

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.*Національний технічний університет України "КПІ"***АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОБІТ У ГАЛУЗІ ВИСОКОТОЧНИХ
ВИМІРЮВАЧІВ КУТА**

Зважаючи на відсутність у літературі систематизованого аналізу робіт у галузі високоточних вимірювачів кутів, у статті зроблений аналітичний огляд сучасних кутовимірювальних засобів.

Одним з важливих застосувань перетворювачів кута є навігаційні прилади, використовувані в системах керування об'єктами різного призначення. У цих пристроях перетворювачі застосовуються для визначення кутів, зокрема, між гіроскопічним блоком і корпусом об'єкта. За отриманими від перетворювачів значеннями кутів та іншою інформацією обчислюють впливи на об'єкт керування, наприклад, літальний апарат.

У радіо- і лазерній локації, в оптичних системах визначення траєкторії об'єктів, у системах астроорієнтації та кута використовуються для керування антенами, телескопами чи оптичними блоками астронавігації перетворювачі при їхньому наведенні на ціль і для визначення координат при спостереженні за ціллю. При цьому в режимі наведення на ціль перетворювач працює при великих кутових швидкостях, а в деяких випадках при спостереженні за ціллю, наприклад, зіркою чи сузір'ям — при малих кутових швидкостях.

Великого поширення перетворювачі кута одержали і в системах керування верстатами, а також у геодезії та метрології, де вони використовуються як для керування, так і для визначення кутових величин.

Вимоги до точності сучасних систем керування безупинно підвищуються. Наприклад, система керування телескопом, на якому змонтований лазерно-локаційний комплекс ФІАН, забезпечує наведення променя на об'єкт із точністю 2" [1–11], що накладає жорсткі вимоги на точність основних його підсистем, і в першу чергу на перетворювачі кута.

Вимоги до перетворювачів кута, застосовуваних у системах керування, визначаються конкретним призначенням системи й умовами її експлуатації. У сучасних прецизійних комплексах точність перетворювача повинна бути не гірше 0,3–1,0" у діапазоні 0–2л, перетворювач повинний працювати в динамічному режимі, для стикування з пристроєм цифрової обробки інформації його сигнали повинні видаватися в цифровій формі і т.д.

Крім цього, у багатьох пристроях керування пред'являються спеціальні вимоги, згідно з якими перетворювач не повинний мати кінематичного зв'язку з об'єктом, тобто кути повинні визначатися безконтактними методами, наприклад, за допомогою оптичних чи інших зв'язків.

Для вимірювання кутових переміщень в автоматичному режимі в даний час широко використовуються електростатичні, електродинамічні та фотоелектричні перетворювачі. Електродинамічні перетворювачі на даному етапі робіт мають більш високу, ніж електростатичні, точність. Одним з різновидів електродинамічних перетворювачів є індуктивний перетворювач – індуктосин.

Індуктосин являє собою два розташованих паралельно і співвісно диски з ізоляційного матеріалу [4], на суміжні поверхні яких нанесені обмотки, що представляють собою радіальні пластини-провідники, з'єднані по черзі в центрі і на периферії диска. Обмотка одного з дисків, наприклад, поворотного ротора живиться перемінним струмом, на виході обмотки іншого диска (статора) одержують напругу, параметри якої є функцією кутового положення дисків.

До переваг індуктосину варто віднести порівняльну простоту конструкції. Похибка індуктосину визначається точністю виконання обмоток, ексцентриситетом, перекосом та неплоскостістю обмоток статора і ротора тощо. Одним з найбільш точних кутовимірювальних пристроїв на основі індуктосину, що випускаються в даний час серійно, є кутовимірювальний пристрій АГК-4, середньоквадратична похибка якого відповідно до технічних умов – 3,3".

Більш висока точність може бути отримана за допомогою фотоелектричних перетворювачів кута [5]. У таких приладах на прозорому лімбі наносять кодову маску у вигляді концентричних окружностей (доріжок) з прозорими і непрозорими ділянками, кількість яких збільшується зі збільшенням діаметра окружності. Освітлювач і фотоприймачі розташовані нерухомо з обох боків кодового лімба відповідно проти кожної з доріжок. При обертанні кодового лімба змінюються сигнали фотоприймачів, на виході яких одержують кодові комбінації, що відповідають куту повороту лімба. Для підвищення точності використовують муарові смуги, що виникають при сполученні, наприклад, двох фігур визначеної конфігурації.

