

**РОЗРОБКА 4x–КООРДИНАТНОГО ГОНІОМЕТРА ДЛЯ ЮСТИРУВАННЯ ОПТИКИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Налагодження та юстирування засобів освітлення транспортних засобів, таких як фари та фанари, підвищення надійності та ефективності їх експлуатації виконується із використанням гоніометрів. В роботі авторами виконано аналіз сучасних конструкцій гоніометрів для юстирування світлової оптики транспортних засобів. На основі аналізу встановлено, що розробка таких пристроїв у різних джерелах інформації розглянута тільки у загальному вигляді, на рівні технічних характеристик, і потребує додаткової розробки та досліджень. З огляду на конструкції та класифікації гоніометрів встановлено, що оптимальною є конструкція з чотирма координатами, з яких дві координати для кутових переміщень відносно горизонтальної та вертикальної осі, а дві координати лінійних переміщень у горизонтальній площині. Розроблені принципова і функціональна схеми пристрою, а також схема управління і подана методика конструювання пристрою на основі розроблених схем. Проведено дослідження можливостей пристрою та розроблені рекомендації щодо його впровадження у виробництво.

Ключові слова: фара, ліхтар, кут, автоматизація, точність, випробування

Постанова проблеми. Безпека транспортних засобів у всіх сферах їх застосування є однією з найважливіших проблем з безпеки життєдіяльності. Виробники та експлуатаційники пред'являють високі вимоги щодо безпеки транспортних засобів. Важливе місце у цих вимогах займають системи світлової оптики, які забезпечують можливість використання транспорту як у темну пору суток, так і в умовах обмеженої видимості. Тому налагодження та юстирування засобів освітлення транспортних засобів, підвищення надійності та ефективності їх експлуатації є актуальною проблемою. Актуальність обраної теми пов'язана з необхідністю автоматизації контролю (юстирування) світлової оптики при її масовому виробництві в умовах підвищення вимог якості до цих виробів. Існують різного типу пристрої для юстирування (гоніометри), але такі пристрої або не відповідають технічним умовам та вимогам виробника оптики, або економічна доцільність їх використання у зв'язку із значною ціною підлягає сумніву. Такі пристрої у різних джерелах інформації розглянуті тільки у загальному вигляді, на рівні технічних характеристик. Отже створення гоніометру потребує додаткової конструкторської розробки та наукових досліджень. Тому мета роботи – на основі аналізу сучасних конструкцій розробити гоніометр для юстирування світлової оптики транспортних засобів мінімальної собівартості, дослідити його можливості тестуванням та надати рекомендації з приводу його використання. В роботі були вирішені такі задачі:

- виконано аналіз сучасних конструкцій пристроїв світлової оптики;
- розроблено принципова і функціональна схеми та схема управління;
- виконано конструювання пристрою на основі розроблених схем;
- виготовлено пристрій та досліджено його можливості тестуванням;
- розроблені рекомендації з його використання.

Огляд та аналіз конструкцій сучасних гоніометрів. Для юстирування автомобільних фар може бути запропонована конструкція гоніометрів фірми *Standa Ltd* [1]. Але гоніометр має тільки рухомі вісі обертання (А,В), що знижує його універсальність при використанні. Позитивом є електронне управління осями обертання. Конструктивні варіанти гоніометра надає фірма *LabSpion* (assists with new light measurement standards) [2]. Звертає увагу ажурність конструкції. Обертальні рухи здійснюються навколо трьох осей – А,В,С, причому одна з осей (наприклад В) повторюється у верхній та нижній частині дугового сектора. Така конструктивна схема є позитивною з точки зору налагодження центру обертання на перетині двох осей. З огляду на конструкцію можна зробити висновок, що управління здійснюється без застосування електроприводу, що знижує ефективність використання гоніометра. Існують гоніометри ручного управління (*Manual Goniometer Stage, Vacuum Compatible*) з можливістю використання у вакуумі [4]. Пристрій жорсткого механічного виконання з рамкою для установлення кругової або сферичної оптики. Відсутність поступальних переміщень та електронного приводу знижують ефективність його використання. Найбільш сучасною конструкцією, що відповідає значній механічній жорсткості та надійності є гоніометр фірми *SmarAct* із шістьма ступенями

