6 до 160 m.

При работа с далекомера е използван статив за избягване дори и на малки трептения от ръцете, тъй като практиката показва, че при работа от свободна ръка е неточно определено насочването на нишковия кръст. При проведени измервания без статив са установени разлики от определените с тоталната станция височини от порядъка на 1 m, при отдалечение над 100 m, което при този начин на работа не е голяма грешка. Когато се използва стативът, максималната разлика е от 0,47 m при разстояние над 80 m, което е в дециметровата точност и за определени цели може да бъде пренебрегнато.

За изчисление на височините е използвана формула (1) с наклонени разстояния и зенитни ъгли, отчетени до характерни, ясно видими точки, тъй като обектите не са строго вертикални в цялата си структура [1]. Общата височина на обектите е определена като сума от отделните сегменти, със съответния знак, изчислени по формулата:

$$H = S_1 \cos Z_1 - S_2 \cos Z_2, \quad (1)$$

където H е общата височина в m;

S – наклоненото разстояние в m;

Z – зенитен ъгъл в [°].

Не са сравнявани показанията на вертикалните ъгли и разстоянията поотделно, тъй като се търси сходимост между крайните височини на обектите, получени чрез изчисления на зенитни ъгли и наклонени разстояния при тоталната станция и директно изчислените стойности на далекомера. При тоталната станция зенитните ъгли се измерват в градуси, с точност от порядъка на 15^{cc}, а разстоянията – до няколко сантиметра в безрефлекторен режим на работа [2]. При лазерния далекомер показанията за вертикалните ъгли са в градуси, до десета, а разстоянията – до дециметър, което показва не по-малко от един порядък занижена точност. Това предполага точността на изчислените височини да достига до дециметър, а сравнението на резултатите с тоталната станция да варира до половин метър.

Отделните експериментални измервания са подредени по нарастване на наклонените разстояния, като най-късите са 6,26 m и достигат до 161,27 m. Зенитните ъгли варират от 86,9128^g до 141,8014^g. При съставяне на таблиците са използвани следните означения:

Z – измерен зенитен ъгъл;

S – измерено наклонено разстояние с тотална станция;

h_{TS} – превишения, определени с тотална станция;

SW-600A – измерено наклонено разстояние с далекомер;

h_D – превишения, определени с далекомер.

Таблица 2. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|----------------|----------|---------|--------------|-------------|-----------|
| 1 | 93,2030 | 6,265 | 0,67 | 6,4 | 0,5 |
| 2 | 111,1786 | 6,320 | -1,10 | 6,4 | -1,2 |
| Обща височина: | | | 1,77 | | 1,7 |

Таблица 3. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|----------------|----------|---------|--------------|-------------|-----------|
| 3 | 93,2954 | 25,108 | 2,64 | 24,8 | 2,7 |
| 4 | 141,8014 | 31,622 | -19,3 | 31,1 | -19,5 |
| Обща височина: | | | 21,94 | | 22,2 |

Таблица 4. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|----------------|----------|---------|--------------|-------------|-----------|
| 5 | 95,9170 | 33,94 | 2,18 | 34,1 | 2 |
| 6 | 101,5132 | 35,25 | -0,84 | 35,5 | -1,1 |
| Обща височина: | | | 3,02 | | 3,1 |

Таблица 5. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|-----------------------|----------|--------|--------------|-------------|-------------|
| 7 | 94,5712 | 58,893 | 5,02 | 57,9 | 4,1 |
| 8 | 102,1070 | 51,463 | -1,70 | 51,4 | -1,8 |
| 9 | 106,6748 | 51,169 | -5,36 | 51,3 | -5,6 |
| 10 | 122,5550 | 55,034 | -19,09 | 55,1 | -19,7 |
| Обща височина: | | | 31,17 | | 31,2 |

Таблица 6. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|-----------------------|----------|--------|--------------|-------------|-------------|
| 11 | 99,3500 | 63,231 | 0,65 | 64,1 | 0,4 |
| 12 | 105,3828 | 54,045 | -4,56 | 54,6 | -4,8 |
| 13 | 122,0118 | 56,668 | -19,21 | 56,8 | -19,7 |
| Обща височина: | | | 24,42 | | 24,9 |

Таблица 7. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|-----------------------|----------|--------|--------------|-------------|------------|
| 14 | 99,2644 | 81,384 | 0,94 | 81,4 | 0,5 |
| 15 | 106,0238 | 81,791 | -7,73 | 81,8 | -7,7 |
| Обща височина: | | | 8,67 | | 8,2 |