Одним з найбільш точних в дійсний час є фотоелектричний перетворювач кута АГК-5, середньоквадратична похибка якого відповідно до технічних умов – 1,5". Подальше підвищення точності фотоелектричних та електродинамічних перетворювачів кута веде до невиправданого збільшення габаритів, ускладнення конструкції й обмежується технологічними можливостями виготовлення їхніх чуттєвих елементів.

У зазначених перетворювачах кута перетворення виконується з використанням кінематичного зв'язку з контрольованим об'єктом при обмежених кутових швидкостях. Роботу в динамічному режимі забезпечують часові перетворювачі [6], у яких кут повороту пропорційний часу вимірювання кута.

У роботі [7] зазначено, що на основі такого перетворювача створений кутовимірювальний прилад зі середньоквадратичною похибкою близько 0,75". Підвищення точності часових перетворювачів обмежується нестабільністю швидкості обертання поворотного пристрою, обумовленою технологічними труднощами виготовлення прецизійних поворотних пристроїв і приводів.

Одним з перспективних приладів є частотний перетворювач кута на основі квантових магнітометрів [8]. Такі перетворювачі мають високу чутливість і швидкодію, однак мають обмеження по діапазону вимірюваних кутів, чуттєві до зовнішніх магнітних полів.

Таким чином, істотні недоліки розроблених кутовимірювальних пристроїв обумовлюють необхідність пошуку нових технічних рішень.

Останнім часом одержують поширення як вимірювальні перетворювачі кутової швидкості – кільцеві лазери [9–11]. Застосування практично безінерційних КЛ дозволяє робити безконтактне перетворення кутів з обробкою інформації в реальному масштабі часу, що дає можливість працювати в динамічному режимі при високих кутових швидкостях. Частотний вихід КЛ дозволяє легко робити перетворення інформації в цифровий код і здійснювати її подальшу обробку цифровими методами.

Проте, точність вимірювання кутів за допомогою перетворювачів, у яких використовується заздалегідь визначений масштабний коефіцієнт КЛ [12], невисока через недостатню стабільність останнього.

Використовуючи особливості вимірювання кутів за допомогою перетворювачів, що працюють у діапазоні 0–2 π (можливість точної фіксації кута повороту 2 π), у роботі [17] запропонований метод самокалібровки, що дозволив різко підвищити точність вимірювання кутів.

Перші експериментальні роботи, проведені у ВНІМ ім. Д.І. Менделєєва, показали, що з використанням принципу самокалібровки можуть бути досягнуті високі точності [18] у діапазоні кутів 0–2 π . У роботі [19] наведена схема експериментальної установки, на якій виконувалися вимірювання плоских кутів. Установка за один прийом дозволяла робити вимірювання одного кута призми, систематична складова похибки – порядку 0,4", середньоквадратичне відхилення випадкової складової – порядку 1,2". Похибка за рахунок горизонтального переміщення призми – 0,6 " при зрушенні на 1 мм.

У ЛЕТІ ім. Ульянова створена установка для вимірювання кутів багатограних призм [20], у якій використовується прецизійний поворотний пристрій на аеростатичній опорі, інтерференційний автоколіматор та інші нові технічні рішення. Установка за один прийом дозволяє робити вимірювання одного кута багатогранної призми. Вибір кута виконується шляхом затінення інших граней призми екраном. В даний час проводяться всебічні дослідження установки.

Розроблений також лазерний перетворювач кругових (кутових) переміщень на основі КЛ, що дозволяє робити вимірювання кутів з точністю 1,2" [13].

Слід зазначити, що в даний час у нашій країні роботи зі створення перетворювачів кутів на основі КЛ випереджають відповідні розробки за рубежом. Однак останнім часом з'явилися повідомлення про проведення за рубежом експериментальних робіт у цьому напрямку. Так, у Масачусетському технологічному інституті досліджується цифровий пристрій для кодування на базі КЛ.

