

УДК 681.7.062.43:681.785.4

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ ФОТОМЕТРІВ

¹⁾Безуглий М. О., ¹⁾Синявський І. І., ¹⁾Безугла Н. В., ¹⁾Козловський А. Г.

¹⁾ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;

²⁾ Головна астрономічна обсерваторія НАН України, м. Київ, Україна

E-mail: m.bezuglyi@kpi.ua

У даній роботі на основі принципів траєкторного копіювання запропоновано вдосконалення методу виготовлення дзеркального еліпсоїда обертання на базі вертикально-розточувальної технології. Обґрунтовано вибір матеріалу рефлектора та запропоновано структурно-функціональну схему пристосування для формоутворення еліпсоїдальної внутрішньої поверхні та подальшої чистої обробки з метою отримання необхідного коефіцієнту дзеркального відбиття. Здійснено моделювання кінематики ексцентричного механізму роботи пристосування і розраховано параметри ексцентрика для точіння внутрішнього еліпсоїду з ексцентриситетом 0,76 та фокальним параметром 44,11 мм.

Ключові слова: еліпсоїд обертання, рефлектор, фотометрія, траєкторне копіювання.

Вступ

Для концентрації оптичного випромінювання та переносу зображення з однієї частини оптичної системи в іншу застосовуються різноманітні лінзові або дзеркальні системи та їх комбінації. Істотним недоліком використання лінзових систем є обмежена апертура та абераційна залежність для ширококутних систем, а також необхідність використання для ІЧ діапазону вартісних матеріалів. Дзеркальні системи переважно вільні від цих недоліків, але конструктивне виконання потребує використання не менше двох поверхонь, що в свою чергу збільшує загальні габарити, а також негативно впливає на енергетичні вихідні параметри.

З іншого боку постійно зростаючі вимоги до точності та достовірності роботи сучасних оптичних інформаційно-вимірювальних засобів зумовлюють широке застосування оптичних деталей з несферичним (асферичним) профілем поверхонь. Такі системи дозволяють досягти високої передавальної та абераційної якості при менших розмірах оптичної системи. Наприклад, завдяки використанню асферичних оптичних елементів стало можливим створення ширококутних зум-об'єктивів, що забезпечують формування зображення порівняної якості з об'єктивом з постійною фокусною відстанню. Також оптичні елементи з асферичними поверхнями широко застосовуються при створенні компактних та ергономічних довгофокусних об'єктивів.

До елементів з асферичною поверхнею належить дзеркальний еліпсоїд обертання (сфероїд) – фігура обертання в тривимірному просторі, сформована при обертанні еліпса навколо однієї з його головних осей. При цьому або внутрішня або зовнішня поверхня еліпсоїда є дзеркалом. Еліпсоїди обертання знайшли своє застосування в телеско-

пах Грегорі, в оптичних резонаторах а також в фотометрах для дослідження оптичних параметрів світлорозсіювальних середовищ [1]. Використання еліпсоїдів обертання спрощує складання та юстування оптичних систем завдяки суттєвому зменшенню кількості елементів, а відтак маси та габаритів приладів, що покращує їх експлуатаційні характеристики.

При використанні дзеркального сфероїда кількість діючих оптичних дзеркальних поверхонь зменшується до однієї. Такі оптичні елементи можуть бути використані при побудові приладів для контролю шорсткої поверхні [2] або вимірювальних систем біомедичного призначення [5], проте їх широке застосування обмежене складністю виготовлення. Існуючі технології по виготовленню еліпсоїдів не є універсальними, що вимагає використання великого верстатного парку та висококваліфікованих працівників.

В останні роки проводилось багато досліджень з метою отримання високопродуктивних технологій виготовлення асферичних поверхонь, у тому числі 3Д друк [4]. Оскільки отримання дзеркального еліпсоїда обертання (еліпсоїдального рефлектора) з використанням 3Д принтерів все одно потребує подальшої формоутворюючої обробки: нанесення дзеркального покриття (у випадку друку з полімерів) або полірування (у випадку друку з металів та металевих сплавів), то його економічна доцільність на даному етапі виглядає сумнівною. Тому найбільш ефективним, з огляду на необхідний конструктивний функціонал використовуваних еліпсоїдальних рефлекторів було б алмазне точіння [5]. Проте даний метод вимагає вартісного обладнання і, внаслідок особливостей своєї реалізації та кінематики обладнання, не може

бути використаний для отримання закритих поверхонь, якою є дзеркальний еліпсоїд обертання.