вільності [5]. У центр сфер обертання та переміщення можна розмістити досліджуваний об'єкт – фару із заданою точністю. Але значна складність конструкції та надлишок ступенів вільності ставить під сумнів доцільність використання такого пристрою для юстирування фар. В сучасних гоніометрах, наприклад гоніометр Rigaku Smart.Lab фірми *Rigaku Corporation* в якості конструкційного матеріалу використовують пластик [6]. Інколи елементи конструкції виконують металевими, а захищають від корозії пластиком. Такі конструкції мають привабливий вид. Гоніометр для точної передачі кутів GON 360 та вимірювання їх рефлексії розроблений [7]. Панель управління виконана безпосередньо на платформі гоніометра, що дало можливість розмістити електроніку одним блоком з механічною частиною прилада. Фірма *Instrumentsystem* [7] розробила також гоніометр DTS 500 (positioner systems). Конструкція дозволяє виконувати як переміщення по трьох поступальним осях, так і переміщення на кутові положення. ПП «Суми Електрон Оптикс» пропонує гоніометр жорсткої конструкції з механічним управлінням переміщення за коловими осями [8]. Звертає увагу коловий сектор, що має зубчасту рейку для переміщення оптичної системи. У розглянутих конструкціях гоніометрів забезпечують переміщення напрямні як ковзання, так і кочення. Надсучасним гоніометром для контролювання світлової оптики є роботизований гоніометр (Robo-Goniometer) фірми *Quantumday* [9]. Гоніометр має не менше ніж 6 ступенів вільності, а отже відрізняється значною гнучкістю. Складність конструкції та її вартість обмежують використання такої техніки в умовах малих підприємств, але ідеї таких конструкцій можуть бути використані для розробки та створення подібних гнучких пристроїв. Одна з «металевих» конструкцій гоніометра з електро – або вакуумними (Motorized Goniometer Stages, Vacuum Goniometer) приводами розроблена в [10]. Базова пластина для затискання на ній різних об'єктів обертається навколо трьох осей. Поступові переміщення відсутні, що знижує гнучкість пристрою. Модульна схема конструкції гоніометра запропонована фірмою *Standa* [1]. Сектори забезпечують обертання досліджуваних об'єктів навколо двох осей. Призначені модулі для дослідження об'єктів на центрах обертання 50 та 80 мм, що недостатньо для об'єктів типу фар. Гоніометр для орієнтації невеликих об'єктів (BGS Goniometer Tip/Tilt Assembly) подано [11]. В конструкції також використовується модульна схема створення пристрою, причому на більшому секторі розміщується модуль менших габаритних розмірів. Приводи переміщення від крокових двигунів.

На основі огляду та аналізу конструкцій сучасних гоніометрів нами запропонована їх класифікація (рис. 1) за 5 ознаками. З огляду відомих конструкцій та класифікації гоніометрів, а також методики контролю світлової оптики мінімальну собівартість з нашої точки зору забезпечує конструкція з чотирма координатами, причому дві координати для кутових переміщень відносно горизонтальної та вертикальної осі, а дві координати лінійних переміщень у горизонтальній площині.



Рис. 1. Класифікація конструкцій гоніометрів

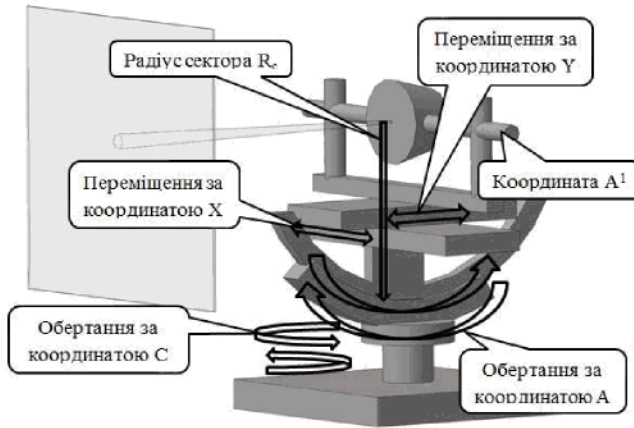


Рисунок 3 – Функціональна схема гоніометра для контролювання світлового потоку фари

зміщується у горизонтальній X та вертикальній Z площинах (рис. 2) так, щоб її оптична вісь перетинала екран у заданих методикою точках. Особливістю цього підходу контролювання фари є те, що при переміщенні оптичної осі фари оптичний центр фари повинен завжди залишатися у визначеному місці простору. Отже фара повинна обертатися навколо осі X та Z .