1. Вітчизняні гоніометри з візуальним наведенням та відліком

В даний час виробництво високоточних гоніометрів зосереджено на трьох фірмах: ДП «завод Арсенал» (Україна), «Moller Wedel» (Німеччина), «Optical Tools for Industry» (Великобританія). Розглянемо найбільш широко використовувані прилади, що випускаються цими фірмами.

Гоніометри з візуальним наведенням та відліком можна розділити на дві підгрупи: гоніометри-спектрометри та гоніометри [1]. Гоніометри-спектрометри виготовлялися за ГОСТ 10021-62, в якому передбачені гоніометри-спектрометри типів ГС-2, Г5М. Характеристики деяких вищезазначених типів гоніометрів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики гоніометрів

Параметри	ГС 2	Г5М
Збільшення труби з основним окуляром	63×	40×
Фокусна відстань, мм		
об'єктива	674	400
основного окуляра	9,8	9,8
Світловий діаметр об'єктивів труб, мм	70	50
Ціна ділення лімба, '	10	20
Ціна ділення шкали оптичного мікрометра, "	0,5	1
Збільшення мікроскопа	45×	53×
Похибка показів приладу, "	± 2	± 5
Габаритні розміри, мм		
максимальна висота	1150	370
максимальна довжина	685	610
відстань між об'єктивами труб	480	250
Маса, кг	190	22

Під допустимою похибкою показів гоніометра розуміють найбільшу похибку вимірювання кута одним прийомом на будь-якій ділянці лімба в умовах перевірки. Під одним прийомом розуміється три наведення на кожну грань. Відлік по кожній грані приймається як середнє арифметичне з відліків при трьох наведеннях.

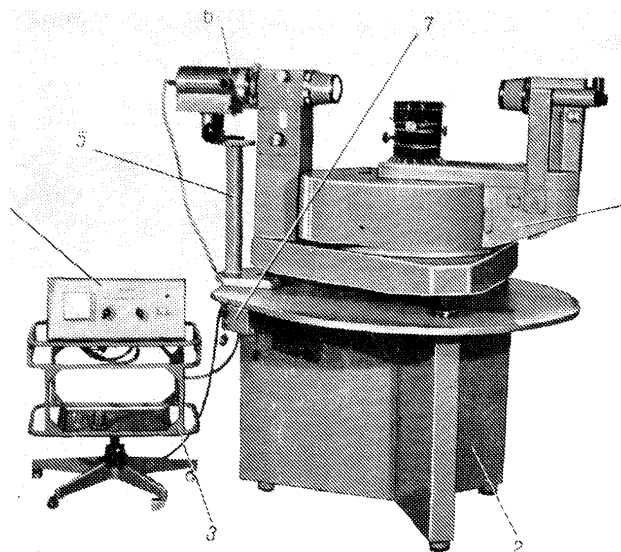


Рис. 1. Гоніометр-спектрометр ГС 2:

1 – гоніометр; 2 – стіл; 3 – рухомий візок; 4 – блок живлення генератора;
5 – штатив; 6 – генератор; 7 – блок живлення

Випускається ПО «АРСЕНАЛ», Київ.

Призначений для вимірювання кутів між нормаллями до плоских полірованих граней твердих прозорих і непрозорих тіл, пірамідальності призм, визначення показника переломлення оптичних матеріалів у видимій області спектра.

Наведення на контрольований об'єкт здійснюється за допомогою візуального автоколіматора. Керування ручне.

Похибка вимірювання плоских кутів – не більше 2".

Діапазон вимірювання плоских кутів 0...360°.

Габарити 1150x685x650 мм.

