

ИЗПОЛЗВАНЕ НА МОЩНИ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ В ТРАНСПОРТНОТО СТРОИТЕЛСТВО

Румен Иванов, Петър Брънзалов, Невена Бабунска-Иванова, Коста Костов
rang75@hotmail.com, ppb@vtu.bg

**ВТУ “Тодор Каблешков”, 1574 София, ул. “Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: транспортно строителство, инженерна геодезия, лазерни нивелири

Резюме: В представената работа е разгледано използването на лазерни нивелири в транспортното строителство, като са сравнени измервания направени с оптични и лазерни нивелири. Експерименталната проверка в полеви условия, показва преимуществото на лазерните нивелири, спрямо оптичните нивелири по отношение на обем извършена работа. Разгледан е въпроса за провеждане на измервания при неблагоприятни атмосферни условия. Направен е извода, че използването на лазерни нивелири е иновационен подход, пестящ труд и време, при извършване на геодезически работи в транспортното строителство.

1. ВЪВЕДЕНИЕ.

1.1 Съвременно състояние на проблема. Нивелацията е геодезическа дейност, имаща за цел определяне на превишения между точки, както и определяне на техните височини, спрямо приета изходна повърхност. За тази цел в транспортното строителство се прилагат оптични, лазерни и дигитални нивелири и с тях се установява хоризонтална визирна линия. Дигиталните нивелири са с милиметрова и по-висока точност, скъпи са, и няма смисъл в тяхното използване там, където се изисква сантиметрова точност, каквато е точността при голям брой геодезически работи. Когато се използват оптични нивелири за измерване на превишението между две точки, върху точките вертикално се изправят лати. На равни разстояния от точките се поставя нивелир и при хоризонтална визирна линия на зрителната му тръба последователно се правят отчети по латите. Използват се нивелири, на които зрителните тръби имат увеличение няколко десетки пъти и отчетите по латите се извършват визуално, като се използва най-благоприятното метеорологично време за измерване. Нивелачните точки се избират така, че да бъдат близко до строителния обект и се стабилизират на местността. Допълнително се поставя условие тези точки да са на стабилни места. Оттук идва и ограничението за разстоянието между нивелира и латите, което от своя страна увеличава броя на точките и увеличава времето за работа. Тези ограничения могат да се преодолеят, ако се използва мощен лазерен лъч, с който да се установи хоризонтална линия на по-дълги разстояния, което води до повишаване на производителността на работа. Използването на лазерни нивелири е иновационен подход, на който се разчита, за да се пести труд и време, при извършването на редица

геодезически работи в транспортното строителство, като направата на откоси, площна нивелация, трасиране на линия с проектен наклон и други. Други приложения на лазерните нивелири в съвременните строителни дейности включват използването им: (i) при инсталирането на окачени тавани, при монтирането на осветителни тела, при полагането на различни видове плочки и при подравняване на врати и прозорци; (ii) при полагането на водопроводни, канализационни и електрически инсталации, при нивелирането на тръбопроводи; (iii) при нивелиране на кофражи, огради, при ландшафтното строителство; (iv) при даване на строителна линия и ниво, при монтирането на метални и покривни конструкции, при изследване на деформации на сгради и съоръжения.

1.2. Формулиране на задачата. Настоящата работа има за цел да разгледа основните видове лазерни нивелири и да представи резултати от експериментална проверка в полеви условия на възможностите на лазерните нивелири спрямо оптичните такива, по отношение на обем извършена работа.

2. ОСНОВНИ ВИДОВЕ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ И ТЯХНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ.