Таблица 8. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|-----------------------|----------|--------|--------------|-------------|-----------|
| 16 | 97,7726 | 90,947 | 3,18 | | |
| 17 | 115,8792 | 77,135 | -19,04 | | |
| Обща височина: | | | 22,22 | | |

Таблица 9. Експериментални измервания

| № | Z (g) | S (m) | h_{TS} (m) | SW-600A (m) | h_D (m) |
|-----------------------|---------|---------|--------------|-------------|-------------|
| 18 | 86,9128 | 161,272 | 32,92 | 161,6 | 32,2 |
| 19 | 95,8400 | 157,650 | 10,29 | 158,5 | 9,6 |
| Обща височина: | | | 22,63 | | 22,6 |

При изчислените височини има една разлика от 0,7 m за отдалечение 161,27 m, което се отнася за същата визура, с максимална разлика в измереното разстояние. Грешката се определя като 1:230, а при по-късите разстояния тя варира до 1:30 – за най-късата визура от 6,26 m. От всичките 17 измервания за изчисляване на височини, четири показаха разлики до 0,6 – 0,9 m, а останалите 13 са под 0,5 m, което осигурява надеждност на крайния резултат.

Гаранцията за използване на лазерния далекомер SW-600A при определяне на височини на обекти изисква да се подложат на детайлно изследване всички потенциални източници на грешки или занижена точност при измерванията. Това включва определяне на грешката от насочване на нишковия кръст на далекомера, покритието на нишката върху образа на обекта, както и сравнение на измервания на височини с използване на статив и при работа от ръка. Само при изяснени и доказани стойности на тези параметри може да се приемат за достоверни определените впоследствие височини на обектите.

С цел да се определи грешката в изчислените височини вследствие на грешката от насочване на нишковия кръст на далекомера SW-600A към съответния обект, е

направено изследване на ред от насочвания към обекти с известни размери, отстоящи на различни дистанции. По този начин може да се изясни при съответното разстояние колко сантиметра от обекта покрива дебелината на нишката от зрителното поле на далекомера, което би оказало влияние на точността на определената впоследствие височина. Направени са контролни измервания към обекти на разстояние от 3,5 m, до 601 m, като е наблюдавано какво реално разстояние покрива нишката на нишковия кръст. Експериментът потвърждава избора на дециметрова точност като най-подходяща при определяне на височините на водопади. Резултатите са показани в табл. 10.

Таблица 10. Покритие на нишковия кръст в съответствие с отдалечението

| Номер | Разстояние до обекта, (m) | Покритие на нишковия, кръст (cm) |
|-------|---------------------------|----------------------------------|
| 1 | 3,5 | 0,3 |
| 2 | 50 | 2 |
| 3 | 120 | 5 |
| 4 | 260 | 7 |
| 5 | 340 | 9 |
| 6 | 450 | 15 |
| 7 | 600 | 20 |

Като крайна проверка в изследването са включени и измервания на височините на няколко различни водопада, направени в реални условия, едновременно с тоталната станция и лазерен далекомер. При този тест инструментите са подложени на действителните условия на измерване, включващи голяма отдалеченост на обектите (от 100 m до 400 m), мокра повърхност с лоша отражателна способност, силна динамика на метеорологичните условия. В табл. 11 са представени данни от измерванията и е направено сравнение на получените резултати за отделни водопади [4].

Таблица 11. Сравнение на височини от полски измервания на водопади

| Име на водопад | Измерена височина с тотална станция, (m) | Измерена височина с лазерен далекомер, (m) | Разлика, (m) |
|----------------------|--|--|--------------|
| Дяволско пръскало | 202,5 | 202,1 | 0,4 |
| Мечкулски водопад | 51,3 | 51,6 | 0,3 |
| Райско пръскало | 124,2 | 124,6 | 0,4 |
| Карааланишки водопад | 34,7 | 34,9 | 0,2 |
| Боянски водопад | 28,0 | 27,5 | 0,5 |
| Овчаренски водопад | 34,0 | 34,4 | 0,4 |
| Под камико | 38,7 | 38,6 | 0,1 |
| Бовска скакля 1 | 87,8 | 87,6 | 0,2 |
| Скока (Тетевен) | 16,8 | 16,6 | 0,2 |
| Пръскалото (Тетевен) | 50,7 | 50,2 | 0,5 |

Сравнението показва висока сходимост в рамките на търсената точност (дециметрова) на измерените с лазерен далекомер височини до определените с тотална станция.

