

УДК 528.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.9>

**Юрченко Ю.В.**

інженер-технолог I категорії відділу № 77

«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

ORCID ID: 0000-0001-9253-009X

**Сіора О.В.**

науковий співробітник відділу № 77

«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

ORCID ID: 0000-0003-1927-790X

**Соколовський М.В.**

провідний інженер відділу № 77

«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

ORCID ID: 0000-0003-3243-5060

**Бондарева В.І.**

заступник завідувача відділу № 77

«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

ORCID ID: 0009-0003-6177-6048

**Бернацький А.В.**

к.т.н., старший дослідник,

завідувач відділу № 77 «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

ORCID ID: 0000-0002-8050-5580

## **ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ**

***Анотація.** У статті детально аналізуються сучасні лазерні технології, що знаходять застосування у будівництві. Увагу приділено використанню лазерного сканування, яке дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі будівельних об'єктів. Це значно підвищує точність проектування та полегшує процес реконструкції та реставрації будівель. Розглянуто лазерні системи вирівнювання, що забезпечують високоточне встановлення конструкційних елементів та контроль їх положення під час будівництва. Детально розглянуто лазерні тахеометри, теодоліти і далекоміри для точного вимірювання відстаней, кутів і об'ємів на будівельних майданчиках. Лазерні тахеометри забезпечують автоматизоване збирання та обробку даних, що значно скорочує час на проведення геодезичних робіт. Лазерні теодоліти використовуються для високоточного визначення кутів і напрямків, що є критичним для введення складних конструкцій. Лазерні далекоміри дозволяють швидко і точно вимірювати відстані, що є необхідним для ефективного планування та контролю будівельних робіт. Наведено переваги використання лазерних технологій, такі як підвищена точність вимірювань, зниження людського фактору, скорочення витрат часу на підготовчі та контрольні роботи, а також підвищення загальної ефективності будівельних процесів. Висновки підтверджують, що лазерні технології мають значний потенціал для революціонування будівельної галузі, сприяючи її інноваційному розвитку.*

***Ключові слова:** лазер, нівелір, далекомір, лазерні системи сканування, теодоліт, тахеометр, оптимізація процесу будівництва, історія розвитку геодезичних приладів.*

**Постановка проблеми.** Застосування інноваційних технологій у будівництві є ключовим фактором для підвищення ефективності, точності та безпеки будівельних процесів. Однією з таких технологій, що стрімко розвивається та знаходить широке застосування, є використання лазерів. Лазерні технології стали незамінним інструментом для виконання геодезичних робіт, контролю якості будівельних конструкцій, а також для різних процесів вирівнювання та налаштування [1-2].

**Аналіз останніх досліджень.** Лазери забезпечують високу точність вимірювань, що є критично важливим для сучасних будівельних проектів [3]. Вони використовуються для топографічних зйомок, побудови цифрових моделей місцевості, встановлення рівнів та вертикалей, а також для визначення точних координат будівельних елементів. Геодезичні лазерні інструменти, такі як лазерні рівні, нівеліри та далекоміри, дозволяють зменшити людський фактор і мінімізувати похибки, забезпечуючи при цьому високу швидкість та ефективність виконання робіт. Однією з головних переваг використання лазерів у будівництві є їх здатність до автоматизації процесів [4]. Лазерні системи можуть бути інтегровані з комп'ютерними програмами для створення BIM (Building Information Modeling) моделей, що дозволяє більш точно планувати та виконувати будівельні проекти. Використання лазерних сканерів дозволяє створювати тривимірні моделі існуючих об'єктів та місцевості, що є важливим для реконструкції та реставрації будівель. Лазерні технології також сприяють підвищенню безпеки на будівельних майданчиках [5]. Вони дозволяють виконувати точні вимірювання на відстані, зменшуючи необхідність роботи на висоті або в небезпечних умовах. Наприклад, використання лазерних далекомірів дозволяє швидко і безпечно вимірювати великі відстані або висоти конструкцій, без потреби підйому на будівельні риштування або використання інших небезпечних методів. Загалом, впровадження лазерних технологій у будівництві відкриває нові можливості для підвищення точності, швидкості та безпеки виконання робіт.

**Метою роботи** є дослідження та аналіз впровадження лазерних технологій у будівельній галузі, з акцентом на огляд існуючих лазерних пристроїв, що використовуються в сучасному будівництві. У статті будуть розглянуті основні типи лазерних інструментів,

їхні функції та переваги, їхня роль у підвищенні ефективності, точності та безпеки будівельних робіт, а також історія розвитку.

#### **Основна частина**

**Далекоміри.** Історія використання лазерних далекомірів розпочалася у середині 20-го століття з розвитку лазерних технологій, що відкрило нові можливості для точних вимірювань. У 1960 році Теодор Майман створив перший робочий рубіновий лазер, і його властивості стали основою для розробки перших лазерних далекомірів [6]. Цей лазер працював у імпульсному режимі та мав довжину хвилі 694 нм. Перші випробування лазерного далекоміра ХМ-23 почалися у 1963 році в США. Цей далекомір був з потужністю лазерного випромінювання 2,5 Вт та вимірював відстань в діапазоні 200-9995 м [7]. На початку 1960-х років далекомір ХМ-23 був не секретний та доступний для широкого кола цивільних дослідників. Протягом 1970-х і 1980-х років розвиток електроніки та мініатюризація компонентів призвели до створення компактніших і доступніших лазерних далекомірів. Їх почали активно використовувати не тільки в геодезії, але й у військових застосуваннях, будівництві, а також у наукових дослідженнях. З впровадженням цифрових технологій лазерні далекоміри стали ще досконалішими. З'явилися моделі з функціями автоматичного обчислення, збереження даних і передачею інформації на комп'ютери або інші пристрої [8]. Ці інновації розширили можливості використання лазерних далекомірів у будівництві, архітектурі, ландшафтному дизайні та інших сферах.