2.1. Основни видове лазерни нивелири според предназначението си. Според предназначението си, лазерните нивелири се подразделят на следните основни видове:

- **ЛИНЕЙНИ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ:** Линейните лазерни нивелири задават линия. Лазерите на линейните нивелири работят в честотен режим, като честота на лазерните импулси е около $f=10$ kHz. Честотният режим на работа на лазера позволява да се повиши съществено импулсната мощност на лазерното излъчване и така да се регистрира на по-големи разстояния от детектори на лазерното излъчване. Например, линейния лазерен нивелир Bosch GLL 3-80 P, има точност на нивелирането $\pm 0,2$ mm/m.
- **ТОЧКОВИ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ:** Точковите лазерни нивелири биват едноточкови, триточкови, петточкови. При тези лазерни нивелири се излъчват един или няколко лазерни лъча във взаимноперпендикулярни направления. Например, точковия лазерен нивелир Bosch GPL 3, има точност на нивелирането $\pm 0,3$ mm/m.
- **РОТАЦИОННИ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ:** При ротационните лазерни нивелири, лазерния лъч се ротира кръгово, в една равнина с определена нивелация. Точността на нивелиране на ротационните лазерни нивелири в границите на около 1÷2 mm на 10 m разстояние. Скоростта на ротация на лазерния лъч е в диапазона около 1000 rpm. Тя се подбира така, че вместо въртящ се лъч, се вижда тънка равнина от лазерна светлина.
- **ПРЕСЕЧНИ ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ:** Тези лазерни нивелири очертават няколко (най-често взаимноперпендикулярни) светлинни равнини.

2.2. Основни видове лазерни нивелири според вида на лазера, който използват. Като правило, съвременните лазерни нивелири използват полупроводникови лазери. Този вид лазерни източници се характеризират с изключителната си компактност, енергетична ефективност, способност да се запазват от източници на ниско напрежение и други, което определя широкото им приложение в съвременното приборостроене. Според вида на лазерния източник, който използват, лазерните нивелири се подразделят на следните видове:

- **ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ С ЧЕРВЕН ЛАЗЕР:** Дължината на вълната на излъчваната светлина на червените полупроводникови лазери е в диапазона $\lambda=610\div 650$ nm.
- **ЛАЗЕРНИ НИВЕЛИРИ СЪС ЗЕЛЕН ЛАЗЕР:** Дължината на вълната на излъчваната светлина на зелените лазери е около $\lambda=532$ nm.

Разстоянието, на което лазерния лъч е видим с просто око, се определя от дължината на вълната на излъчваната светлина от лазера. Това е така, понеже човешкото око има различна чувствителност в различните спектрални диапазони на видимата светлина. За човешкото око, лазерите с дължина на вълната 635 nm са около 4

пъти по-ярки от лазерите с дължина на вълната 650 nm. От друга страна, лазерите със зелена светлина (дължина на вълната 532 nm), са около 4÷12 пъти (според осветеността) по-ярки от лазерите с червена светлина и това ги прави по-видими върху тъмни повърхности, на по-големи разстояния и в условията на силна осветеност.

2.3. Основни видове лазерни нивелири според режима на работа на лазера. Според режима на работа на лазерния източник, лазерните нивелири биват с:

- **ЛАЗЕРИ С НЕПРЕКЪСНАТО ДЕЙСТВИЕ:** Лазерите с непрекъснато действие излъчват лазерно излъчване с постоянна мощност във времето.

- **ЛАЗЕРИ С ИМПУЛСНО ДЕЙСТВИЕ:** Лазерите с импулсно действие излъчват лазерно излъчване за кратък интервал от време, по време на лазерния импулс. Това позволява, при определена средна мощност на лазера, импулсната светлинна мощност да е много по-голяма, отколкото при непрекъснатите лазери. Импулсното лазерно излъчване има значително по-голяма импулсна (моментна) мощност и затова се регистрира от лазерните детектори на по-голямо разстояние.