При този тест се установиха няколко предимства и недостатъка на двете технологии:

- Основно предимство на лазерните далекомери е тяхната лекота и бързина на работа. При провеждане на подобни измервания достъпът до обектите, в

- повечето случаи, е силно затруднен. Обвързан е с провеждане на дълги, пешеходни преходи, с продължителност от по няколко часа и преодоляване на големи разстояния и денивелация. В тези ситуации малките размери и лекият корпус на инструмента му дават категорично предимство пред тоталната станция. Постигнатата точност на крайната височина до измерените със станцията потвърждават, че за такъв тип измерване това е по-удачният инструмент. Освен това тези измервания могат да се правят лесно и удобно от места с много сложен и дори екстремен достъп.
- Второто предимство на лазерните далекомери е обхватът при работа с безпризмен режим на измерване. Съществуват различни видове, като при някои могат да се определят разстояния от порядъка на над километър. Това е характеристика, която липсва при повечето тотални станции от средния клас и води до усложняване на работния процес, налагайки използването на фигурант с отражател.
 - Въпреки показаното до тук, тоталната станция остава по-надеждна при измервания, благодарение на значително по-стабилния начин на насочване (използването на микрометрични винтове и много по-сигурното визиране в обекта на измерване). Това предимство осигурява сигурност при сложни за измерване обекти, включващи неясно изразени горна и долна точка, множество начупвания на водния пад или много широк водопад, с лоша отражателна повърхност.
 - Работата с тотална станция осигурява още един важен аспект от измерването на водопади, а именно – възможността за създаване на надеждни и точни вертикални разрези на водния пад. Благодарение на своето устройство инструментът позволява изключително лесно и бързо определяне на хоризонтални посоки, зенитни ъгли и разстояния, като основното предимство тук е наличието на хоризонталния кръг, който липсва при лазерните далекомери.

4. Заключение

Направените изследвания за сравнение на изчислени височини на обекти от измервания с тотална станция и лазерен далекомер SW-600A дават основание да се счита, че той може да бъде използван достатъчно надеждно за разнообразни обекти с дециметрова точност. Това е възможно при условие, че се използва тринога или статив при визиране и отчитане към ясно видими неподвижни обекти. При по-сложни обекти, с лесен достъп, се препоръчва използването на тотални станции, които да осигурят свързаността на измерванията и съответно достоверността на резултатите. Въпреки това ползата от лазерните далекомери е несъмнена, когато се търси баланс между техническата сложност с риск при измерванията и допустимата точност за определяне на височината на обекти, независимо дали са природни дадености или технически съоръжения.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-305/24 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

Екипът, извършил геодезическите измервания, свързани с проекта, изказва благодарност за оказаната финансова подкрепа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mikrenska, Kr., Aleksandrov, B., Pavlov, P.* Geodeziq. UASG, 2021, Sofia.
2. *Mikrenska, Kr., Pavlov, P., Ilieva-Cvetkova, T.* Rakovodstvo za rabota s totalni stancii. UASG, 2017, Sofia.
3. *Pavlov, P.* Geodeziq I. Sofia, 2017.
4. *Baltakova, A., Aleksandrov, B., Nikolov, R., Tsvetanov, M.* Morphology of waterfalls and positioning of their elements within high precision geodetic measurements, National Conference with International Participation “GEOSCIENCES 2024” At: Sofia, Bulgaria 12 и 13.12.2024, DOI: 10.52215/rev.bgs.2024.85.3.261, p. 261 – 264.

ACCURACY ANALYSIS AND VERIFICATION OF MEASURED HIGH OBJECTS BY SW-600A LASER RANGEFINDER

B. Alexandrov¹, R. Nikolov²

Keywords: laser rangefinders, total station, waterfalls, determination of height of objects

ABSTRACT

The possibility of applying a specialized laser rangefinder in determining the heights of objects in hard-to-reach natural environments, where the use of conventional geodetic equipment is more complicated or impossible due to the risk to the work teams, is considered. A large number of comparative measurements are carried out in order to establish the convergence of the total station controlled results.

¹ Borislav Alexandrov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geodesy and Geoinformatics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: alekb_fgs@uacg.bg

² Radoslav Nikolov, Eng., CLO GF, UACEG, 1, H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: mikolov.fgs@uacg.bg