Лазерний далекомір – прилад для вимірювання відстаней із застосуванням лазерного променя. Завдяки своїй точності та зручності, лазерні далекоміри знайшли широке застосування в різних галузях: використовуються для вимірювання відстаней при плануванні та будівництві споруд в інженерній геодезії; для створення топографічних карт і планів місцевості в топографічній зйомці; для визначення відстаней до цілей, що важливо для точного наведення зброї та розвідки у військовій справі; лазерні далекоміри допомагають точно визначати відстані до об'єктів, що важливо для налаштування фокусу та композиції кадру у фотографії. Сучасні лазерні далекоміри зазвичай компактні, що дозволяє легко носити їх з собою і використовувати в будь-яких умовах. Вони забезпечують

високу точність вимірювань і швидкість отримання результатів. Стандартні моделі здатні вимірювати відстані від 30 до 60 метрів, проте є й потужніші варіанти для спеціалізованих задач. Такі далекоміри часто використовують будівельні та ремонтні бригади [9].

За принципом дії лазерні далекоміри поділяються на імпульсні та фазові.

**Імпульсний лазерний далекомір** це пристрій, що складається з імпульсного лазера та приймача відбитого випромінювання. Принцип дії імпульсного лазерного далекоміра заснований на вимірюванні часу, за який лазерний імпульс проходить від далекоміра до об'єкта і повертається назад. Суть імпульсного методу вимірювання полягає в наступному: до об'єкта надсилається зондуєчий імпульс, який одночасно запускає таймер у далекомірі. Коли імпульс відбивається від об'єкта і повертається до далекоміра, таймер зупиняється. Відстань до об'єкта визначається на основі виміряного часового інтервалу (затримки відбитого імпульсу).

**Фазові лазерні далекоміри** – це прилади, які використовують фазовий метод вимірювання відстані (рис. 1). У цьому методі лазерний промінь модулюється по амплітуді з певною частотою (10...150 МГц), і відстань до об'єкта визначається за зміною фази сигналу після його відбиття від об'єкта. Саме фазові далекоміри набули широкого поширення в побуті [9].

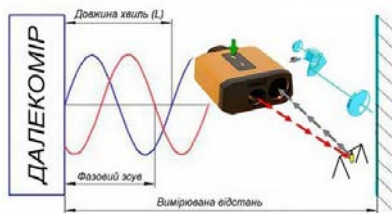


Рис. 1. Фазовий далекомір [10]

Для більш точних вимірів на далеких відстанях потрібен високоточний лазерний далекомір, здатний здійснювати виміри на відстані 400 – 500 метрів з невеликою похибкою всього 1 метр. Зовні такий прилад нагадує бінокль (рис. 2). Конструктивними особливостями високоточного далекоміра є наявність високоточних вимірювальних датчиків і якісних оптичних систем. Корпус приладу має протиударне водонепроникне покриття, завдяки чому далекомір можна використовувати в будь-яку погоду. Високоточний

лазерний далекомір буде вкрай корисним в умовах масштабного будівництва, особливо при вимірі відстаней на поверхні з нерівним рельєфом [11].



Рис. 2. Високоточний далекомір Leica Rangemaster CRF 2400-R [12]

Існують ще точніші далекоміри, розраховані на вимірювання на відстанях до 2000 метрів з похибкою всього в 0,01%. Проте застосовуються такі прилади нечасто, переважно, лише з великих будівельних об'єктах стратегічного значення.

Переваги лазерного далекоміра:

- вимірювання можна виконувати наодинці, досить просто навести прилад на ціль, і натиснути на кнопку. Цей легкий і компактний інструмент зручний і простий в експлуатації, і дозволяє з високою точністю вимірювати не тільки довжину, а й ширину, висоту об'єктів, обчислювати обсяги та площі, а також виконувати арифметичні обчислення. При цьому лазерний далекомір дозволяє зберігати результати вимірів у своїй пам'яті.

- лазерні далекоміри з часом практично не схильні до зносу – достатньо лише вчасно змінювати батарейки.

- висока точність вимірювань, швидкість роботи, простота експлуатації та надійний захист від пилу та вологи

**Системи сканування.** У 1953 році ще за довго до винаходу лазера, була запропонована абревіатура LIDAR в роботі Міddlтона та Спілхауса «Метеорологічні інструменти» [13]. Перші лідари використовували в якості джерела світла звичайні або імпульсні лампи зі швидкісними затворами, що формували короткий імпульс. Сучасні лазерні сканери багато в чому є подальшим розвитком добре відомих та активно застосовуваних у наземній геодезії оптичних далекомірів та споріднених ним приладів – лазерних тахеометрів, які визначають дальність шляхом вимірювання часу поширення зондуєчого променя від випромінювача до об'єкта та назад (рис. 3). З іншого боку, вони багато запозичували

від активних лазерних скануючих систем авіаційного базування, що використовуються з 70-х років переважно як військова розвідувальна апаратура. Саме дослідження в галузі використання напівпровідникових лазерів у лідарах забезпечили підготовку технологічної бази для розробки перших лазерних сканерів [14].



Рис. 3. Лазерні сканери Leica BLK360, Leica RTC360, Z+F IMAGER 5010, Z+F IMAGER 5016 та Faro Focus3D X330 [15]

Однак виділення лазерних сканерів в окремий клас приладів стало можливим лише на початку 90-х років з появою інтегральних бортових навігаційних комплексів, які забезпечують досить точне обчислення в реальному часі просторових та кутових координат носія. Тільки до цього моменту використання GPS та лазерних далекомірів міцно утвердилося в практиці аерозйомки, інерційні системи стали активно застосовуватися для безпосереднього визначення елементів зовнішнього орієнтування, а за точністю визначених параметрів усі компоненти лазерного сканера досягли взаємного узгодженого рівня.