2.4. Работа с лазерни нивелири. Отклонението на лазерния лъч от хоризонталното му положение се увеличава с нарастване на разстоянието. Стойността на това отклонение, изчислено за единица разстояние, от мястото, в което се намира нивелира, представлява точността му. Работния обхват на лазерният нивелир е разстоянието, до което лазерния лъч е регистрируем. При работа с лазерен нивелир обхватът на измерванията се повишава с използването на детектор на лазерно лъчение, който има по-голяма чувствителност и указва кога лазерния лъч попада в зоната на детектора. Точността при някои модели лазерни нивелири, предназначени главно за работа на закрито, е няколко милиметра, на разстояние от няколко десетки метра. Съществуват и по-прецизни модели лазерни нивелири, имащи точност на един порядък по-висока, което се дължи на това, че се използват импулсни лазерни източници с честота на импулсите около $f=10$ kHz. На практика, положението на лазерния лъч се регистрира както визуално, така и с лазерните детектори, според естеството на конкретната задача.

Понастоящем на пазара се предлагат в продажба лазерни нивелири с обхват от няколко десетки метра, до няколко стотин метра. Лазерните нивелири предназначени за работа на закрито са с по-маломощни лазери, докато лазерните нивелири за работа на открито са съоръжени с по-мощни лазери и имат по-голям обхват.

От голяма важност е не само мощността на лазерния източник, но и видимостта на лазерния лъч. Видимостта на лазерния лъч зависи от спектралната чувствителност на човешкото око, която чувствителност има своята максимална стойност при дължина на светлинната вълна $\lambda = 555$ nm (зелен цвят). Затова лазерите със зелена светлина са видими на по-големи разстояния, отколкото тези с червена светлина. По този начин, могат да се извършват измервания вечерно време и при намалена видимост, когато условията са неблагоприятни за работа с оптични прибори. За по-добро възприятие се използват специални очила със селективни филтри [1]. Очилата за наблюдение на лазерния лъч филтрират околната светлина и така лазерния лъч се вижда по-ясно. Тези очила служат за по-добро наблюдение на лазерния лъч, но не предпазват от него. Очилата за наблюдение на лазерния лъч не осигуряват защита от ултравиолетовите лъчи и ограничават възприемането на цветовете. Правилата за безопасна работа с лазерните нивелири, изискват да се избягва пряко попадане на лазерния лъч в окото (да не се гледа срещу лазерния лъч), понеже поради малката си разходимост ($10^{-3} \div 10^{-5}$ rad) лазерния лъч се фокусира в много малко петно върху ретината на окото и така може да се стигне до увреждането ѝ [2].

3. ЕКСПЕРИМЕНТ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО СРАВНЕНИЕ НА ОПТИЧНИТЕ И ЛАЗЕРНИТЕ НИВЕЛИРИ).

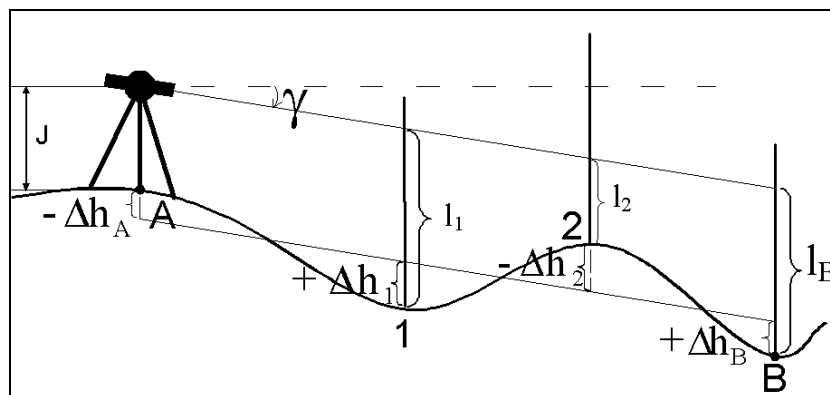
3.1. Трасиране на линия с проектен наклон. При някои от геодезическите работи в транспортното строителство, като трасиране на линия с проектен наклон, са известни котите на началната точка А и крайната точка В и проектния наклон i_p (%) [3]. Трасирането на линия с проектен наклон с тотална станция (теодолит), се извършва като центрираме и хоризонтираме инструмента в точка А (Фиг.1) и от проектния наклон i_p се изчислява проектния вертикален ъгъл γ по формулата:

$$(1) \quad \gamma = \arctg(i_p/100).$$

В точките 1, 2, ... и т.н. от правата поставяме лата и правим визуални отчети l_1, l_2, \dots и т.н. Изчисляваме работното превишение Δh_i за всяка точка от правата АВ по формулата:

$$(2) \quad \Delta h_i = l_i - (J - \Delta h_A),$$

където Δh_A е работното превишение на началната точка от правата, взето със своя знак, а J е височината на инструмента. Отчетите направени с оптиката на инструмента по гореописаният начин, могат да бъдат заменени с отчети направени с помощта на лазерен лъч и това води до по-голям обхват на работа, поради увеличаване на разстоянието на измерване.



Фиг.1. Трасиране на линия с проектен наклон.

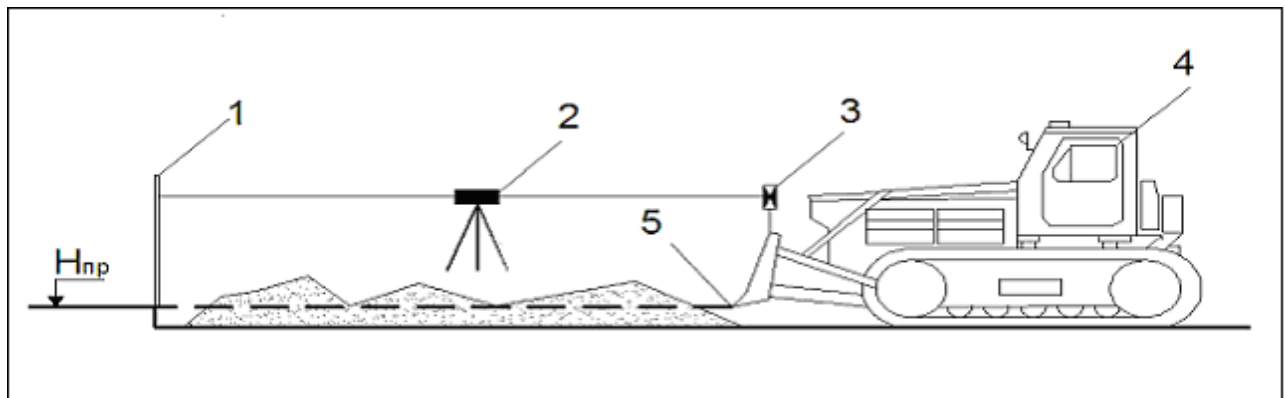
За проверка на възможностите на лазерните нивелири е извършен експеримент, като между две точки на разстояние 180 m е поставен точков нивелир използващ мощен лазерен лъч. Направено е сравнение между превишението, от една страна получено при техническа нивелация извършена от три станции с оптичен инструмент и тази получена с лазерен нивелир от една станция. Разликата в измерените превишения, получени по двата метода, дава отклонение около един сантиметър, което показва, че лазерните нивелири напълно удовлетворяват изискванията за точност при такъв вид дейности.

В проведените експерименти, броят на използваните станции от три при оптичния нивелир, бяха намалени на една при лазерния нивелир. Така, при използването на лазерни нивелири, е възможно съществено да се намали труда и времето за извършване на измерването и да се повиши значително производителността и общия обем свършена работа.

Експериментално измерената разходимост на използвания лазерен източник ($\lambda=532 \text{ nm}$, 100 mW) е около $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$.

3.2. Подравняване на терени. Получените по-горе експериментални резултати, показват предимствата на лазерните нивелири и поради тази причина, тяхната роля в основните геодезически дейности ще нараства. Като пример, където лазерните нивелири биха имали ефективно приложение, на Фиг.2 е показана схема за

подравняване на терени [4].



Фиг.2. Подравняване на терени с използване на оптичен или лазерен нивелир.