Метод реплікації [6] знайшов своє застосування в масовому виробництві. У даному випадку на сферичну поверхню наносять тонкий шар рідкої полімерної композиції. Еталон, що має зворотну асферичну поверхню, притискається до сферичної поверхні деталі. У результаті полімеризації композиція твердіє і точно копіює поверхню еталону. Після цього деталь з асферичним шаром відділяється від еталону. Необхідність виготовлення точних шаблонів та обладнання також робить цей метод недоцільним для виготовлення деталей в експериментальному та одиночному виробництві.

Відносно дешевим і доступним є формоутворення асферичних поверхонь методом траєкторного копіювання. Даний метод дозволяє оброблювати асферичні поверхні широкого класу з високою продуктивністю завдяки можливості забезпечення інтенсивних режимів обробки. Цей метод має високу точність формоутворення. Копіювальний пристрій забезпечує можливість отримання асферичних поверхонь довільного профілю. Відомі верстати [7], асферичним шаблоном, в яких є кулачок з профілем, що відповідає твірній поверхні, що виготовляється, або її еволюті. Суттєвим недоліком таких верстатів є необхідність виготовлення складних і точних шаблонів, що впливають на точність отримуваних поверхонь.

Застосування механізмів, у яких використовуються прості елементи, визначені точки однієї з ланок яких описують необхідні криві, дозволяє суттєво зменшити вплив точності виготовлення шаблонів на точність виготовлення асферичних поверхонь. Однак простий важільний копір дає помітну геометричну похибку через неоднаковий повздовжній хід кінців копіювального та виконавчого важелів та недостатню його жорсткість при виготовленні деталей достатньо великих розмірів.

Постановка задачі

Метою роботи є вдосконалення вертикально-розточувальної технології для виготовлення точних еліпсоїдальних рефлекторів з широким діапазоном по розмірам та мінімальною кількістю використовуваного обладнання.

Отримання еліпсоїдального профілю поверхні

У даній роботі запропоновано метод, що використовується для отримання еліпсоїдів на вертикально-розточувальних верстатах, що мають більш жорстку конструкцію та більшу точність переміщень обробляючого інструменту у порівнянні з токарними верстатами [8]. Застосування цього методу на практиці дасть змогу виготовити точну глибоку дзеркальну асферу (еліпсоїд), що не має параксіальної області. Еліпсоїдальним рефлекторам (рис. 1), що переважно застосовуються для переносу зображення в оптичних системах з

кільцевою апертурою або проєкційних фотометричних системах, властиво, що всі промені, котрі виходять з фокальної площини f_1 , потрапляють у фокальну площину f_2 у відповідності до особливостей поширення променів та методів подальшого фотометричного аналізу [9].

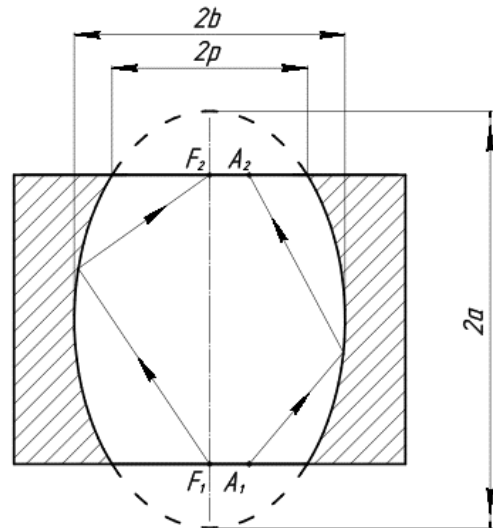


Рис. 1. Еліпсоїдальний рефлектор: $2a$ – велика вісь, $2b$ – мала вісь, $2p$ – фокальний параметр