Принцип технології лазерного сканування полягає у визначенні просторових координат точок об'єкта. Під час роботи лазерного сканера здійснюється вимірювання відстані до всіх точок об'єкта сканування за допомогою фазового або імпульсного безвідбивного далекоміра. Сканування відбувається з надзвичайно високою швидкістю, що може досягати мільйонів вимірювань на секунду. На шляху до об'єкта імпульси лазерного далекоміра проходять через систему з одного рухомого дзеркала, яке відповідає за вертикальне зміщення променя. Горизонтальне зміщення лазерного променя здійснюється шляхом повороту верхньої частини сканера відносно нижньої, яка жорстко закріплена на штативі. Прецизійні сервомотори керують дзеркалом і верхньою частиною сканера, забезпечуючи точне направлення лазерного променя на об'єкт. Знаючи кут повороту дзеркала і верхньої частини сканера в момент спостереження та вимірюючи відстань, процесор обчислює координати кожної точки [14].

Особливістю лазерного сканера є його здатність знімати об'єкти в будь-якій точці сфери – з повним охопленням по горизонталі  $360^\circ$  і  $270^\circ$  по вертикалі. Результатом такого сканування є хмара точок (рис. 4), яка містить мільйони вимірювань.

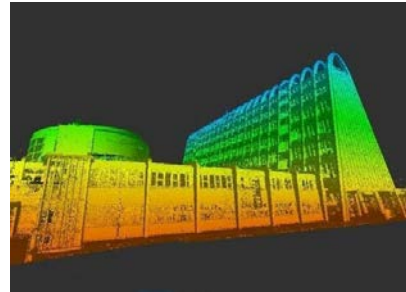
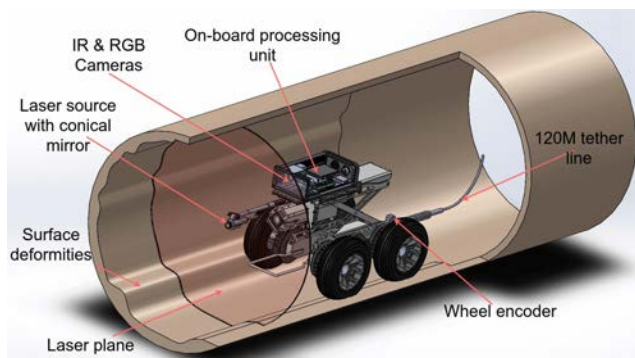


Рис. 4. Хмара точок в результаті лазерного 3D сканування [16]

Високий рівень автоматизації наземного сканування має декілька переваг перед іншими методами отримання інформації. Лазерне сканування, в першу чергу, може визначати координати заданих точок об'єкта навіть у польових умовах. Тривимірна візуалізація в реальному часі дозволяє відокремлювати неробочі зони під час виконання польових робіт. Також цей метод не потребує сканування об'єкта з двох різних точок стояння, оскільки забезпечує дуже високу точність вимірювань. Крім того, при зйомці в небезпечних і важкодоступних районах, завдяки можливості віддаленого отримання результатів, підвищується безпека працівників. Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) – це сучасний тренд, який значно впливає на фахівців у сфері геодезії, проектування та будівництва. Цифрове зображення будівлі за допомогою BIM дозволяє керувати її фізичними та функціональними властивостями. Лазерне сканування, у свою чергу, значно підвищує ефективність створення точних інтелектуальних 3D моделей. Збір і комплексна обробка всієї інформації про будівлю в єдиному інформаційному середовищі є головною перевагою інформаційного моделювання перед іншими методами проектування. Всі елементи моделі є взаємопов'язаними та взаємозалежними між собою, що робить модель максимально реалістичною, наближеною до реальної будівлі і ситуації. Використання цієї технології дозволяє модернізувати об'єкти на основі отриманих даних, координувати проекти та оптимізувати робочі процеси [17].

Актуальною сферою застосування лазерного сканування є безконтактне дослідження технічного стану трубопроводів інженерних мереж. Сучасні розробки дозволяють здійснювати інспекцію як зовнішніх поверхонь трубопроводів, так і внутрішніх, що є більш складною задачею, оскільки вони безпосередньо контактують з робочими середовищами, які транспортуються трубопроводами. Лазерний сканер дозволяє досліджувати не лише зміни геометрії поверхні внутрішнього трубопроводу, рівень рідини у ньому, пропускну здатність, але й різні дефекти поверхонь, такі як ерозія, корозія, тріщини. Це дозволяє вчасно розробляти плани для ремонту, обслуговування, а в разі необхідності - і реконструкції окремих частин трубопроводів.

Для профілометрування трубопроводів та інспекції колодязів інженерних мереж застосовується лазерний профілометр (рис. 5, а). Цей інструмент дозволяє безконтактно виявляти змін у вертикальній та горизонтальній формі трубопроводів з різних матеріалів, які мають внутрішній діаметр від 6 дюймів (рис. 5, б). Технологія з використанням лазерного профайлера генерує світлове кільце на внутрішню поверхню трубопроводу. Камера, що прикріплена до сканера, виявляє це кільце світла і записує лазерне зображення у формі інтерактивної 3D моделі трубопроводу (рис. 5, в). Ця модель є зручною для подальших досліджень і дозволяє користувачеві переміщатися по ній [18].