Стандартният начин на работа при нивелирането на терен включва при известен отчет направен по латата (1) с помощта на оптичен нивелир (2), да бъде поставена визирна марка (3) на съответната височина така, че разстоянието от марката до долния ръб на работния нож (5) на булдозера (4), да е равно на отчета по латата. Използването на лазерен нивелир в тази стандартна схема, може да се осъществи, като оптичния нивелир (2), се замени с лазерен ротационен нивелир, а визирната марка (3) се замени с приемник на лазерно излъчване. Големият обхват на лазерния лъч позволява рязко намаляване на измервателните дейности и значително повишаване на обема на извършената работа.

3.3. Използване на лазерните нивелири при неблагоприятни атмосферни условия и ниска осветеност. Влиянието на неблагоприятните атмосферни условия при лазерните нивелири са свързани с разпространението на лазерното излъчване в атмосферата при наличието на явления, като валежи от дъжд и сняг, мъгла, запрашеност и други. По отношение на тези явления се прилага принцип, според който, на каквото разстояние и с каквато яснота вижда нормалното зрение, на такова разстояние може да се използва лазерното излъчване. Така например, дори при проливен дъжд, в 1 m^3 въздух се съдържа само около 5 g вода във вид на капки. В тези условия, поглъщането на лазерното излъчване ще е малко, понеже общата напречна площ на дъждовните капки е много малка.

При ниска осветеност, лазерните нивелири имат абсолютно предимство пред оптичните такива. Нещо повече, колкото по-ниска е осветеността на терена, толкова по-видим е лазерния лъч.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основните резултати получени в настоящата работа могат да се обобщят в следните аспекти:

- (i) Разгледани са основните видове лазерни нивелири използвани понастоящем в транспортното строителство.
- (ii) Направено е експериментално сравнение в полеви условия на възможностите на лазерните и оптичните нивелири и са показани преимуществата на лазерните нивелири по отношение на обема на извършената геодезическа работа.
- (iii) Разгледани са въпросите свързани с преимуществата на лазерните нивелири при работа в неблагоприятни атмосферни условия и при ниска осветеност, когато използването на оптични нивелири е затруднено.

ЛИТЕРАТУРА.

- [1]. Bosch, Измервателна техника (Izmervatelna tehnika), www.euromarket.bg/bg/products-download-pdf?file=022cf459569fe53307b6fc2e4cf3acb378357e1e.pdf
- [2]. Брънзалов П., “Особености и защита на зрението от лазерни източници на светлина”, Механика, Транспорт, Комуникации, No.3, 2008, pp.(VII-28)-(VII-33) (Branzalov P., “Osobnosti i zashtita na zrenieto ot lazerni iztochnitsi na svetlina”, Mehanika, Transport, Komunikatsii, 2008, No.3, pp.(VII-28)-(VII-33))
- [3]. Димитров Д., “Инженерна геодезия”, София, Техника, 1989 (Dimitrov D., “Inzhenerna geodeziya”, Sofiya, Tehnika, 1989)
- [4]. Ключин Е., М. Киселев, Д. Михелев, В. Фельдман, “Инженерная геодезия”, 4-е изд., Москва, Высшая школа, 2004 (Klyushin E., M. Kiselev, D. Mihelev, V. Felydman, “Inzhenernaya geodeziya”, 4-e izd., Moskva, Vaysshaya shkola, 2004)

USING POWERFUL LASER LEVELS IN CIVIL TRANSPORTATION ENGINEERING

Roumen A. Ivanov, Peter P. Branzalov, Nevena Babunska-Ivanova, Kosta P. Kostov
rang75@hotmail.com, ppb@vtu.bg

*University of Transport “Todor Kableschkov”
1574 Sofia, 158 Geo Milev str., Bulgaria*

Key words: *civil transportation engineering, engineering surveying, laser levels*

Abstract: *The present work examined the use of laser levels in civil transportation engineering. It has been made a comparison between measurements performed at the field with optical and laser levels. Experimental verification of the capabilities of laser levels show their advantage in relation of work volume and measurements in adverse conditions compared to the optical levels. This innovative approach save efforts and time to perform some of the engineering surveying work in civil transportation engineering.*