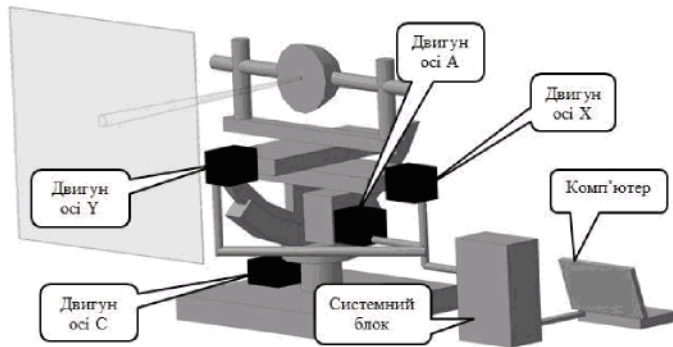


Рисунок 4 – Принципова схема управління гоніометром

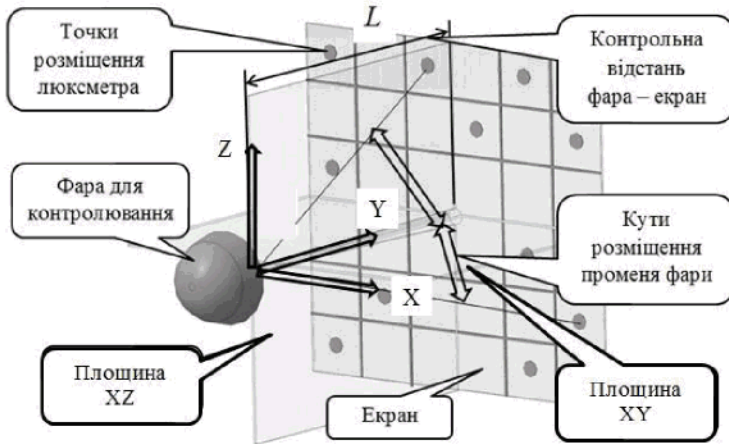


Рисунок 2 – Принципова схема контролювання світлового потоку фари

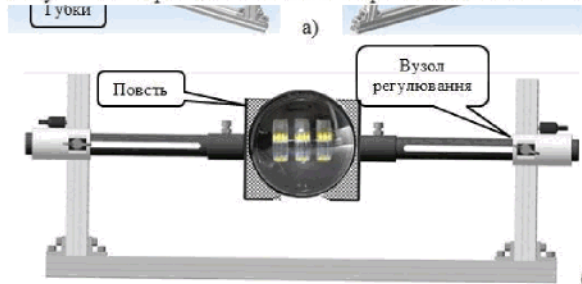


Рисунок 5 – Вузол кріплення фар а) та приклад затискання фари б)

Принципова схема контролювання світлового потоку фари та функціональна схема гоніометра для чотирьох координатних переміщень.

Для контролювання фари необхідно виміряти освітленість в заданих методикою точках екрану, розміщеного на заданій контрольній відстані L від самої фари. Це потребує використання декількох люксметрів або постійно переміщувати один люксметр на значні відстані. Згідно іншого підходу люксметр розміщується в центрі екрану, а фара лінійні переміщення за координатою X потрібні у випадку налагодження розміщення оптичного центру фари відносно екрану. Таке переміщення потрібне також для контролю фонарів, що мають конструктивно декілька джерел світлового потоку (фонарі зворотнього руху). Переміщення за координатою Y потрібне для точного розміщення центра фари відносно вертикальної осі Z .

Функціональна схема гоніометра створена на основі принципової схеми контролювання світлового потоку фари (рис. 3). У функціональній схемі гоніометра передбачено переміщення за координатами X , Y та обертання навколо осей A та C . Принципово обертання фари можна виконувати віссю A^1 , яка проходить через центр фари, при цьому радіус обертання визначається діаметром труби – держака фари. Але у зв'язку з тим, що для контролювання освітленості

потрібне позиціонування фари з точністю декількох кутових хвилин, то забезпечити таку точність з використанням більшого радіуса простіше.