а



б



в

Рис. 5. Лазерне сканування трубопроводу [19]

Крім того, спеціально розроблене програмне забезпечення [20] має можливість інтегрувати цифрові дані, отримані під час інспекції трубопроводів та колодязів, з ГІС-даними. Це дозволяє вбудувати систему каналізації у загальне середовище міської інфраструктури, яке включає в себе рельєф ландшафту, будівлі, інженерні та транспортні мережі, а також об'єкти благоустрою та ландшафтної архітектури. Двонаправлена інтеграція дозволяє обмінюватися інформацією про ділянки каналізаційної мережі в режимі реального часу. Аналіз цих даних допомагає вирішити, чи потрібно реконструювати або ремонтувати систему каналізації. Застосування подібних методів інспекції трубопроводів може також сприяти удосконаленню процесу прогнозування надійності роботи інших інженерних мереж, таких як системи водопостачання, тепlopостачання, газопостачання і т.д. [21].

Переваги геодезичного лазерного сканера:

- Збільшена точність та деталізація моделювання;
- Швидкість сканування;
- Високошвидкісна обробка інформації в польових умовах;
- Зйомка важкодоступних предметів;
- Автоматичне порівняння нових знімків із попередніми, щоб визначити ступінь деформації;
- Складання з урахуванням даних сканування топографічних планів тощо.

**Лазерні нівеліри.** Нівелір вважається одним з перших геодезичних інструментів. У своєму творі в II столітті до н.е. Герон Александрійський описував простий нівелір, що складався з двох сполучених посудів, заповнених рідиною. У 17 столітті нівелір був значно вдосконалений: Галілей у 1609 році створив окуляр, Кеплер у 1611 році додав ниткову сітку, а Монтенарі у 1674 році використав дальні нитки. Прорив у розвитку нівелірів в будівництві, топографічних роботах та інженерних дослідженнях відбувся після винайдення перекладного рівня Амслером-Лаффоном у 1857 році та створення високоточного оптичного нівеліра російським геодезистом Д. Д. Гедеоновим у 1890 році. Спеціалісти та вчені з різних країн продовжували вдосконалювати нівеліри. Швейцарія внесла вклад у внутрішнє фокусування окуляра, контактний рівень та оптичний мікрометр, Німеччина розробила самоналаштувальну лінію спостереження, а СРСР – автоматичні компенсатори Стодолкевича і Гусева [22]. На сьо-

годнішній день вдосконалення та виробництво нівелірів проводяться практично у всіх розвинених та розвиваючихся країнах, таких як Японія, США, Китай, Німеччина, Швейцарія та інші. Основна частина ринку належить нівелірам зарубіжних виробників і торгових марок: geo-Fennel (Німеччина), Robotoolz (США), Sokkia/Topcon і Nikon (Японія), Zeiss (Німеччина), Trimble/Spectra precision (США) та ін. Процес вдосконалення нівеліра триває й досі. У 20 столітті з'явилися дві нові групи нівелірів поряд з оптичними: електронні та лазерні. Методика роботи з цими приладами, а також принцип їхньої роботи відрізняються, але вони переслідують одну й ту ж мету.

Лазерні нівеліри – це сучасні прилади, які використовують лазерне випромінювання для побудови ліній. Вони працюють за тим же принципом, що й механічні нівеліри, але замість нитки тут використовується лазерний промінь. Ці прилади створюють горизонтальні та вертикальні лінії, що дозволяє зручно орієнтуватися при розмітці стін або підлоги (рис. 6) [9].



Рис. 6. Принцип роботи лазерного нівеліра [23]

Принцип роботи лазерного нівеліра базується на використанні лазерного випромінювання для створення видимих ліній або точок на поверхні. Основна ідея полягає в тому, що лазерний промінь виходить з пристрою і формує лінію або точку на поверхні, яка використовується для вимірювань або орієнтування. Типова конструкція лазерного нівеліра включає в себе джерело лазерного випромінювання, оптичну систему для формування потрібної лінії або точки, електроніку для керування пристроєм, а також корпус для захисту та регулювання пристрою. Коли пристрій увімкнено, джерело лазерного випромінювання створює лазерний промінь, який потім проходить через оптичну систему.

Вона створює бажану форму променя - лінію або точку - на поверхні, на яку він направлений.

Лазерні нівеліри поділяються на лінійні та ротаційні.

**Лінійні** лазерні рівні також відносяться до статичних типів. Вони проєктують одну неперервну лінію на поверхню, але деякі моделі можуть показувати 2 перпендикулярні лінії (хрести) і додаткові точки. Лінії створюються шляхом розсіювання лазерного променя через призму. Робоча відстань таких лазерних рівнів зазвичай не перевищує 30 метрів, але цього вистачає для виконання монтажних, оздоблювальних та ремонтних робіт у приміщенні. Важливою функцією для таких рівнів є автовирівнювання. Більшість сучасних моделей мають цю функцію, що значно спрощує роботу з приладом.

**Ротаційні** лазерні рівні належать до професійного інструменту. Особливістю їх конструкції є те, що промінь світла виходить з ротаційної головки, розташованої зверху корпусу. Обертаючись з високою швидкістю, промінь охоплює область в радіусі 360° і формує неперервну лінію на відстані до 400 метрів. Звичайно, для виконання робіт на таких відстанях необхідно використання додаткового обладнання, такого як приймач для лазерного рівня. Такий тип рівнів, крім побудови ліній, також можуть обчислювати різницю висот, проводити маркування великих будівельних об'єктів.

Ротаційні нівеліри поділяються на:

- Ручні (застарілий варіант), де горизонтальна площина встановлюється вручну.
- Півавтоматичні, де горизонтальна площина автоматично вирівнюється, а вертикальна встановлюється вручну.
- Автоматичні горизонтальні, які мають високу точність і дальність роботи, застосовні для спеціалізованих завдань.
- Повністю автоматичні, де горизонтальна і вертикальна площини автоматично вирівнюються, мають широкий діапазон роботи.