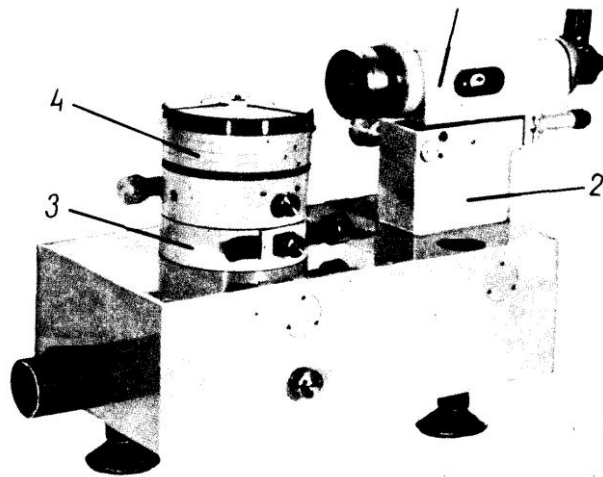


Рис. 2. Гоніометр Г5М:

1 – автоколіматор; 2 – корпус приладу; 3 – осьова система; 4 – предметний стіл

Випускається ПО «АРСЕНАЛ», Київ.

Призначений для вимірювання кутів між нормальми до плоских полірованих граней твердих прозорих і непрозорих тіл, пірамідальності призм, визначення показника заломлення оптичних матеріалів у видимій області спектра.

Наведення на контрольований об'єкт здійснюється за допомогою візуального автоколіматора. Керування ручне.

Похибка вимірювання плоских кутів – не більше 5".

Діапазон вимірювання плоских кутів 0 ... 360°.

Габарити 610x260x370 мм.

Гоніометри складаються з таких основних частин: зорової труби (зі звичайним чи автоколімаційним окуляром), коліматора, лімба та відлікового мікроскопа [4]. Зорова труба та коліматор мають двокомпонентні телеоб'єктиви. Фокусування виконують переміщенням негативного компонента телеоб'єктива. Для виключення помилки ексцентриситету в гоніометрах Г5М, ГС2 використаний принцип суміщеного відліку, коли зображення двох діаметрально протилежних ділянок лімба проєктується в поле зору одного відлікового мікроскопа.

Крім вітчизняних можна також навести декілька прикладів гоніометрів з візуальним наведенням, що випускаються за кордоном. Розглянемо деякі з них.

2. Гоніометри з візуальним наведенням, що випускаються за кордоном

Goniometer-Spectrometer II UV-VIS-IR (рис. 3)

Випускається фірмою «Moller Wedel» (Німеччина).

Призначений для вимірювання плоских кутів і показника заломлення оптичних середовищ у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній областях спектра.

Як датчик кута використовується штриховий лімба. Наведення на контрольований об'єкт і знімання показань з лімба здійснюється візуально. Керування приладом виконується вручну. Для підвищення точності наведення використовується фотоелектричний канал з індикацією на екрані монітора.

Похибка вимірювання плоских кутів – 0.2" (при багаторазових вимірах).

Габарити 1400x600x760 мм.

Маса 500 кг.

Основним недоліком цього приладу є візуальний відлік, що призводить до низької вірогідності результатів вимірювань за рахунок суб'єктивних помилок оператора.

Крім того, виміри повинні проводитися при дуже вузькому температурному діапазоні $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, що може бути забезпечене при використанні дорогих термостабільних приміщень.