Тому на функціональній схемі гоніометра передбачений сектор радіуса R_c , який і визначає вихідну точність переміщення за віссю A . Переміщення за вказаними координатами можна виконувати вручну.

Такий спосіб не забезпечує ні достатньої

точності позиціонування світлового потоку, ані продуктивності контролю. Тому доцільним є оснащення гоніометра сучасною системою управління. До системи управління повинні входити: крокові двигуни для здійснення обертаних переміщень за координатами A та C ,

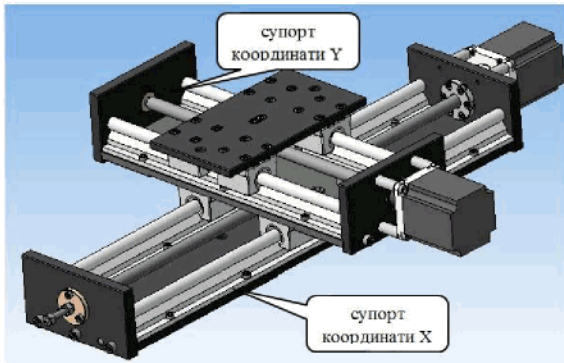


Рисунок 6– Вузол супортів переміщень за координатами X та Y

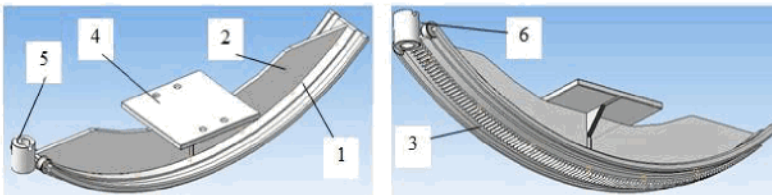


Рисунок 7 – Конструкція зубчастого сектора

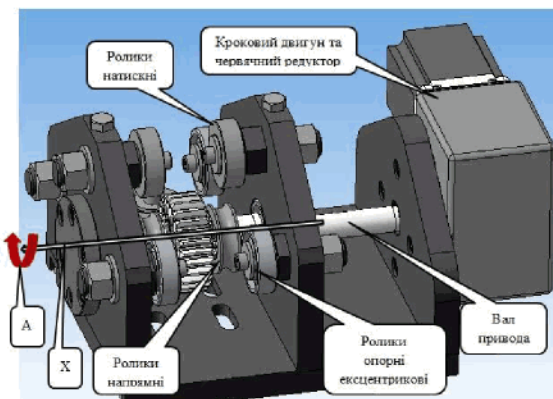


Рисунок 8 – Конструкція вузла приводу зубчастого сектора

інші вузли. На початку був розроблений вузол кріплення фар (рис.5).

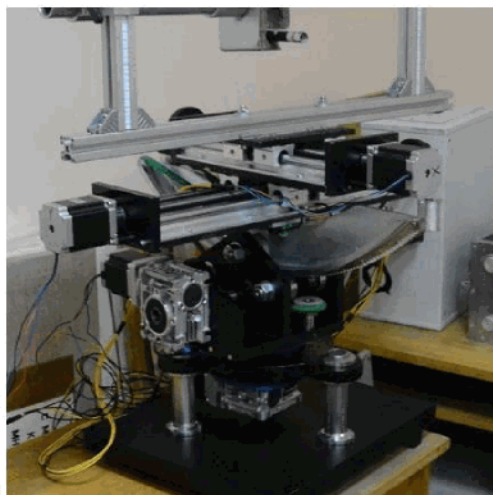


Рисунок 9 – 4-х координатний гоніометр з лазерною указкою для досліджень у вузлі кріплення фари

незначне регулювання у межах 200 мм. Основи супортів та бічні стояки виконані з алюмінію, що значно полегшує верхню частину гоніометра. Механізми ходовий гвинт – гайка ковзання мають номінальний діаметр 12мм та крок 3мм. Опорою гвинта є підшипники ковзання та кочення.

двигуни з перетворювачами обертового руху на поступовий за координатами X та Y, драйвери для управління двигунами, системна плата для зв'язку з пристроєм програмування і пристрій програмування з програмою – комп'ютер. Принципова схема управління гоніометром подана на рис. 4. До принципової схеми управління гоніометром надходять: крокові двигуни, а до системного блоку драйвери, блок живлення та системна плата. Попередні розрахунки та аналіз рухів гоніометра показали, що крутних моментів крокових двигунів недостатньо для здійснення рухів за осями A та C. Тому було прийняте рішення про оснащення осей A та C допоміжними черв'ячними редукторами з передатними відношеннями 1:80. У якості перетворювачів обертового руху двигунів на поступовий за осями X та Y були запропоновані ходові гвинти – гайки ковзання. Таке рішення обумовлене тим, що рухи переміщення за осями X та Y налагоджувальні і особливої точності переміщення не потребують.

Конструювання 4 – х координатного гоніометра. Конструювання гоніометра виконували на основі розроблених принципової та функціональної схеми гоніометра. Методологія конструювання полягала у тому, що функціональна схема гоніометра була представлена окремими вузлами, які послідовно розроблялися з детальною проробкою кожного елемента. До розроблених можна віднести такі основні вузли як: 1) вузол кріплення фари, 2) вузол супортів переміщень за координатами X та Y, 3) зубчастий сектор, 4) вузол приводу зубчастого сектора за координатою A, 5) вузол обертання за координатою C, 6) основа гоніометра та деякі

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Підшипник кочення розміщений у стояку зі сторони крокового двигуна. Він водночас обмежує вісьові переміщення гвинта. Зв'язок двигуна із ходовим гвинтом здійснюється жорсткою муфтою. Двигуни розміщені на стійках, що забезпечує доступ до з'єднувальних муфт. На протилежних від двигуна кінцях на гвинтах розміщені маховики ручного переміщення. Характерною конструктивністю зубчастого сектора є безпосередньо сам сектор (поз.1, рис. 7). Сектор у поперечному

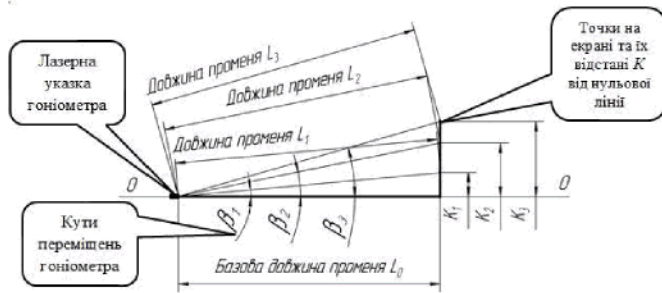


Рисунок 10 – Трикутники розміщення лазерного променя при дослідженнях

перетині має дугові напрямні канавки, які призначені для розміщення в них елементів кочення. Таким чином, у проєктованій моделі гоніометра для переміщення зубчастого сектора за координатою А використовуються напрямні кочення, а не ковзання, як на деяких прототипах. Усі складові зубчастого сектора виконані із сталі. Зубчаста рейка модулем 2 мм розміщена у базі сектора. Ролики (поз.6 рис. 8) виконані із фторопласту, який має низький коефіцієнт тертя з матеріалом натяжного пристрою системи зубчастого сектора. Одним із складних є вузол переміщення зубчастого сектора (рис. 8). На середньому стояку та на крайньому ліворуч розміщені ролики, які виконують роль механізму кочення для приводу зубчастого сектора. Ролики виконують різні функції: опорну, натискну, напрямну. Ролики опорні та натискні виконані на підшипниках кочення. Вказані на рисунку напрямні ролики виконані з фторопласту і являють собою підшипники ковзання як на валу привода, так і для контакту з натяжним пристроєм вузла. Осі натискних роликів розміщені в пазах для регулювання натискання та зазору у з'єднанні. До загальної конструкції надходять усі перелічені вище вузли гоніометра. Концептуальне розміщення їх відповідає функціональній схемі (рис. 3) де зазначені усі чотири координати переміщень вузлів гоніометра. При конструюванні гоніометра враховувалось і дизайнерські рішення, які полягали у розробці кольорової гами оздоблення вузлів гоніометра. Кінцевий варіант конструкції розробленого та виготовленого 4-х координатного гоніометра представлено на рис. 9.

Досліджень точнісних параметрів конструкції гоніометра. Методика проведення досліджень основана на рекомендаціях нормативної документації [12]. У відповідності до [13] світловий промінь фари ближнього/дальнього світла повинен мати на екрані світлову пляму визначеної форми. Тому сконструйований та виготовлений нами гоніометр потрібен пройти перевірку на точність переміщення світлової точки по екрану за різними координатами, що відрізняються від світлової плями фари.

У відповідності до вимог [13] був створений спеціальний екран з точками за визначеними координатами. При дослідженні гоніометра на точність переміщення променя у якості джерела променя використовували лазерну указку (рис.9), яку розмістили та затиснули у пристрої для закріплення фар. Використання такої указки обґрунтовано тим, що промінь лазера дає чітку точку малого діаметра на екрані при розміщенні точки на будь – якій координаті, що дозволяє із достатньою точністю провести дослідження переміщень вузлів гоніометра за координатами сітки – екрана.

Переміщення вузлів гоніометра за координатами виконували програмно, використовуючи для цього управляючу програму Mach 3. Швидкість обертання сектора навколо осі А та обертання навколо вісі С була задана постійною, тобто динаміка обертальних рухів на початку досліджень не впливала на точність переміщень та не вносила випадкових помилок.

Для підвищення точності досліджень гоніометр розмістили на жорсткому столі, що знаходився в аудиторії на першому поверсі з бетонною підлогою.

З метою визначення точності переміщень гоніометр розмістили на базовій відстані 6605 мм від екрану перпендикулярно ньому відповідно до методики контролю [13]. При кутових переміщеннях лазерного променя у відповідності до сітки – екрану довжина лазерного променя змінювалась, що визначалось трикутником розміщення лазерного променя (рис. 10). При проведенні досліджень кути переміщень β визначали програмно, з урахуванням коефіцієнта перетворення, а значення катетів K вимірювали масштабною рулеткою 1 класу точності довжиною 5 м. Пляму – крапку від лазерного променя на екрані теж вимірювали масштабною лінійкою, як і її переміщення у контрольованій точці при повтореннях експерименту. Для кращої обробки результатів переміщень плями фіксували її положення на коло діаметром 50

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

мм з паперу, а положення плям відмічали маркером. Априорі встановили, що похибки кутових переміщень при похибках вимірювання довжини лазерного променя в межах 3 – 5 мм не перевищує 0,01 градуса, що знаходиться у межах допусків для заданих контрольованих величин та підтверджує можливість використання вказаних інструментів при проведенні досліджень точностних параметрів конструкції гоніометра. Дослідження проводились в умовах постійної температури, що виключало вплив систематичних похибок на результати вимірювання.

Результати дослідження точностних параметрів конструкції гоніометра.

Експериментальне дослідження розподілу плям – точок лазерного променя на екрані у точках, розміщених на екрані при переміщенні променя по горизонталі та по вертикалі, показало, що закони розподілу плям променя ближче відповідають закону рівномірного розподілу (рис.11).

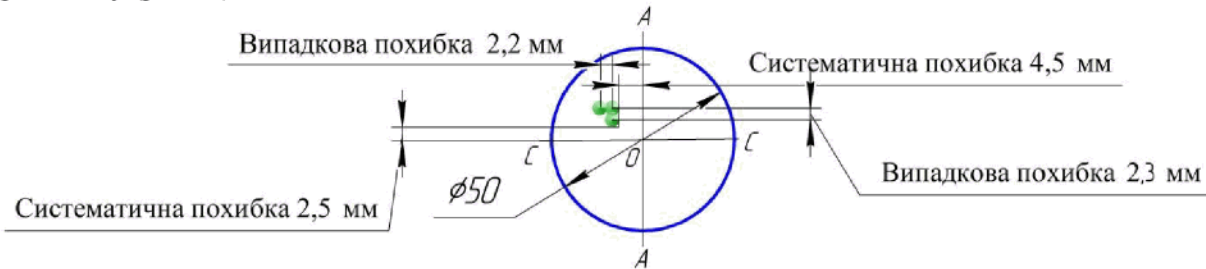


Рис. 11. Розподіл плям – точок лазерного променя на екрані із значеннями систематичних та випадкових похибок

Похибки переміщення плям – точок лазерного променя на екрані при переміщенні по горизонталі (координата Z) та по вертикалі (координата A) визначали для дев'яти точок у мм та градусних мірах (у секундах) на відстані від умовного нуля 1816 мм (ліворуч) та 1816 мм (праворуч), 843 мм (догори) та 555 мм (донизу). Дрейф плям – точок поданий на рис. 12. Похибки дрейфу знаходяться у допустимих межах і не перевищують 2,5 мм, а у градусній мірі 1'.