Використання лазерного рівня не потребує спеціальних знань; достатньо встановити пристрій на штатив, увімкнути потрібний режим маркування (один промінь, два промені або кілька променів), спрямувати пристрій на поверхню і нанести маркери по червоних лініях або одразу почати роботу з обробкою або будівельними матеріалами (найпростіший у використанні нівелір).

Лазерний оптичний прилад має високу точність. Похибка професійного лазерного приладу не перевищить 0,3 мм на метр, а більш прості прилади можуть помилятися максимум на 1 мм на метр. Сучасні лазерні нівеліри відрізняються наявністю багатьох додаткових функцій. Лазерний нівелір побудує горизонтальний промінь, вертикальний промінь, зробить хрест, за бажанням користувача побудує додаткові контрольні точки у зеніті або надирі.

Лазерний нівелір має ряд переваг:

- Широкі можливості застосування. Він дозволяє створювати як вертикальні, так і горизонтальні проекції, що розширює його застосування в будівництві та ремонтних роботах.

- Збільшення швидкості виконання робіт. Використання лазерного нівеліра дозволяє швидше і ефективніше виконувати роботи з маркування та орієнтації на рівні поверхні.

- Точність побудов та вимірювань. Лазерний нівелір забезпечує високу точність результатів, що дозволяє досягти високої якості виконаних робіт.

- Функція самовирівнювання. Багато моделей лазерних нівелірів оснащені функцією автоматичного самовирівнювання, що спрощує процес установки та забезпечує точність роботи.

- Можливість роботи в одиночку. Лазерний нівелір можна використовувати без допомоги інших осіб, що дозволяє збільшити продуктивність та незалежність у процесі роботи.

**Лазерні теодоліти.** Історія виникнення лазерного теодоліта пов'язана з розвитком лазерної технології у другій половині 20 століття. Перші лазерні теодоліти з'явилися у 1980-х роках, коли технологія лазерного випромінювання була інтегрована з традиційними теодолітами. З цього моменту техніка постійно вдосконалювалася, стаючи ще точнішою та більш функціональною. Сучасні лазерні теодоліти оснащені електронними дисплеями, автоматичними функціями вирівнювання та можливістю підключення до комп'ютерів для обробки даних.

Лазерний теодоліт — це прилад, у якому візирна вісь формується за допомогою вузькоспрямованого світлового променя (рис. 7). Він особливо підходить для розбивочних робіт, необхідних при будівництві мостів, доріг, тунелів, будівель та інших споруд [11].



Рис. 7. Лазерний теодоліт LDT520 [24]

Істотна відмінність полягає в лазерному випромінювачі, який змонтовано над зоровою трубою. Два прилади - електронний теодоліт і лазерний візир - можуть бути з легкістю замінені одним теодолітом, оскільки лазерний промінь використовується в ньому як покажчик, а всі результати, отримані шляхом вимірювань, відображаються на дисплеї.

Лазерний теодоліт оснащений лазерним випромінювачем, завдяки якому з'явилася можливість отримувати і сфокусований промінь для точного наведення на об'єкт, і паралельний лазерний. Альтернативою цьому виду кутомірного інструменту може бути стандартний теодоліт і окремо придбана лазерна насадка [14].

Лазерний теодоліт має свої переваги та недоліки.

До переваг лазерного теодоліта можна віднести:

- Наявність дисплея, що виключає помилки зчитування показників.

- Економія часу при виконанні робіт.

- Можливість роботи в темний час доби.

- Здатність працювати при низьких температурах.

- Виключно якісні характеристики за будь-яких умов.

До недоліків належать:

- Необхідність зберігати та транспортувати прилад у спеціальній упаковці, щоб уникнути поломок.

- Потреба в живленні від акумуляторів.

На жаль, лазерні теодоліти менш популярні через їх високу вартість. Однак саме ці вимірювальні прилади незамінні при роботі в тунелях та шахтах, де недостатнє освітлення ускладнює використання інших приладів. Лазерний промінь чудово видно в темний час доби або в затемнених приміщеннях,

а дані на підсвіченому дисплеї легко читати. На будівельному майданчику за допомогою лазера легше знайти точку вимірювання. Ці теодоліти також ефективні при роботі з об'єктами, розташованими на великій відстані один від одного та від точки вимірювання, оскільки довжина лазерного променя не має обмежень.

**Лазерні тахеометри.** Перші геодезичні прилади, що віддалено нагадують сучасні тахеометри, з'явилися 50 років тому. У цих напівмеханічних і напівелектронних пристроях незалежно встановлювалися світловий далекомір та теодоліт. Згодом теодоліти і світлові далекомири почали об'єднувати в одному корпусі, оснащеному спеціальною панеллю для введення значень кутів. Перша повноцінна модель тахеометра була розроблена у Швеції, де відлік кутів замінили з оптичного на електронний. Це створило можливість автоматизувати геодезичні роботи. Електронні тахеометри з'явилися на ринку приблизно 25 років тому і виготовляються американськими, японськими та швейцарськими компаніями [24].

Лазерний тахеометр — це сучасний геодезичний прилад, який використовує лазерну технологію для вимірювання відстаней та кутів. Він об'єднує функції теодоліта та світлового далекоміра в одному компактному корпусі (рис. 8). Лазерний тахеометр може вимірювати вертикальні та горизонтальні відстані з високою точністю до 1 см на відстані до 5 км. Він також може вимірювати кути з точністю 2"-20". На додачу, цей прилад автоматично зберігає дані про кілька тисяч точок на вимірянній площі і може передавати ці дані через мережу GPRS на віддалений комп'ютер [22].