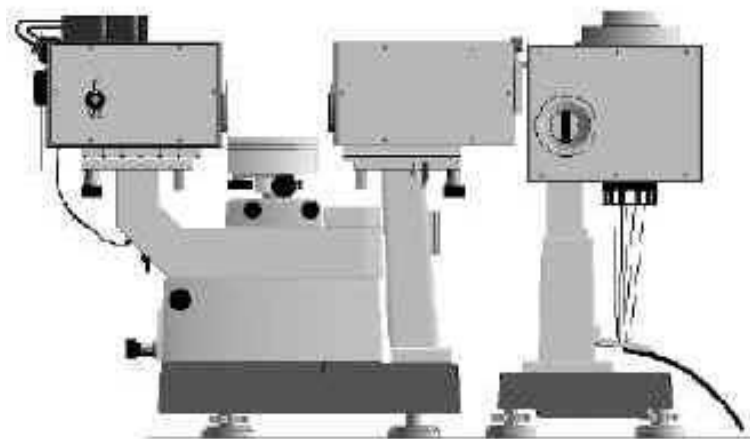


Рис. 3. Гоніометр-спектрометр II UV-VIS-IR

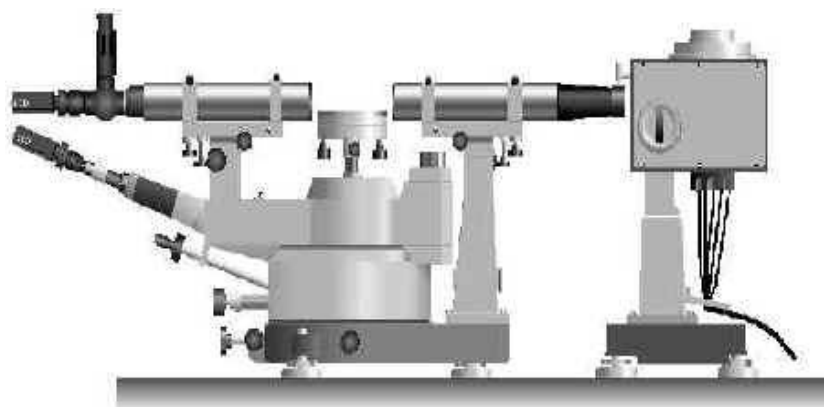


Рис. 4. Гоніометр-спектрометр I-VIS

Випускається фірмою «Moller Wedel» (Німеччина).

Призначений для вимірювання плоских кутів і показника заломлення оптичних середовищ у видимій області спектра.

Прилад має візуальне наведення на контрольований об'єкт і ручне керування. Замість лімба використовується фотоелектричний перетворювач кута. Інформація з перетворювача кута видається на малогабаритну ЕОМ.

Діапазон вимірювання плоских кутів $0...360^\circ$.

Похибка вимірювання плоских кутів – $2''$.

Діаметр предметного стола 135 мм.

Габарити 1000x360x540 мм.

Маса 85 кг.

В табл. 2. наведені деякі характеристики вищезгаданих типів гоніометрів.

Технічні характеристики гоніометрів I-VIS та II UV-VIS-IR

Параметр	Значення	
	I-VIS	II UV-VIS-IR
Похибка вимірювання плоских кутів	2,0"	0,2"
Точність вимірювання показника заломлювання	1·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁶
Розміри		
Довжина×ширина×висота	1000x360x540 мм	1400x600x760 мм
Діаметр предметного стола	135 мм	135 мм
Маса	85 кг	500 кг
Діапазон вимірювань	0...360°	0...360°

O.T.I. Precision Goniometer

Випускається фірмою «Optical Tools for Industry» (Великобританія).

Призначений для вимірювання плоских кутів.

Наведення на контрольований об'єкт здійснюється за допомогою візуального автоколіматора. Керування ручне. Як датчик кута використовується фотоелектричний перетворювач кута. Інформація про вимірюваний кут відображається на спеціальному електронному блоці.

Похибка вимірювання:

- варіант 1 – 1";
- варіант 2 – 2".

PrismMaster Goniometer

Гоніометр PrismMaster (рис. 5) випускається у трьох модифікаціях (версіях):

- PrismMaster – Standard Version – стандартна модифікація;
- PrismMaster HR – підвищена розрешаюча здатність;
- PrismMaster C – Compact Version – компактна версія.

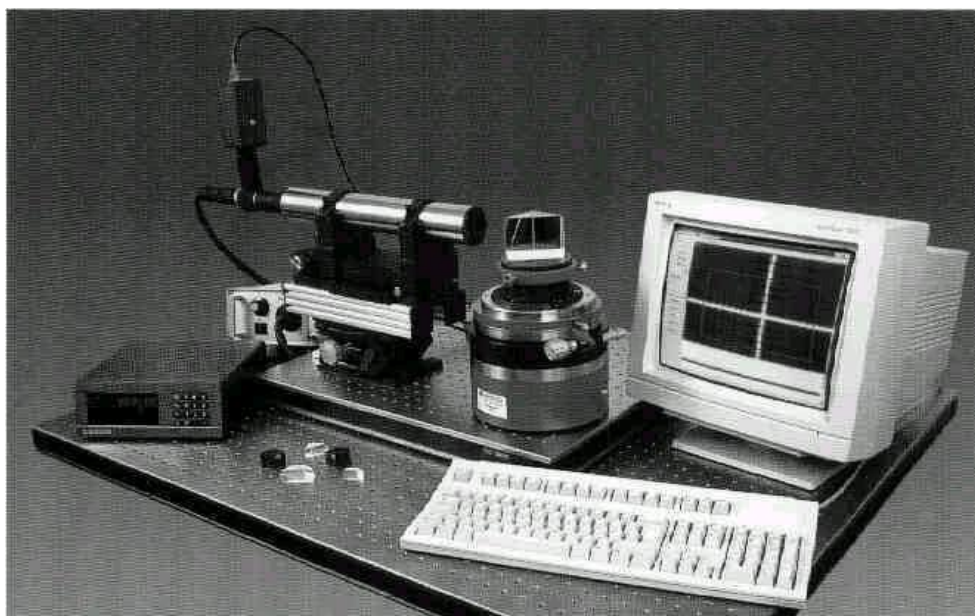


Рис. 5. Гоніометр PrismMaster

Деякі характеристики гоніометрів PrismMaster наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристики гоніометрів PrismMaster

Характеристика	PrismMaster 5-100-00	PrismMaster HR 5-100-01	PrismMaster C 5-100-05
Прецизійна повітряна подушка	•	•	
Прецизійний поворотний стіл			•
Розрішення	0.36 arcsec	0.036 arcsec	0.36 arcsec
Точність переміщення	0.5 arcsec	0.2 arcsec	0.5 arcsec
Загальна точність: одного вимірювання групи вимірювань	1 arcsec 0.5 arcsec	0.5 arcsec 0.5 arcsec	1.5 arcsec 0.7 arcsec
CCD-автоколіматор, D 57 мм	EFL=500 мм	EFL=500 мм	EFL=500 мм

З наведеного огляду видно, що в даний час випускаються прилади з ручним керуванням і візуальним наведенням на контрольований об'єкт. Такі прилади не дозволяють автоматизувати процес вимірювання кутів, вони мають невисоку вірогідність результатів вимірювань за рахунок суб'єктивних помилок оператора.

3. Автоматизовані гоніометри на світовому ринку

Система кутовимірювальна ГС1Л, ДП «Завод Арсенал», Україна

У системі кутовимірювальній ГС1Л, що випускається ДП «Завод «Арсенал», замість лімба використовується кільцевий лазер (КЛ), а замість автоколіматора з візуальним наведенням використовується фотоелектричний автоколіматор. Прилад ГС1Л дозволив автоматизувати процес вимірювання кутів, значно зменшити час вимірювання і виключити суб'єктивні помилки оператора.

Похибка вимірювання кутів 0.5". Однак у метрології і деяких галузях промисловості потрібно кутовимірювальний прилад з похибкою вимірювання не гірше 0.3.

Динамічний лазерний гоніометр ИУП-1Л, СПбГЕТУ, кафедра АНУМ

ИУП-1Л – нове покоління швидких цифрових кутовимірювальних систем (рис. 6):

- це – складна вимірювальна система, яка складається із оптико-механічного та електронного блоків, спеціального інтерфейсного пристрою та програмного забезпечення;
- це – використання структури електромагнітного поля всередині резонатора кільцевого лазера в якості еталонної кутової шкали.
- Використовується для калібровки багатогранних призм та вимірювальних перетворювачів кутів різного типу.
- Використовується при неконтактних вимірюваннях параметрів кутового руху об'єкта.

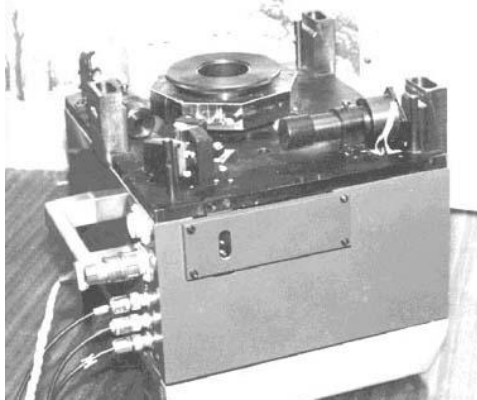


Рис. 6. Гоніометр ИУП-1Л

В табл. 4 наведені технічні характеристики гоніометра ИУП-1Л.

Таблиця 4

Технічні характеристики гоніометра ИУП-1Л

Межі вимірювань, град	360
Випадкова похибка, кут.с	0,03
Систематична похибка, кут.с	< 0,1
Час вимірювання, с	14...40
Час одного оберта, с	1...2
Діапазон вимірювання, град	30
Макс. відстань до об'єкта, м	< 1,5
Похибка вимірювання миттєвого кутового положення, кут.с	0,2
Похибка вимірювання кутової швидкості, с/с (1 хв. вимірювання)	<5 10 ⁻⁴
Частота з'єму інформації, Гц	6...48
Розміри, мм	300x300x300 /400x400x120
Вага, кг	15/5

4. Високоточні гоніометри на світовому ринку

В даний час основними постачальниками гоніометрів у Західній Європі є фірми "Moller Wedel" (Німеччина), "Optical Tools for Industry (OTI)" (Великобританія), "Carl Zeiss Jena" (Німеччина).

"Goniometer-Spectrometer" фірми "Moller Wedel" з похибкою вимірювання плоских кутів 0,5". Це прилад з ручним керуванням і візуальним відліком результатів вимірів по лімбу.

У фахівців викликає сумнів досягнення зазначеної у рекламних матеріалах точності, особливо при вимірюванні показника заломлення.

Прилад поставляється в трьох варіантах: VIS, VIS-IR, VIS-R.

Вартість приладу:

- для вимірювання кутів і показника заломлення у видимому діапазоні (VIS) – 287 330 DM;
- для вимірювання кутів і показника заломлення в ультрафіолетовому, видимому й інфрачервоному діапазонах (UV-VIS-IR) – 826 620 DM.

"Goniometer-Spectrometer II" фірми "Moller Wedel" виконує вимірювання кутів з похибкою 2". Прилад має ручне керування та візуальне наведення на вимірюваний об'єкт. Результат вимірювання видається на цифровому табло. Для обробки інформації використовується ЕОМ.

Вартість приладу – 116 780 DM.

"OTI Precision Goniometer" фірми OTI дозволяє робити вимірювання кутів з похибкою 1". Прилад має ручне керування та візуальне наведення на вимірюваний об'єкт. Результат вимірів відображається на цифровому табло.

Вартість приладу – 111 877 фунтів стерлінгів.

"OTI Workshop Goniometer" фірми OTI вимірює кути з похибкою 5". Гоніометр має ручне керування та візуальне наведення на вимірюваний об'єкт. Результат вимірів відображається на цифровому табло. Конструкція приладу така ж, як і в попереднього.

Вартість приладу – 7 840 фунтів стерлінгів.

"Werkstattgoniometer" фірми "Carl Zess Jena" вимірює кути методом порівняння з еталонним зразком. Рухливий автоколіматор дозволяє контролювати кути у верхній півсфері. Похибка порівняння з еталоном – 5".

Вартість приладу – 16 000 DM.

Ця ж фірма до 1991 р. рекламувала "Prezisiongoniometer" з похибкою вимірювання 1" вартістю 221 970 XTR. В даний час реклами цього приладу немає.

В інших країнах (США, Китай) велися роботи з дослідження перетворювачів кута на основі кільцевого лазера, однак інформації про виробництво кутовимірювальних засобів з використанням таких перетворювачів кута немає.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Эйдинов В.Я.* «Измерение углов в машиностроении. – М.: Государственное издательство стандартов, 1963. – 414 с.
2. Гониометр-спектрометр ГС-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 2.787.050ТО.
3. Гониометр Г5М. Проспект ПО "Завод Арсенал".
4. Оптические приборы в машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1974. – 238 с.
5. Сайт в Интернеті <http://www.moeller-wedel.com>.
6. *Проненко В.И., Иносов В.Л.* Анализ погрешностей измерения плоского угла в интервале времени // Измерительная техника. – 1974. – № 1. – С. 11–14.
7. Лазерные измерительные системы / Под ред. проф. Д.П. Лукьянова. – М.: Радио и связь, 1981. – 456 с.
8. *Bezvesilnaya E., Zaysev Y.* Angle Measuring Instruments On Laser Gyro Base // Symposium gyro Technology, 1999. – Stuttgart, Germany. – P. 80–89.
9. Применения лазеров / Под ред. д.т.н. В.П. Тычинского. – М.: Мир, 1974. – 445 с.
10. *Вангорихин А.И., Зайцев И.И.* Автоматизированный гониометр на основе кольцевого лазера // ОМП. – 1982. – № 9.
11. *Кудрявцев В.Б., Лысенко А.П., Милохин Н.Т., Тищенко И.М.* Прецизионные частотные преобразователи автоматических систем контроля и управления. – М.: Энергия, 1974, – 336 с.
12. *Быганян Д.А., Гольдман И.Я.* Поворотный индуктосин. – Л.: Энергия, 1969. – 100 с.
13. *Преснухин Л.Н., Шаньгин В.Ф., Майоров С.А. Меськин И.В.* Фотоэлектрические преобразователи информации. – М.: Машиностроение, 1974. – 376 с.
14. *Куалдунозянц С.А., Иносов В.А., Проняко В.И.* Анализ погрешностей измерения плоского угла с применением электромагнитного преобразователя угла в интервале времени // Измерительная техника. – 1974. – №1. – С. 11–14.
15. *Богданов А.П., Хлебников Ф.П., Цеснек Л.С.* Автоматизированный контроль многогранных призм // Опт.-механ. промышленность. – 1978. – № 7. – С. 3–5.
16. *Kollpatrick J.* The laser gyro // JEEE Spectrum. – October, 1967. – P. 44–55.
17. *Aronowitz F.* Single-isotope laser gyro. – Appl. Opt. – 1972. – Vol. II. – № 2. P. 405–412.
18. *Савельев А.М., Соловьева Т.И.* Состояние лазерной гироскопии за рубежом // Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – № 8. – С. 77–92.
19. *Lamazze J.M., Roband I.J.* Goniometric par gyrometre laser. – Jonale Electricque, Vol. 50, Jasc. 10. – Nov. 1970. – P. 869–871.
20. Пат. №1623406 [ФРГ] Laser-Goniometr. I.Catherin J.M., Pessus B. – An.1418.1967.
21. *Филатов Ю.В.* Исследование кольцевого газового лазера в режиме измерения угла – Дис. канд. техн. наук. – ЛПИ, Л. – 1976.
22. *Блантер Б.Э. Филатов Ю.В.* Экспериментальное исследование точности измерительного преобразователя угла на основе кольцевого лазера // Метрология. – 1979. – № 1. – С. 3–8.
23. *Лукьянов Д.П., Филатов Ю.В., Блантер Б.Э.* Опыт и перспектива использования кольцевых лазеров в прецизионных системах. – АДНТП, Л., 1980. – 28 с.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри АіКТ Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- вимірювальні перетворювачі;
- комп'ютеризовані інформаційні системи;
- гравітація.

Подано 02.01.2004

Безвесільна О.М. Аналітичний огляд робіт у галузі високоточних вимірювачів кута
Безвесильная Е.Н. Аналитический обзор работ в области высокоточных измерителей угла
Bezvesilnaja E.N. The state-of-the-art review of works in area precise measurement of a corner

УДК 531.383

Аналітичний огляд робіт у галузі високоточних вимірювачів кута / О.М. Безвесільна

Зважаючи на відсутність у літературі систематизованого аналізу робіт у галузі високоточних вимірювачів кутів, в статті зроблений аналітичний огляд сучасних кутовимірювальних засобів.

УДК 531.383

Аналитический обзор работ в области высокоточных измерителей угла / Е.Н. Безвесильная // Вісник ЖДТУ. – 2004. – № 1(28) / Технічні науки. – С. ?? – ??. – Библиогр.: 23 назв.

В связи с отсутствием в литературе систематизированного анализа работ в области высокоточных измерителей углов, в статье осуществлён аналитический обзор современных углоизмерительных средств.

УДК 531.383

The state-of-the-art review of works in area precise measurement of a corner / E.N. Bezvesilnaja // Вісник ЖДТУ. – 2004. – № 1(28) / Технічні науки. – Р. ?? – ??. – Refs.: 23 titles.

In consecrate with absence in the literature of the systematized analysis of works in the field of precision measurement of corners, in clause the state-of-the-art review modern measurement of a corner of means is carried out.