Суто математично еліпсоїд обертання можна отримати з окружності, стискаючи її по одній координаті (осі), коли інша залишається без зміни (рис. 1). Тоді, виходячи з [10] оперують коефіцієнтом стиснення m . Такий спосіб отримання еліпсоїда було застосовано, зокрема, при розробці технології по його виготовленню шляхом траєкторного копіювання вихідної окружності [8]. Метод траєкторного копіювання дозволяє оброблювати асферичні поверхні широкого класу з високою продуктивністю завдяки можливості забезпечення інтенсивних режимів обробки в жорстких вісях, які неможливо отримати за допомогою вільного притуру. Ці методи мають високу точність формоутворення. До того ж, за допомогою траєкторного копіювання можна отримати деталі з суцільною внутрішньою поверхнею еліпсоїду обертання за один устанав, що суттєво спрощує конструкцію пристосування для базування заготовок і значно підвищує точність кінцевого виробу.

У даній роботі на основі принципів траєкторного копіювання було запропоновано метод виготовлення еліпсоїду обертання з необхідною формою твірної, що змінюється за заданим законом, шляхом узгодження переміщення по повздовжній осі з врізанням у матеріал заготовки з циліндричним наскрізним отвором.

За запропонованою схемою (рис. 2) поперечна подача забезпечується при переміщенні проєкції вершини обробляючого інструменту відносно горизонтальної осі при переміщенні штовхача.

З рис. 2 видно, що переміщення вершини об-

робляючого інструменту вздовж вертикалі складає:

$$X_i = \sqrt{R_\alpha^2 - Y_i^2}.$$

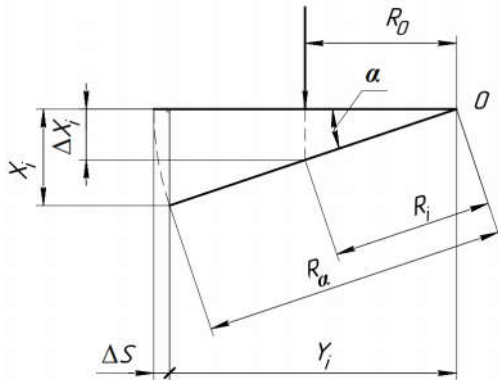


Рис. 2. Схема розрахунку поперечної подачі: O – вісь обертання; R_0 – зміщення штовхача відносно осі обертання; R_α – виліт вершини обробляючого інструменту відносно осі обертання; R_i – зміщення штовхача відносно осі обертання після переміщення; α – кут повороту інструменту; Y_i – поперечна проекція різальної крайки інструменту після переміщення штовхача; ΔX_i – переміщення штовхача; X_i – переміщення вершини обробляючого інструменту; ΔS – величина поперечної подачі

Беручи до уваги, що $Y_i = R_\alpha - \Delta S$ отримаємо:

$$X_i = \sqrt{2R_\alpha \cdot \Delta S - (\Delta S)^2}. \quad (1)$$

Переміщення штовхача можна виразити у вигляді:

$$\Delta X_i = R_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha = R_0 \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - (\sin \alpha)^2}}. \quad (2)$$

Враховуючи, що $\sin \alpha = X_i / R_\alpha$ (2) перепишемо у вигляді:

$$\Delta X_i = R_0 \frac{X_i}{R_\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{X_i}{R_\alpha}\right)^2}}. \quad (3)$$

Після підстановки (1) у вираз (3) отримаємо залежність для знаходження необхідного переміщення штовхача при заданій величині поперечної подачі:

$$\Delta X_i = R_0 \sqrt{\frac{2R_\alpha \cdot \Delta S - (\Delta S)^2}{(R_\alpha - \Delta S)^2}}. \quad (4)$$

Знаючи переміщення штовхача, можна отримати передавальну функцію приводу поперечної подачі, що обчислюється за значеннями параметрів конкретного верстату і деталі.

$$k = \frac{P}{h - 2X_i \left(\frac{R_\alpha}{R_0}\right)}, \quad (5)$$

де: k – передаточний коефіцієнт приводу поперечної подачі; P – крок ходового гвинта по вздовжній подачі, мм; h – висота еліпсоїдального рефлектора, мм.

Обґрунтування вибору матеріалу рефлектора

Для виготовлення рефлектора незалежно від спектрального діапазону його роботи можна використати матеріал-підкладку, що матиме форму та розміри робочої поверхні у вигляді еліпсоїда обертання, і нанести на неї відбиваюче покриття. Іншим варіантом є виготовлення еліпсоїду з матеріалу, який сам по собі має властивість до відбиття оптичного випромінювання.