Рис. 8. Лазерний тахеометр SOUTH NTS-355R [22]

Принцип роботи електронного тахеометра ґрунтується на двох методах. Перший метод це фазовий та другий метод імпульсний, який використовується у більш сучасних моделях. Перший метод базується на вимірюванні різниці фаз між випроміненим та відбитим від об'єкта променями. Другий метод вимірює час, за який лазерний промінь проходить від тахеометра до відбивача і назад. Відстань, на якій може працювати тахеометр, залежить від режиму роботи і властивостей поверхні, на яку спрямовано промінь. У режимі без відбивача, тахеометр може працювати на відстані до 1000–1200 метрів, залежно від відбивної здатності поверхні. У режимі з відбивачем, він здатний вимірювати відстані до 5000 метрів і більше [9-22].

Усі моделі тахеометрів поділяються на кілька типів залежно від їх застосування:

– **Технічні тахеометри:** Електронні пристрої цього типу зазвичай є більш доступними за ціною та використовуються для проведення простих геодезичних робіт, таких як вимірювання відстаней і кутів.

– **Будівельні тахеометри:** Вони оснащені як відбивальним, так і безвідбивальним далекоміром, що дозволяє проводити зйомку як з використанням відбивальних марок, так і без них. В будівельних тахеометрах відсутня аліада.

– **Інженерні тахеометри:** Ці прилади мають розширений функціонал, включаючи фотокамери для побудови тривимірних моделей місцевості, сенсорні дисплеї, різноманітні комунікаційні канали (Wi-Fi, Bluetooth) та програмне забезпечення для розширеного аналізу даних.

В свою чергу, тахеометри поділяються на модульні, що складаються з окремих незалежних елементів, і інтегровані, де різні пристрої об'єднані в одному корпусі. Останні включають моторизовані і автоматизовані тахеометри. Перші з них мають сервопривід, який дозволяє вести вимірювання в багатьох точках одночасно, а другі мають сервопривід і системи, здатні впізнавати, захоплювати і відстежувати цілі. Фактично, це роботизовані геодезичні комплекси. Пристрої такої конструкції призначені для проведення вимірювань однією людиною, і роботизовані тахеометри дозволяють виконувати віддалені вимірювання з гарантовано високою точністю результатів [9].

За характеристиками зйомки, електронні тахеометри поділяються на наступні типи:



– Кругові, оснащені нитяним далекоміром і циліндричним рівнем на вертикальному крузі алідади;

– Номограмні, де висоти і горизонтальні відліки визначаються за номограмою, що розпізнається у трубі приладу під час спостереження, а також за допомогою вертикальної рейки;

– Авторедукційні, де висоти і горизонтальні відліки визначаються за допомогою горизонтальної рейки дальномером з подвійним зображенням;

– Внутрішньобазові, база яких розташована поруч з тахеометром і призначена для прямого розрахунку горизонтального положення. Вимірювання вертикальних кутів дозволяють розрахувати висоту.

– Електрооптичні, оснащені додатковим електронним пристроєм, що дозволяє автоматизувати вимірювання.

Порівнюючи роботу з теодолітом і тахеометром, можна зазначити, що для першого потрібно вести записи в журналі, у той час як для другого – лише вести абрис, оскільки дані про відстані, кути та номери пікетів прилад автоматично записує і зберігає у пам'яті.

Конструкція електронного тахеометра мається припускає його використання у польових умовах. Вплив факторів навколишнього середовища, такі як дощ, сніг, пил, бруд не зашкодять вимірювальному пристрою. Кожен виробник має у своєму асортименті моделі тахеометрів, призначених для роботи в екстре-

мальних умовах, з можливістю працювати при низьких температурах до мінус 30°C. Проте рекомендується вибирати їх лише у тих випадках, коли робота планується в північних регіонах або в особливо вимогливих умовах [11].

**Висновки.** У сучасному будівництві будівельні лазери є ключовими інструментами, що надають будівельникам інноваційні можливості для точнішого та ефективнішого виконання завдань. Вони забезпечують підвищену точність вимірювань, прискорюють процеси вирівнювання та гарантують високу якість будівельних робіт. Використання будівельних лазерів не лише скорочує час будівництва, але й знижує ризик помилок, що є критично важливим для безпеки та якості кінцевого результату. Спостерігається тенденція до сталого розвитку будівельних лазерів, що відкриває нові перспективи для їхнього ширшого використання в майбутньому. Інтеграція нових технологій, таких як автоматичне управління, самокалібрування та розширення функціоналу, робить ці інструменти ще більш універсальними та пристосованими до різних завдань у будівельній галузі. Майбутнє будівельних лазерів обіцяє нові можливості для покращення будівельних процесів, оптимізації витрат та забезпечення високих стандартів якості проектів. Завдяки їм будівельники зможуть швидше та точніше виконувати завдання, що сприятиме підвищенню ефективності та конкурентоспроможності у будівельній індустрії.

