

УДК 528.5

**Куницький М. О., студент, Бялик І. М., к.т.н., доцент**

(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D ДРУКУ В ГЕОДЕЗИЧНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

**Проведено аналіз сучасних тенденцій в розробці та виробництві  
геодезичних приладів та розглянуто можливість використання  
3D друку для створення геодезичних приладів.**

**Ключові слова:** геодезія, прилад, 3D друк.

**Вступ.** На сьогоднішній день існує велика кількість геодезичних приладів та устаткування. Провідні підприємства по виготовленню приладів прикладають великі зусилля для модифікації та удосконалення геодезичних та топографічних приладів з урахуванням темпів розвитку світових технологій.

Найбільші підприємства по виробництву геодезичної продукції розташовуються в США, Японії, Німеччині, Швейцарії та Канаді. Найбільш відомими світовими брендами виробників в цій галузі є компанії Leica Geosystems, Trimble Navigation Limited, Topcon Positioning Systems Inc., Sokkia CO. LTD., Thales Navigation, Javad Navigation Systems, Nikon та багато інших. Випускаються геодезичні прилади і в Україні.

Така висока конкуренція на ринку призводить до надзвичайно великої кількості не тільки видів, а й марок приладів, значної різноманітності форм технічних рішень, електронних систем та програмного забезпечення.

Прилади провідних світових компаній є надійними та ефективними, але їх вартість досить висока, особливо для ринку України. Тому враховуючи складну економічну ситуацію, слід переорієнтувати споживачів на українських виробників, які зможуть запропонувати прилади, аналогічні за якістю та альтернативні за ціною.

**Постановка завдання.** Основною метою дослідження є пошук ресурсозаощадливих процесів виготовлення приладів та деталей до них. В даній роботі ми проведемо детальний аналіз видів геодезичних приладів та проаналізуємо тенденції в геодезичному приладобудуванні за останні роки. Також опишемо основні методи 3D друку та проаналізу-

емо можливості використання цих технологій для виготовлення геодезичних приладів.

**Результати досліджень.** Через величезну різноманітність форм рельєфу і об'єктів місцевості з прадавніх часів розвивалось багато методів геодезичних вимірювань. Відповідно для кожного методу розроблялись свої вимірювальні засоби. Однак за останнє століття, внаслідок науково-технічного процесу, почали вдосконалюватися старі методи та з'являлися нові. Відповідно для кожного з цих методів розроблялись та вдосконалювались вимірювальні прилади. Поряд із приладами, що вимірюють лише одну величину, з'явилися універсальні прилади, що вирішують комплекс геодезичних задач.

Розглянемо основні види геодезичних приладів, та їх призначення.

Теодоліт – призначений для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів. Все ще використовується через відносно невелику ціну.

Тахеометр – призначений для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, а також відстаней до точки. Один із найбільш універсальних та популярних приладів. Зовні схожий на теодоліт, який обладнаний віддалеміром. Через свою універсальність може виконувати більшість геодезичних задач.

Оптичний (електронний) нівелір – призначений для визначення перевищень. Через свою надійність, простоту і швидкість роботи, а також відносно невелику вартість залишається популярним при вирішенні задач по нівелюванню поверхні та геодезичному забезпеченні будівельних робіт.

Лазерний нівелір – призначений для відбивання лазером вертикальних та горизонтальних площин та нівелювання. Якщо прилад обладнано лімбами та віддалеміром, то він набуває універсальних рис і може виконувати більшість геодезичних задач. Такі прилади також називають побудовниками площини, крослайнерами, проєкційними лазерними приладами тощо. Проте ціна таких приладів значно зростає.

Світловідалеміри – призначені для вимірювання відстаней.

GPS – приймачі. Призначені для визначення координати точки або траєкторії руху. Як і тахеометр може виконувати більшість геодезичних задач. Має певні переваги і недоліки в порівнянні з тахеометром.

3D сканери – призначені для відтворення 3D моделі об'єкта, що вимірюється. Схожа технологія використовується при вимірюваннях за допомогою LIDAR (світлове виявлення і визначення віддалей).

Існують також інші геодезичні прилади та технології, які рідше використовуються. Це трасошукачі, гіростанції, прилади вертикального

проекування, технології ДЗЗ (дистанційного зондування Землі) та багато інших.

Не дивлячись на різноманіття приладів та їх призначення існує декілька особливостей, що їх об'єднує. А саме – достатньо висока точність вимірювань, надійність, можливість використовувати в складних зовнішніх умовах – адже майже всі прилади використовуються саме при польових вимірюваннях. Тому на перший план для забезпечення цих умов виходить якість виготовлення корпусу та деталей приладів.

Для виготовлення зовнішнього корпусу сучасних геодезичних приладів найчастіше використовуються металеві сплави та різні види пластмаси. В деяких випадках пластмаса навіть є кращим матеріалом оскільки він є легким при транспортуванні та зручним у використанні. Деякі види пластмаси за механічними характеристиками не поступають металевим сплавам, і водночас є легшими при обробці та забезпечують кращу герметичність. Однак ціна таких пластмас також є високою.

Одним із сучасних методів виробництва частин з пластику (та інших матеріалів) є 3D друкування. Метод 3D друкування є прикладом адитивного виробництва, який, у багатьох випадках, більш зручний та практичний у використанні в порівнянні з традиційними. Принцип даного методу полягає у послідовному накладанні шарів спеціального матеріалу (варто відзначити, що придатних для цього матеріалів поки що небагато). 3D принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей й механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними й фізичними властивостями за один технологічний процес. Для створення деталі чи механізму потрібно спроектувати його у системі автоматизованого проектування, відправити на друк і в результаті постає повністю сформований об'єкт. В процесі розробки деталі чи механізму можна змінювати його форму та принцип дії об'єкта.

Метод 3D друкування сприяє швидкому створенню та багатофункціональній розробці моделей. Задавши роботу для кожного з принтерів, можна зробити подетальне друкування.

Для розробки корпусів та деяких деталей геодезичних приладів підходять два види 3D друкування: стереолітографія та селективне лазерне спікання. Кожен з цих процесів має свої переваги та недоліки. Розглянемо їх детальніше.

Процес стереолітографії проходить у декілька етапів. Спочатку на спеціальній платформі під дією керованого комп'ютером ультрафіолетового випромінювання відбувається затвердіння верхнього шару певного рідкого матеріалу завтовшки в декілька сотих міліметра. Потім платформа із затверділим шаром опускається вниз та

покривається рідиною того ж матеріалу. На третьому етапі деталь знову піднімається, а надлишок матеріалу знімається, залишаючи лише тонкий шар, що здатний затвердіти під дією ультрафіолету. Після цього знову проходить перший етап. Послідовне повторення цих етапів призводить до наростання згідно креслень кінцевого об'ємного виробу.

Перевагами методу є досить точний процес, хороша деталізація виробу, гладка поверхня вихідної деталі. Недоліки: обмежений набір матеріалів, які фізично можуть використатися для виробництва деталей та неможливість створення кольорових моделей. Вартість установок для друку сягає 40-60 тисяч доларів США.

Ще одним методом 3D друкування є процес селективного лазерного спікання. Суть технології полягає в пошаровому спіканні лазерним променем порошкового матеріалу. У робочій камері він попередньо підігрівается, до температури трохи нижчої від температури плавлення. Після розрівнювання порошку по поверхні зони обробки CO<sub>2</sub>-лазером спікається потрібний контур, далі, подібно до попереднього методу деталь опускається на глибину спікання, насипається новий шар, розрівнюється, і процес повторюється. Готова модель витягується з камери, а надлишки порошку видаляються.

До переваг цього методу 3D друку відносять:

- широкий спектр недорогих і нетоксичних матеріалів (порошкові полімери, ливарний віск, нейлон, кераміка, металеві порошки), що можуть використовуватись для виготовлення виробів;
- низькі деформації та напруги;
- можливість виконувати складні за конфігурацією деталі;
- можливість одночасно робити відразу кілька моделей в одній камері.

Серед недоліків: не достатньо високий клас чистоти поверхні деталі. Крім того, вартість установок становить близько 400 тис. доларів США.

Порівняно з традиційними методами виробництва (штампування, ливарне виробництво тощо) виготовлення деталей методом 3D друкування має ряд переваг.

По-перше, традиційні методи вимагають тривалої та дорогої підготовки виробництва, що є виправданим лише при серійному виготовленні продукції. Підготовка виробництва з використанням методу 3D друкування короткотривала і не вимагає суттєвих матеріальних затрат. Тому використання цього методу є виправданим при експериментальному та малосерійному виробництві.

По-друге, виробництво деталей методом 3D друкування дозволяє виготовляти деталі складної форми, а також одночасне виготовлення механізму в цілому.

По-третє, методом 3D друкування можна виготовляти деталі з високим класом точності, який може бути навіть вищим, ніж при традиційних методах виробництва.

Яким же чином ці технології можна використовувати в геодезичному приладобудуванні? Розглянемо це питання на прикладі тахеометра. Вся оптико-механічна конструкція тахеометра має бути орієнтована вздовж трьох осей, які, в свою чергу, також мають жорстку орієнтацію між собою. Для прикладу розглянемо вертикальну вісь обертання алідади навколо лімба (вісь алідади). Навколо цієї осі в чіткому узгодженні мають відбуватись оберти не тільки алідади і лімба але й осі обертання зорової труби. Крім того, до цієї системи обов'язково входять також закріпні та навідні гвинти та інші деталі приладу. Нерівномірне кріплення елементів та розташування деталей створює проблему під час створення корпусу для приладу. Адже навіть незначне пошкодження системи при виготовленні або необережному поводженні з приладом призведе до виходу його з ладу.

В сучасному приладобудуванні традиційними методами ця проблема вирішується надзвичайно точними методами виготовлення деталей та зборки приладу, а також високою якістю матеріалів.

При використанні методів 3D друкування можна вирішити дану проблему шляхом зміни форми приладу. Адже всі елементи приладу при цьому способі виробництва можуть знаходитись не зовні, а в середині корпусу. А на зовні буде виведено лише система управління та вимірювальні датчики. Електронна система управління дасть можливість наводити та фіксувати прилад без механічного втручання до приладу. Те саме стосується і зорової труби. Заміна її на електронну відеокамеру дасть можливість проводити вимірювання через екран системи управління. При цьому оператор, після встановлення приладу на точку знімання, перестає механічно втручатися в роботу приладу.

Це дасть можливість збільшити точність та відстань знімання, оскільки всі процеси проходять в електронних блоках, які вбудовані в систему управління та прилад.

При такій конструкції приладу процеси центрування, приведення в робоче положення та вимірювання можна проводити автоматично, по напер заданій програмі. Зчитування даних може проводитися безпосередньо з приладу за допомогою мобільного Інтернету, wi-fi, bluetooth.

Ще одним способом здешевлення приладу може бути використання як системи управління ноутбука, нетбука, планшета, смартфона тощо,

на який встановлено відповідне програмне забезпечення. Така функція дасть можливість в режимі реального часу проводити не тільки знімання, але й опрацювання даних та навіть виконання кінцевого завдання (план, профіль проект).

**Висновок.** Технології виробництва методами 3D друкування можуть успішно використовуватись для виготовлення геодезичних приладів нового покоління, які будуть мати високу точність вимірювань, автоматичну систему керування всіма процесами під час вимірювань, безпроводну передачу даних вимірювань до електронної системи управління та опрацювання результатів вимірювань. Ці технології можуть бути успішно використані українськими виробниками для створення геодезичних приладів на рівні кращих світових зразків.

1. Мороз О. І. Геодезичні прилади : навч. посібник / Мороз О. І., Тревого І. С., Шевченко Т. Г. – Львів : Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2005. – 264 с.
2. Геодезичний енциклопедичний словник / за редакцією Володимира Літинського. – Львів : Євровіт, 2001. – 668 с.
3. Панчук Ю. М. Інженерна геодезія : навч. посібник / Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. – Рівне : НУВГП, 2012. – 337 с.
4. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / под ред. Энрике Канесса, Карло Фонда и Марко Зеннаро, пер. с англ. – С.-П. : НЦТФ, 2013. – 186 с.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Мошинський В. С. (НУВГП)

---

**Kunyskyi M. O., Senior Student, Bialyk I. M., Candidate of Engineering, Associate Professor** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

## **JUSTIFICATION AND THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE USAGE OF THE 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN GEODESIC INSTRUMENTATION**

**Conducted the analysis of modern tendencies in creation and production of geodesic devices and reviewed the possibility on using 3D printing while creating modern parts of geodesic devices.**

**Keywords: geodesy, device, 3D printing.**

---

**Куницкий М. О., студент, Бялык И. Н., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г. Ровно)

**ОБОСНОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ПЕЧАТИ В  
ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

**Проведен анализ современных тенденций в разработке и производстве геодезических приборов и рассмотрена возможность использования 3D печати для создания геодезических приборов.**

***Ключевые слова:* геодезия, прибор, 3D печать.**

---