У першому способі як матеріал-підкладка може бути використане оптичне скло або полімери. Цей метод має сенс застосовувати при необхідності виготовлення рефлекторів для роботи зі складним спектром випромінювання. Вибір конкретного покриття дозволить домогтися відбиття у широкому спектрі довжин хвиль, або ж, навпаки, відфільтрувати зайву область. З іншого боку, нанесення покриття на частково закриті поверхні є багатоетапним фізико-хімічним процесом і може потребувати складної, вартісної оснастки у вузькому діапазоні конфігурацій та розмірів.

При виготовленні рефлектора з матеріалу з власними властивостями до відбиття можна скоротити перелік необхідного обладнання і навіть здешевити собівартість кінцевого виробу. З огляду на завдання еліпсоїдальної фотометрії технічних та біологічних зразків, рефлектор повинен працювати в доволі широкому спектральному діапазоні, що включає видимий та ближній інфрачервоний, автори вважають доцільнішим застосувати саме цей спосіб виготовлення деталей.

При виборі матеріалу для виготовлення деталей з відбиваючими поверхнями необхідно враховувати численні чинники, зокрема: фізичні (оптичні), механічні, технологічні, вартісні тощо. Основною характеристикою для рефлекторів є коефіцієнт відбиття їх робочих поверхонь. Найбільш високі показники за цими параметрам мають (в порядку спадання): срібло, золото, алюміній, паладій, хром, марганець і т.д. [11].

Алюміній, окрім малої ваги, має найбільш рівномірний коефіцієнт відбиття на інтервалі довжин хвиль видимого та ближнього інфрачервоного спектрів. Порівняно великий коефіцієнт лінійного розширення накладає свої умови до застосування деталей, обмежуючи використання приладів середовищами зі сталою температурою. Алюміній та сплави на його основі є достатньо технологічними при обробці багатьма методами. Як показує досвід, найкраща чистота оптичних поверхонь деталей досягається при застосуванні дрібнодисперсних однорідних сплавів В95, АМГ6, Д16Т. Тому останній і був використаний у якості основного

конструкційного матеріалу для виготовлення еліпсоїдального рефлектора запропонованим методом.

Пристосування для точіння еліпсоїда за ексцентриком

На підставі розробленого методу та реалізованого алгоритму розрахунків запропоновано структурно-функціональну схему пристосування (рис. 3) для формоутворення еліпсоїдальної внутрішньої поверхні та подальшої чистової обробки з метою отримання необхідного коефіцієнту дзеркального відбиття.

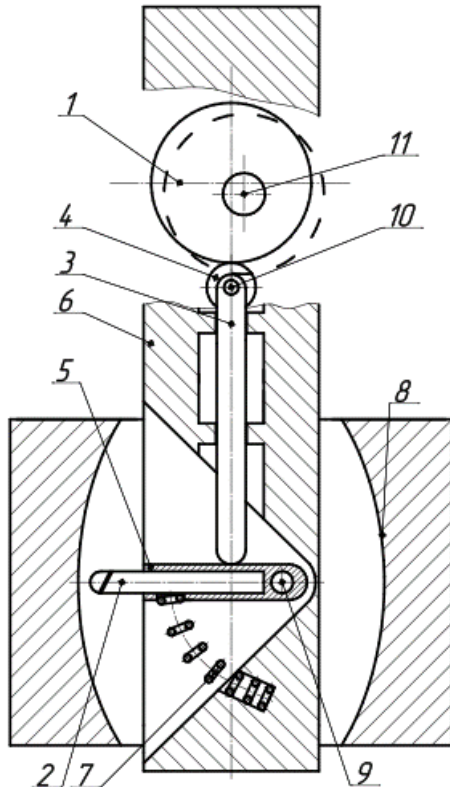


Рис. 3. Пристосування для обробки еліпсоїда обертання: 1 – ексцентрик; 2 – різець; 3 – штовхач; 4 – ролик; 5 – тримач різця; 6 – оправка вертикально-розточувального верстату; 7 – пружина; 8 – деталь; 9 – вісь тримача різця; 10 – вісь ролика, 11 – вісь ексцентрика

Під час обробки деталі 8 відбувається переміщення всього повздовжнього супорту з закріпленим на ньому пристосуванням. Круглий ексцентрик 1, що має ексцентриситет, розрахований відповідно до параметрів еліпсу, обертається зі швидкістю, узгодженою зі швидкістю повздовжньої подачі, переміщуючи при цьому штовхач 3. Штовхач ковзає вздовж отвору оправки 6 і давить на тримач інструменту 5, що обертається навколо осі 9 разом з різцем 2. Вершина інструменту, описуючи коло, виконує поперечне переміщення. Зворотній рух інструменту забезпечується пружиною 7. Даний метод дозволяє отримувати необхідне переміщення оброблюючої вершини інструменту вздовж твірної еліпсоїду. Пристосування може

бути використаним як для отримання самої поверхні при точінні з закріпленим в ньому різцем, так і використовуватися при шліфуванні і поліруванні робочої поверхні при закріпленні в ньому шліфувальних та полірувальних головок, наприклад, на каучуковій зв'язці [12]. Це дає змогу відмовитися від необхідності використання дорогого шліфувального та полірувального обладнання.

Ексцентриковий механізм

Розглянемо принципи реалізації ексцентрикового механізму (рис. 4), що складається з ексцентрика 1 та двох ланок: різця 2 та штовхача 3.

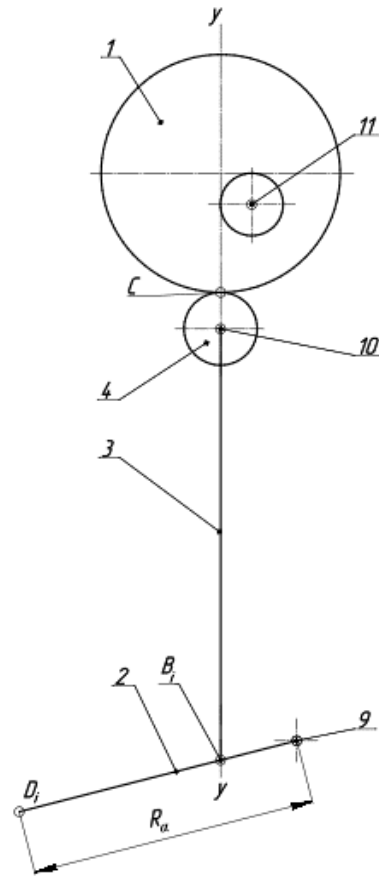
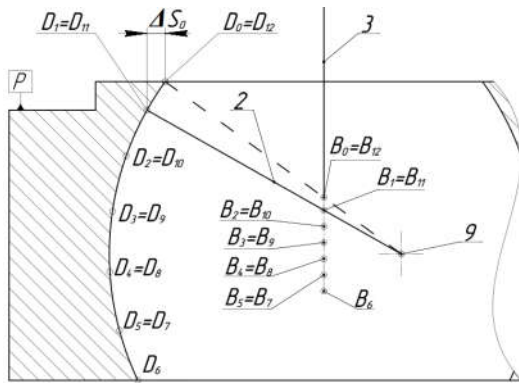


Рис. 4. Ексцентриковий механізм

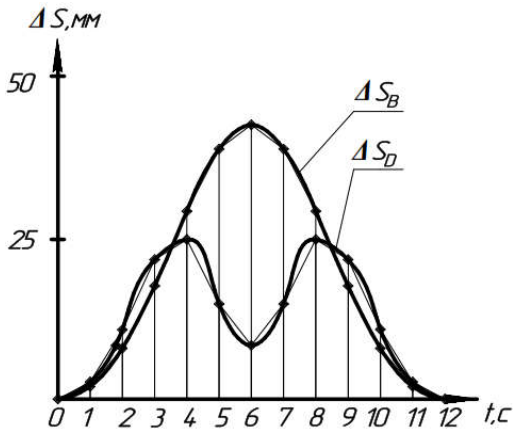
Ексцентрик 1 обертається навколо осі 11, штовхач 2 переміщується поступально відносно вертикальної направляючої «у-у», при цьому ролик 4 може вільно обертатися навколо незалежної осі 10, не впливаючи на характер руху всього механізму. Ролик є конструктивним елементом, що зменшує сили тертя і спрацювання ланок. Значимо, що кінематика ексцентрикового механізму не зміниться, якщо ролик видалити, і штовхач 2 безпосередньо з'єднати з ексцентриком 1 у кінематичну пару IV класу. Використовують цей механізм для перетворення обертального руху ланки 1 в поступальний рух ланки 2 для точіння внутрішньої форми еліпсоїда залежно від розміщення ексцентрика щодо ланок механізму. Ексцентрик 1 з'єднується із шпинделем верстату, тому швид-