### Література

1. Kutykadamov M.E., Rysbekov K.B., Milev I., Ystykul K.A., B.K Bektur. Geodetic monitoring methods of high-rise constructions deformations with modern technologies application. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2016. Vol. 93, №1. P. 24-31. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904\\_Geodetic\\_monitoring\\_methods\\_of\\_high-rise\\_constructions\\_deformations\\_with\\_modern\\_technologies\\_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904_Geodetic_monitoring_methods_of_high-rise_constructions_deformations_with_modern_technologies_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf)
2. Markiewicz J., Łapiński S., Kot P., Tobiasz A., Muradov M., Nikel J., Shaw A., Al-Shamma'a A. The Quality Assessment of Different Geolocalisation Methods for a Sensor System to Monitor Structural Health of Monumental Objects. *Sensors*. 2020. Vol. 20, №10. 2915. URL: <https://doi.org/10.3390/s20102915>
3. Baltasvias Emmanuel P. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1999. Vol. 54, №2–3. P. 83-94. URL: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3)
4. Zhang C., Ardit D. Automated progress control using laser scanning technology. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 36. P. 108-116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.012>
5. Yap J. B. H., Skitmore M., Lam C. G. Y., Lee W. P., Lew Y. L.. Advanced technologies for enhanced construction safety management: investigating Malaysian perspectives. *International Journal of Construction Management*. 2024. Vol. 24, №6. P. 633–642. URL: <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2135951>
6. Bernatskiy A., Khaskin V. The history of the creation of lasers and analysis of the impact of their application in the material processing on the development of certain industries. *History of Science and Technology*. 2021. Vol. 11, №1. P. 125-149. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2021-11-1-125-149>
7. Marcus I. R., Rangemeter for XM23 Rangefinder, U. S. DoD report of 17/02/1964.
8. Marshall A., Martin R., Hutber D. Automatic inspection of mechanical parts using geometric models and laser range finder data. *Image and Vision Computing*. 1991. Vol. 9, №6. P. 385–405. URL: [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(91\)90005-A](https://doi.org/10.1016/0262-8856(91)90005-A)
9. Мороз І., Тревога І. Геодезичні прилади. Львів: Львів. політехніка, 2012. 240 с.
10. Як вибрати лазерний далекомір для точних вимірювань. *STORGOM*. URL: <https://storgom.ua/ua/novosti/yak-vibrati-lazernij-dalekomir-dlya-tochnih-vimiryuvan.html> (дата звернення: 23.05.24)

11. Павлів П. В. Геодезія. Київ : ІЗМН, 1997. 200 с.
12. Лазерний далекомір Leica Rangemaster CRF 2400-R. *OpticStore*. URL: <https://opticstore.com.ua/ua/product/lazernyj-dalnomer-leica-rangemaster-crf-2400-r> (дата звернення: 23.05.24)
13. Middleton W. E. K. Meteorological instruments. 3rd ed. Toronto: Univ. of Toronto Press, 1953. 286 p.
14. Molebny V., Kamerman G., & Steinvall O.. Laser radar: from early history to new trends. *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications IV*. 2010. URL: <https://doi.org/10.1117/12.867906>
15. Kersten T. P., Lindstaedt M. Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanner systems in the laboratory and in the field. *Applied geomatics*. 2022. Vol.14, №2. P. 421-434. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00442-2>
16. 3D Laser Scanning. *Indiamart*. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/3d-laser-scanning-14314865848.html>
17. Уль А. В., Мельник О. В., Рудик О. В., Мельник Ю. А., Синій С. В. Принципи моделювання динамічних систем при інженерно-геодезичному моніторингу споруд. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. Т. 15. С. 85-92. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-12)
18. Xi W., Lu W. G. Formation mechanism of an adherent vortex in the side pump sump of a pumping station. *International Journal of Simulation Modelling*. 2021. Vol. 20, №2. P. 327-338. URL: <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-2-562>
19. Gunatilake, A., Piyathilaka, L., Kodagoda, S., Barclay, S., & Vitanage, D.. Real-Time 3D Profiling with RGB-D Mapping in Pipelines Using Stereo Camera Vision and Structured IR Laser Ring. *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. 2019. P. 916-921. URL: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8834089>
20. Han K., DeGol J., Golparvar-Fard M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018. Vol. 144, №2. 04017110. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001428](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428)
21. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*. 2010. Vol. 19, №7. P. 829-843. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>
22. Калинич І. В., Радіш І. П., Ваш Я. І. Електронні геодезичні прилади. Конспект лекцій /уклад. Калинич І.В., Радіш І.П., Ваш Я.І.– Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2021р. 156 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/34491/1/%d0%9a%d0%be%d0%bd%d1%81%d0%bf%d0%b5%d0%ba%d1%82%20%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%86%d1%96%d0%b9%20%d0%bf%d0%be%20%d0%95%d0%93%d0%9f%201.pdf>
23. Як вибрати лазерний рівень? *Sigma Ukraine*. URL: <https://sigma.ua/blog/stati/kak-vybrat-lazernyy-uroven/> (дата звернення: 24.05.24)
24. Нестерчук І. К. Історія розвитку кутомірних приладів. *Часопис картографії*. 2012. Т. 4. С. 144-153. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh\\_2012\\_4\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2012_4_17)