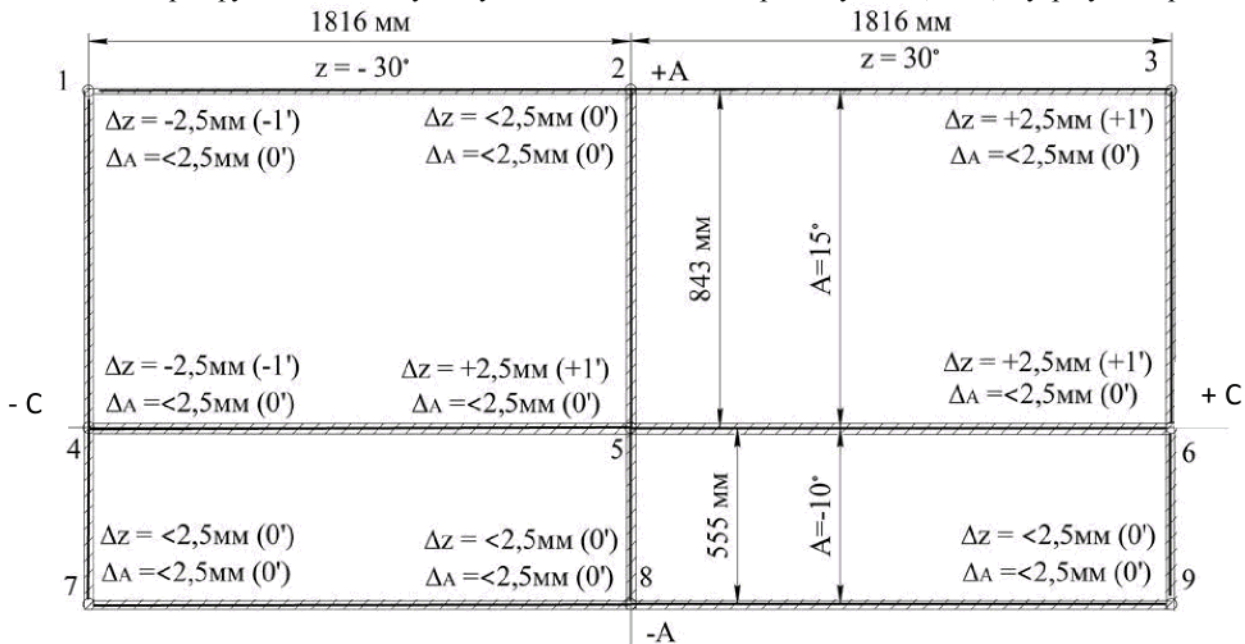


Рис. 12. Дрейф плям – точок лазерного променя на екрані при переміщенні по горизонталі (координата C) та по вертикалі (координата A)

Висновки

- 1 Виконано аналіз сучасних конструкцій гоніометрів як для передачі, так і контролювання кутів, що мають точність відліку та передачі кутів у межах від частки хвилин до секунд.
- 2 Сучасні гоніометри мають від 2 до 6 управляючих координат. Управління здійснюється як у ручному режимі, так і за програмою.
- 3 Розроблена класифікація гоніометрів, на базі якої сформульовані задачі для конструювання, виготовлення та дослідження чотирьохкоординатного гоніометра з програмним управлінням.
- 4 Виконано конструювання, виготовлення та дослідження чотирьохкоординатного гоніометра з програмним управлінням.

5 Дослідженням встановлено, що сконструйований та виготовлений гоніометр відповідає вимогам ГОСТ Р 41.112-2005 (Правила ЕЭК ООН №112).

Інформаційні джерела

1. Standa Ltd 2-Axis Goniometer Stage [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=592&prod=2-Axis-Goniometer-Stage.
2. LabSpion goniometer [Електронний ресурс] // LabSpion – Режим доступу до ресурсу: <http://www.visosystems.com/products/labspion/>.
3. Manual Goniometer Stage (Vacuum Compatible) [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=622.
4. SmarAct's New SmarGon: The 6D Goniometer [Електронний ресурс] // SmarAct's – Режим доступу до ресурсу: <http://www.smaract.com/products/6d-smargon-goniometer>.
5. Rigaku SmartLab Goniometer [Електронний ресурс] // SmartLab – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rigaku.com/ru/products/xrd/smartlab>.
6. GON 360 – Goniometer for specular transmission and reflection measurements [Електронний ресурс] // GON 360 – Режим доступу до ресурсу: <http://www.narich.co.za/product/goniometer/>.
7. DTS 500 [Електронний ресурс] // Instrument system – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instrumentsystems.com/products/display-measurement-systems-dts-series/dts-500-positioning-system/>.
8. Гоніометричний пристрій для ультрамікротома [Електронний ресурс] // Sumy Electron Optics – Режим доступу до ресурсу: <http://www.seo.sumy.ua/PreparationDevices/PreparationDevices.html#Goniometer>.
9. Efficient Optical Measurement Through Robotic Technology: Robo-Goniometer [Електронний ресурс] // Quantumday – Режим доступу до ресурсу: <http://www.quantumday.com/2013/02/efficient-optical-measurement-through.html>.
10. Manual Goniometer Stage (Vacuum Compatible) [Електронний ресурс] // Standa Ltd – Режим доступу до ресурсу: http://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=622&prod=manual_goniometer_stage_vacuum_compatible.
11. High Precision Motorized Goniometric Cradles [Електронний ресурс] // BGS G Tip/Tilt – Режим доступу до ресурсу: <https://www.newport.com/f/high-precision-motorized-goniometers>.
12. ГОСТ 41.112 – 2005 (Правила ЕЭК ООН №112) Единообразные предписания, касающиеся автомобильных фар, испускающих асимметричный луч ближнего или дальнего света либо оба луча и оснащенных лампами накаливания
13. МИ 001:2014 Методика проведения фотометрических испытаний передних фар для транспортных средств, дающих луч ближнего и/или дальнего света, согласно ПРАВИЛ ЕЭК ООН №1 и 2-01, 112. Мелитополь, 2015

Д.В. Криворучко, д.т.н., М.М. Коротун к.т.н., М.А. Адамян, інженер Б.С. Басов
Сумської державної академії транспортних засобів і шосейних будівництва

РАЗРАБОТКА 4x – КООРДИНАТНОГО ГОНИОМЕТРА ДЛЯ ЮСТИРОВАНИЯ ОПТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Налаживание и юстирование средств освещения транспортных средств, таких как фары и фонари, повышение надежности и эффективности их эксплуатации выполняется с использованием гониометров. В работе авторами сделан анализ современных конструкций гониометров для юстирования световой оптики транспортных средств. На основе анализа установлено, что разработка таких устройств в разных источниках информации рассмотрена только в общем виде, на уровне технических характеристик, и нуждается в дополнительной разработке и исследованиях. Из обзора конструкций и классификации гониометров установлено, что оптимальной является конструкция с четырьмя координатами, из которых две координаты для угловых перемещений относительно горизонтальной и вертикальной оси, а две координаты линейных перемещений в горизонтальной плоскости. Разработаны принципиальная и функциональная схемы устройства, а также схема управления и представлена методика конструирования устройства на основе разработанных схем. Проведено исследование возможностей устройства и разработаны рекомендации по его внедрению в производство.

Ключевые слова: фара, фонарь, угол, автоматизация, точность, испытания

D. Krivoruchko, M. Korotun, M. Adamyan, B. Basov

Sumy State University

**DEVELOPMENT OF 4 - COORDINATE GONIOMETER FOR ADJUSTMENT OPTICS
VEHICLES**

Setup and adjustment of vehicle lights such as headlights and lanterns, increasing the reliability and efficiency of their operation are performed using a goniometer. In this paper, the authors analyzed goniometer modern designs for alignment of the vehicle lights and lanterns. The analysis found that the development of such devices discussed only in general terms on different information sources, on the level of performance, and requires further development and research. With construction and classification of goniometer the authors found that the four coordinate design of goniometer with two coordinates for angular rotations relative to the horizontal and vertical axis, and two coordinates linear movement in a horizontal plane is the best. The fundamental and functional scheme of the device as well as general control scheme are developed and design technique based on described schemes are represented. The device was tested and recommendation of its application to industry were given.

Keywords: *headlight, lantern, angle, automation, precision, testing*