кість t . C на ексцентрику є рівномірною. Штовхач взаємодіє з робочою поверхнею ексцентрика наконечником, який може бути гострим (точковим або лінійним), плоским, грибоподібним або роликівим, і здійснює поступальний або обертальний рух. Ексцентриковий механізм може бути плоским або просторовим, а замикання у вищій парі може бути силовим (пружина, вага штовхача тощо) або геометричним. Ексцентрик, що взаємодіє з плоским штовхачем, можна укласти в рамку, що дозволить здійснити геометричне замикання вищої кінематичної пари.

Залежно від зміщення осі штовхача відносно осі ексцентрика, збільшується радіус еліпсоїда. Побудуємо діаграму руху робочої ланки ексцентрикового механізму (рис. 5, а) для переміщення крайньої точки вильоту вершини обробляючого інструменту відносно осі обертання тримача різця 9 (рис. 3).



а)



б)

Рис. 5 Переміщення робочої ланки ексцентрикового механізму: елементи кінематичної схеми (а); діаграма переміщення різця ΔS_D та штовхача ΔS_B (б)

Для забезпечення надійного підводу та врізання обробляючого інструменту в поверхню деталі 8 і збереження необхідної точності виготовлення робочої частини еліпсоїдальної поверхні, початком руху вважатимемо точку $D_0=D_{12}$, котра знаходиться вище площини, що містить точку

другого фокусу F_2 . Координати зазначеної точки $D_0=D_{12}$ і точки $D_1=D_{11}$, що відстають одна відносно іншої на величину поперечної подачі ΔS_0 , базуються (P) по верхньому торцю еліпсоїдального рефлектора для забезпечення необхідної фокальної відстані при завершальному торцевому точінні.

Діаграму переміщення (рис. 5, б) побудовано в системі координат $(\Delta S, t)$, де ΔS можна визначити з (6) для положення поточних точок вершини різця D_i та наконечника штовхача B_i , t – час.

Представлена діаграма переміщення вершини різця та наконечника штовхача побудована при рівному масштабі для виготовлення еліпсоїда з ексцентриситетом 0,76 та фокальним параметром 44,11 мм при використанні ексцентрика з середнім радіусом 55,33 мм та зміщення осі обертання відносно геометричної осі 20,36 мм. На горизонтальній осі відкладено відрізок, що відповідає часу одного оберту ведучої ланки ексцентрикового механізму. Переміщення штовхача відбувається плавно, рівномірно і симетрично відносно найбільшого радіуса. З рис.5, б видно, що рух різця складається з двох частин: робочої, внаслідок якої відбувається безпосередньо процес точіння і зворотньо-обертальної, що повертає різець у вихідне положення.

Висновки

У роботі розглянуті особливості реалізації методу виготовлення еліпсоїдальної внутрішньої відбиваючої поверхні з використанням вертикально-розточувальної технології. У відповідності до проведених розрахунків залежність форми еліпсоїда обертання, перш за все, обумовлена формою та розмірами ексцентрика і розміщенням штовхача відносно осі обертання тримача різця розробленого пристосування. Вертикальне зміщення штовхача відносно різця регулює виліт вершини різця при точінні. Таким чином, знаючи характеристики ексцентрикового механізму, можна обрахувати і виточити еліпсоїд обертання необхідної конфігурації.

Запропонована технологія дозволить суттєво спростити виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів з широким діапазоном по розмірам та мінімальною кількістю використовуваного обладнання, а розроблене пристосування може застосовуватись також для чистової та фінішної обробки для отримання дзеркальної відбиваючої поверхні.

Література

1. Bezuglyi M. A. Ellipsoidal reflectors in biomedical diagnostic / M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya // Proc. SPIE 9032-15. – 2013, V2. – Pp.Q1– Q5.
2. Безуглий М. О. Метод фотометричного дзеркального еліпсоїда обертання для дослідження шорсткості поверхні / М. О. Безуглий, Д. В. Ботвиновський, В. В. Зубарев, Я. О. Коцур // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – №27. – С. 77 – 83.

3. Bezuglyi M. A. On the possibility of applying a mirror ellipsoid of revolution to determining optical properties of biological tissues / M. A. Bezuglyi, A. V. Yarych, D. V. Botvinovskii // *Optics and Spectroscopy*. – 2012, №1(113). – Pp.101 – 107.
4. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
5. Попов Л. В. Алмазное точение в производстве оптических деталей / Л. В. Попов, С. В. Любарский, В. Г. Соболев, С. Е. Шевцов. // *Оптико-механическая промышленность*. – 1990. – №11. – С. 12 – 17.
6. Попов Л. В. Асферизация оптических поверхностей методом репликации / Л. В. Попов, Э. И. Шепурев // *Оптико-механическая промышленность*. – 1990. – №11. – С. 24 – 26.
7. Каширин В. И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В. И. Каширин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 254 с.
8. Иванов Ю. С. Виготовлення глибокої асферики траєкторним копіюванням та її застосування / Ю. С. Иванов, О. О. Монсар, І. І. Синявський // *Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування*. – 2004. – Вип. 28. – С. 24 – 28.
9. Безуглый М. А. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / М. А. Безуглый, Н. В. Безуглая, А. Б. Самияк // *Приборы и методы измерений*. – 2016. – Т. 7, № 1.– С. 67 – 76.
10. Корн Г. А. Справочник по математике / Г. А. Корн, Т. М. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.
11. Соколов А. В. Оптические свойства металлов / А. В. Соколов. – М.: Физматлит, 1961. – 465 с.
12. Серебренник Ю. Б. Отделочная обработка деталей сложного профиля алмазным инструментом на каучуковой связке / Ю. Б. Серебренник, А. И. Лурье, В. Е. Косинский // *Сверхтвердые материалы*. – 1984. – №1. – С. 76 – 78.

¹⁾М. А. Безуглый, ²⁾И. И. Синявский, ¹⁾Н. В. Безуглая, ¹⁾А. Г. Козловский

¹⁾*Национальний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», г. Київ, Україна;*

²⁾*Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, г. Киев, Украина*

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ ФОТОМЕТРОВ

В данной работе на основе принципов траекторного копирования предложено усовершенствование метода изготовления зеркального эллипсоида вращения на базе вертикально-расточной технологии. Обоснован выбор материала рефлектора, а также предложена структурно-функциональная схема приспособления для формообразования эллипсоидальной внутренней поверхности и последующей чистовой обработки с целью получения необходимого коэффициента зеркального отражения. Осуществлено моделирование кинематики эксцентрикового механизма работы приспособления и рассчитаны параметры эксцентрика для точения внутреннего эллипсоида с эксцентриситетом 0,76 и фокальным параметром 44,11 мм.

Ключевые слова: эллипсоид вращения, рефлектор, фотометрия, траекторное копирование.

M. A. Bezuglyi, I. I. Sinyavski, N. V. Bezuglaya, A. G. Kozlovskiy

¹⁾*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine;*

²⁾*Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

MANUFACTURING SPECIAL FEATURES OF ELLIPSOIDAL REFLECTOR FOR PHOTOMETERS

The improvement of method of making a mirror ellipsoid of rotation based on vertical-boring technology, which use the principles of trajectory copying, was proposed in this paper. The choice of material for making reflector was provided. The structural-functional scheme of a device for forming inner surface of ellipsoid and further finishing processing to obtain the required value of the coefficient of specular reflection was proposed. The simulation of the eccentric kinematics mechanism of the device work was done. The parameters of eccentric for boring inner ellipsoid with eccentricity of 0.76 and focal parameter of 44.11 mm were calculated.

Keywords: ellipsoid of rotation, reflector, photometry, trajectory copying.

*Надійшла до редакції
12 вересня 2016 року*

*Рецензовано
26 вересня 2016 року*

© Безуглый М. О., Синявський І. І., Безугла Н. В., Козловський А. Г., 2016