### References

1. Kuttykadamov M.E., Rysbekov K.B., Milev I., Ystykul K.A., Bektur B.K. (2016). Geodetic monitoring methods of high-rise constructions deformations with modern technologies application. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 93 (1), 24-31. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904\\_Geodetic\\_monitoring\\_methods\\_of\\_high-rise\\_constructions\\_deformations\\_with\\_modern\\_technologies\\_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904_Geodetic_monitoring_methods_of_high-rise_constructions_deformations_with_modern_technologies_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf)
2. Markiewicz J., Łapiński S., Kot P., Tobiasz A., Muradov M., Nikel J., Shaw A., Al-Shamma'a A. (2020). The Quality Assessment of Different Geolocalisation Methods for a Sensor System to Monitor Structural Health of Monumental Objects. *Sensors*, 20(10), 2915. URL: <https://doi.org/10.3390/s20102915>
3. Baltsavias Emmanuel P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 83-94. URL: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3)
4. Zhang C., Arditi D. (2013). Automated progress control using laser scanning technology. *Automation in Construction*, 36, 108-116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.012>
5. Yap J. B. H., Skitmore M., Lam C. G. Y., Lee W. P., Lew Y. L. (2024). Advanced technologies for enhanced construction safety management: investigating Malaysian perspectives. *International Journal of Construction Management*, 24(6), 633-642. URL: <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2135951>
6. Bernatskyi A., Khaskin V. (2021). The history of the creation of lasers and analysis of the impact of their application in the material processing on the development of certain industries. *History of Science and Technology*, 11(1), 125-149. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2021-11-1-125-149>
7. Marcus I. R. (1964). Rangemeter for XM23 Rangefinder, U. S. DoD report of 17/02/1964.
8. Marshall A., Martin R., Hutber D. (1991). Automatic inspection of mechanical parts using geometric models and laser range finder data. *Image and Vision Computing*, 9(6), 385-405. URL: [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(91\)90005-A](https://doi.org/10.1016/0262-8856(91)90005-A)
9. Moroz I., Trevoha I. Heodezychni prylady. [Geodetic devices]. Lviv : Lviv. politekhnik, 2012. 240 s.
10. Як вибрати лазерний далекомір для точних вимірювань. [How to choose a laser rangefinder for accurate measurements]. URL: <https://storgom.ua/ua/novosti/yak-vibrati-lazernij-dalekomir-dlya-tochnih-vimiryuvan.html>
11. Pavliv P. V. Heodeziia. [Geodesy]. Kyiv : IZMN, 1997. 200 s.
12. Lazernyi dalekomir Leica Rangemaster CRF 2400-R. [Laser range finder Leica Rangemaster CRF 2400-R]. URL: <https://opticstore.com.ua/ua/product/lazernyj-dalnomer-leica-rangemaster-crf-2400-r>
13. Middleton W. E. K. Meteorological instruments. 3rd ed. Toronto: Univ. of Toronto Press, 1953. 286 p.
14. Molebny V., Kamerman G., & Steinvall O. (2010). Laser radar: from early history to new trends. *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications IV*. URL: <https://doi.org/10.1117/12.867906>
15. Kersten T. P., Lindstaedt M. (2022). Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanner systems in the laboratory and in the field. *Applied geomatics*, 14(2), 421-434. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00442-2>
16. 3D Laser Scanning. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/3d-laser-scanning-14314865848.html>
17. Ul A. V., Melnyk O. V., Rudyk O. V., Melnyk Yu. A., Synii S. V. (2021). Prynyspy modeliuvannya dynamichnykh system pry inzhenerno-heodezychnomu monitorynhu sporud. [Principles of modeling dynamic systems in engineering and geodetic monitoring of structures]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, (15), 85-92. URL: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-12)

18. Xi W., Lu W. G. (2021). Formation mechanism of an adherent vortex in the side pump sump of a pumping station. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(2), 327-338. URL: <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-2-562>
19. Gunatilake, A., Piyathilaka, L., Kodagoda, S., Barclay, S., & Vitanage, D. (2019). Real-Time 3D Profiling with RGB-D Mapping in Pipelines Using Stereo Camera Vision and Structured IR Laser Ring. *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 916-921. URL: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8834089>
20. Han K., DeGol J., (2018). Golparvar-Fard M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(2), 04017110. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001428](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428)
21. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19(7), 829-843. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>
22. Kalynych I. V., Radysh I. P., Vash Ya. I. Elektronni heodezychni prylady. Konspekt leksii. [Electronic geodetic instruments. Lecture notes] /uklad. Kalynych I.V., Radysh I.P., Vash Ya.I.– Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU «Hoverla», 2021r. 156 s. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/34491/1/%d0%9a%d0%be%d0%bd%d1%81%d0%bf%d0%b5%d0%ba%d1%82%20%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%86%d1%96%d0%b9%20%d0%bf%d0%be%20%d0%95%d0%93%d0%9f%201.pdf>
23. Yak vybraty lazernyi riven? [How to choose a laser level?]. URL: <https://sigma.ua/blog/stati/kak-vybrat-lazernyy-uroven>
24. Nesterchuk I. K. (2012). Istoriia rozvytku kutomirnykh pryladiv. [History of the development of angle measuring devices]. *Chasopys kartohrafiï*, 4, 144-153. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh\\_2012\\_4\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2012_4_17)

## USAGE OF LASER TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

**Abstract.** *In this study, modern laser technologies used in construction are analyzed in detail. Emphasis of the research is placed on the usage of laser scanning, which allows for creation of high-precision three-dimensional models of construction objects. As a result, it significantly improves design accuracy and facilitates the process of reconstruction and restoration of buildings. Laser alignment systems that provide high-precision installation of structural elements and control of their position during construction are analyzed. Laser total stations, theodolites, and rangefinders for accurate measurement of distances, angles, and volumes at construction sites are reviewed in detail. Laser total stations provide automated data collection and processing, which significantly reduces the time required for surveying. Laser theodolites are used for high-precision determination of angles and directions, which are critical for the construction of complex structures. Laser rangefinders allow for fast and accurate distance measurement, which is essential for effective planning and control of construction projects. The advantages of the use of laser technologies, such as increased measurement accuracy, reduction of the human factor, reduction of time spent on preparatory and control work, and increase in the overall efficiency of construction processes, are presented in the study. In summary, it is concluded that laser technologies have significant potential to revolutionize the construction industry, contributing to its innovative development.*

**Key words:** *laser, laser level, rangefinder, laser scanning systems, theodolite, total station, construction process optimization, development history of geodetic instruments.*

### **Yurchenko Yu. V.**

Engineer-Technologist, 1-st category at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

### **Siora O. V.**

Researcher at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

### **Sokolovskiy M. V.**

Lead Engineer at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

### **Bondarieva V. I.**

Deputy Head of the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv  
ORCID ID: 0009-0003-6177-6048

### **Bernatskiy A. V.**

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,  
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv