

ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Осипов В.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

SPEED REDUCTION QUESTIONS: THE ORETICAL BASIS AND ENGINEERING DECISIONS QUESTIONS ON GROWTH OF SAFETTY OF MOVEMENT ACCORDING TO THE USE OF LIGHT-SCENARIOUS ELEMENTS

Osyrov V.O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

ВОПРОС ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ НОВЫХ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Осипов В.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

Вступ.

Станом на сьогодні в Україні в різних галузях господарства широко використовуються високі технології. Одним з таких напрямків є створення високоефективних мікропризмових світлоповертальних елементів. Вказані елементи знаходять все більше використання, зокрема, в галузі транспорту, дорожньому господарстві тощо.

Використання різних оптичних світлоповертальних пристроїв, до яких відносяться орієнтуючі дорожні знаки, стовпчики, роздільні смуги та інше інженерне обладнання автодоріг зі світлоповертальними елементами, дозволяє значно поліпшити умови керування автотранспортом та безпеку руху у нічний час, оскільки при цьому всі дорожні знаки з сучасними високоефективними світлоповертальними елементами стають добре помітними з досить великої відстані. Однак, використання сучасних світлоповертальних матеріалів у нашій країні поки не досить розповсюджено, це пов'язано з чималою вартістю матеріалів які в основному закупаються за кордоном. Власне ж виробництво світлоповертальних матеріалів в Україні відсутнє, хоча сьогодні на транспортному ринку країни активно працюють кілька вітчизняних компаній, які виробляють дорожні знаки з використанням оригінальних матеріалів компанії «ЗМ» та інших іноземних виробників, зокрема з Китаю та Польщі. Тому стає задача організації промислового виробництва власних світлоповертальних матеріалів і елементів. Для цього необхідно виконати комплекс наукових і прикладних досліджень зі створення сучасних світлоповертальних матеріалів, розробити технологію створення таких матеріалів, спроектувати і виготовити спеціальне устаткування і інструмент для випуску готової продукції.

Пропонується розробити оптимальну конструкцію кругового світлоповертача, модернізувати обладнання для виготовлення спеціального ріжучого інструменту та відпрацювати технологію формування з його використанням матриць-оригіналів світлоповертальних елементів, і технологію гальванічного вирощування прецизійних робочих матриць-штампів.

Аналіз останніх досліджень.

Окрім горизонтальної та вертикальної дорожньої розмітки – традиційних технічних засобів регулювання дорожнього руху, які мають вплив на безпеку руху при несприятливих погодних умовах та вночі, існують так звані «допоміжні інструменти» – вставки розмічальні дорожні (ВРД). Вставки розмічальні дорожні (ВРД) – вироби, які призначені для поліпшення зорового орієнтування водія на проїзній частині і можуть застосовуватися самостійно або разом із горизонтальною дорожньою розміткою, що буває частіше. Функціонування ВРД регламентується Державним стандартом України ДСТУ 4036-2001 «Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні вимоги».

Проте існуюча номенклатура ВРД на сьогодні не повністю задовольняє потребам оснащення автодоріг засобами підвищення безпеки руху. Невирішеним залишається питання обладнання вказаними засобами кільцевих пересічень автомобільних доріг та вулиць в одному рівні. Завдяки

особливим геометричним параметрам такого виду пересічень виникає потреба у використанні ВРД особливої форми – кільцевої, що у свою чергу повинно сприяти видимості всього об'єкту одночасно, та заздалегідь надати інформацію водію про форму перешкоди, що очікує його попереду. Завдяки тому, що зазвичай, дорожнє кільце влаштовується з використанням бордюрного каменю, слід розглянути можливість встановлення нового типу ВРД безпосередньо на бордюрі, що у свою чергу вирішить такі питання, як унеможливлення деформації останніх при випадковому наїзді на них великогазового транспорту та деформація ВРД при зимовому очищенні проїзної частини від снігу спеціалізованою технікою. Відомо, що збільшення за допомогою використання світлоповертальних елементів відстані, на якій для водія під час руху автомобіля стає помітною перешкода, з 25-40 м до відстані 300-400 м, знижує потенційний ризик наїзду автомобіля на неї в темний час доби в 7 разів.

Постановка завдання.

Метою роботи є розробка, виготовлення та впровадження конкурентно-спроможних сучасних високотехнологічних виробів – мікропризмових світлоповертальних елементів для оснащення автомагістралей, транспортних мереж та розв'язок з метою підвищення безпеки руху в темну пору доби. Для реалізації проекту необхідно розробити та впровадити технологічні процеси та прецизійне обладнання для виготовлення бордюрних кругових мікропризмових світлоповертальних елементів:

- розробити та впровадити технологічні процеси та прецизійне обладнання для виготовлення високоефективних полімерних мікропризмових світлоповертальних елементів круглої форми;
- розробити та впровадити технологічні процеси та обладнання для виготовлення корпусів світлоповертальних структур з конструкційних пластмас;
- розробити та впровадити технологічні процеси та обладнання для збирання елементів та герметизації світлоповертальних мікропризмових структур.

Результати досліджень.

При розробці сучасних світлоповертальних елементів основною проблемою є підвищення ефективності світлоповертання. Найбільш досконалими з наявних сьогодні світлоповертаючих матеріалів є структури, в яких світловідбиваюча поверхня складається з системи кутових відбивачів – мікропризм, сформованих тим чи іншим способом на утворюючій поверхні. Світлова ефективність такого світлоповертального елемента з мікропризмами безпосередньо пов'язана з явищем «повного внутрішнього відбиття світла» [1], добре відомого фізикам. Процес світлоповертання відбувається за рахунок триразового відбиття пучка світла від трьох взаємно-перпендикулярних граней цих кутових відбивачів. На сьогодні звичайними на ринку мікропризмових катафотів є елементи з коефіцієнтом світлоповертання для деяких відстаней до $R(\varphi_0)=800-900$ кд/(лк.м²), тому також звичайними є надвисокі вимоги до обладнання та інструменту для виготовлення матриць-оригіналів таких пристроїв. Для отримання таких максимально можливих коефіцієнтів світлоповертання $R(\varphi_0)$ допуски на кути між відбиваючими гранями мікрокубів не повинні перевищувати декількох кутових секунд, а шорсткість світловідбивних граней не повинна бути гіршою ніж 0,05 мкм.

Вказані параметри, перш за все, забезпечуються високою якістю ріжучого алмазного інструменту, за допомогою якого виготовляються матриці-оригінали світлоповертальних елементів. Грані застосованого для нарізування мікрорельєфу алмазного різця повинні відповідати 14 класу чистоти поверхні, тобто на них відсутні відколи, глибші за 25-50 нм на базовій довжині $L_B=0,08$ мм. Розраховані оптимальним чином та ретельно виготовлені елементи здатні відбивати падаючий промінь світла на відстань до декількох сотень метрів. Наприклад, діючи сьогодні в США технічні стандарти на світлові характеристики елементів нормують величину коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)=700$ кд/(лк.м²) для відстані спостереження $L_H=800$ м. Саме такі за своїми параметрами елементи і передбачалося розробити та виготовити в процесі виконання зазначеної роботи.

Для реалізації задач даної роботи найбільш придатними виявляються так звані «симетричні» мікропризмові світлоповертальні елементи, для яких кутлова діаграма світлоповертання є симетричною відносно нормалі до утворюючої поверхні. Для традиційних симетричних світлоповертальних елементів, групи мікрокубів розташовані на плоскій утворюючій поверхні у формі тетраедрів з кутами в основі (60°- 60°- 60°). Кут нахилу кожної з трьох бічних граней кожного мікротетраедра до його осі становить $\theta_0=35^\circ 15' 52''$. Ефективна поверхня $S_e(\varphi_0)$ симетричного світлоповертального елемента, тобто відношення світлоповертальної поверхні до повної поверхні такого світлоповертача, для кута падіння променя $\varphi_0=0$ становить 67%. Діаграма світлоповертання симетрична щодо нульового кута освітлення $\varphi_0=0$, тобто перпендикулярна до утворюючої поверхні.

Відповідно до ДСТУ 4036-2001 коефіцієнт світлоповертання мікропризмових світлоповертальних елементів білого кольору повинен становити не менш 250 кд/(лк.м²), при цьому кут спостереження повинен становити $\varphi_C=0,2^\circ$, а кут освітлення $\varphi_0=4,0^\circ$.

На величину цього коефіцієнта впливає, перш за все, якість поверхонь мікрокубів на утворюючій поверхні елемента. Тому при виготовленні матриць-оригіналів світлоповертальних елементів методом алмазного різання [2] висуваються надзвичайно високі вимоги до алмазного ріжучого інструменту, який використовується для виготовлення матриць-оригіналів, та до системи позиціонування різця на станції формування мікрорельєфу, яка керує рухом алмазного різця під час нарізування мікрорельєфу. Однак важливим фактором є також дифракція світла на регулярній структурі, якою і є мікрорельєфна поверхня світлоповертача. Вперше роль дифракції світла на періодичній мікрокубічній відбивальній структурі в формуванні енергетичної діаграми світлоповертання, була розглянута в роботі [3].

При зменшенні характерного масштабу рельєфу через зростання ефекту дифракції спостерігається тенденція до кутового розширення відбитого пучка світла. При створенні світлоповертачів для великих відстаней спостереження цей ефект є небажаним, але для малих відстаней він є корисним і його обов'язково необхідно використовувати. Схема дифракції на мікрорельєфі показана на рис. 1, а рис. 2 ілюструє типову дифракційну картину, що виникає для відбитого світла. На рис. 1, що наведений в роботі [3], зображена металізована частина поверхні 24 з адгезивним шаром 20 і ізолювана повітряним зазором частина мікрорельєфної поверхні 12. Падаючий на утворюючу поверхню 10 під кутом φ_0 пучок світла 26 частково відбивається від металевого шару 24 і після трьох відбиттів від трьох поверхонь і повороту на кут 180° виходить з поверхні 10 паралельно напрямку падаючого променя 26. Внаслідок ефекту дифракції формується шість круглих зон діаграми світлоповертання симетричного відбивача, які аналогічні показаним на рис. 2-а.

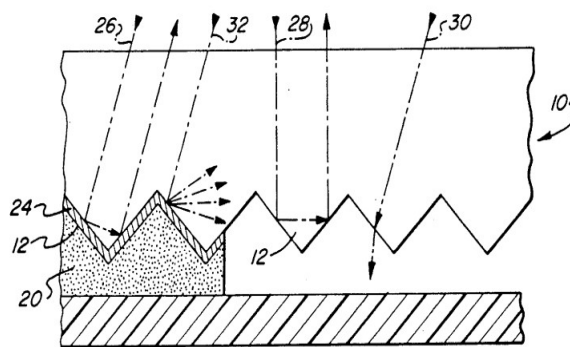


Рисунок 1 – Схема дифракції [3] на мікрорельєфі
Figure 1 – Scheme of diffraction [3] on microrelief

Таким чином, частина променів 28 зазнають повне внутрішнє віддзеркалення від трьох поверхонь границі розділу середовищ світлоповертач-повітря і виходить в зворотному напрямку.

Частина пучка 30 не відбивається, а проходить всередину матеріалу елемента, а промені 32, що падають на мікрорельєф під кутом, більшим певного критичного значення, зазнають всього два відбиття від взаємно-перпендикулярних поверхонь, не потрапляючи на третю грань, і виходять з елемента без «світлоповертального» відбиття [4], знижуючи тим самим ефективну світловідбивальну поверхню $S_e(\varphi_0)$. Величина зони першого дифракційного максимуму визначається відомою формулою [1]:

$$D=1.2 (\lambda / d), \quad (1)$$

де значення λ – довжина хвилі світла, а величина d – діаметр апертури джерела світла, який в даному випадку можна ототожнити з характерним розміром мікрорельєфу W .

Таким чином, змінюючи величину W , можна змінити просторову діаграму світлоповертання. Ефект дифракції для поверхні з мікрорельєфом кроком $W=152$ мкм ілюструє рис. 2-б. Центр структури позначений цифрою 32, а коло з цифрою 34 відповідає світловому конусу з тілесним кутом $\Omega=0,5^\circ$. Основна енергія відбитого променя сконцентрована в центральній частині 36, яка відповідає нульовому порядку дифракції, та в шести рівновіддалених зонах 38 першого порядку дифракції. Між ними знаходяться зони з меншою інтенсивністю відбитого пучка світла. На думку автора [3] такий розподіл не є оптимальним через велику просторову неоднорідності відбитого променя.

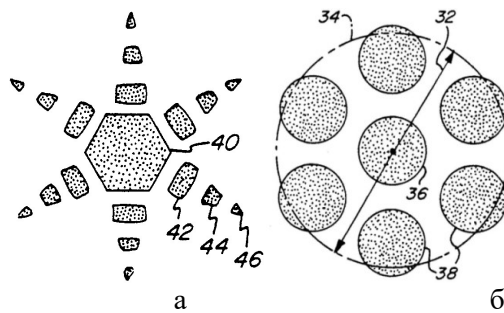


Рисунок 2 – Дифракційна картина [3] для відбитого від мікрорельєфу пучка світла:

а – крок рельєфу $W=152$ мкм, б – $W=356$ мкм

Figure 2 – Diffraction pattern [3] for the reflected light beam from the microrelief:

а – relief step $W=152$ μm , б – $W=356$ μm

Однак для спостерігача, наприклад, водія транспортного засобу, це не дуже істотно. Головним є те, що в конусі спостереження величиною $0,5^\circ$ буде чітко спостерігатися освітлена світловідбивальна поверхня. Крім того, механічні дефекти на реально сформованих гранях відбивача призведуть до розмиття по всіх кутах спостереження розрахункових енергетичних діаграм, що наведені на рис. 2. Для розширення наведеної кутової діаграми світлоповертання автор [3] пропонує також використовувати нахил осей пов'язаних мікрокубів. В цьому випадку можна розширити діаграму уздовж однієї з осей.

Основою для будь-якої мікропризмової світловідбивальної системи є кубічний відбивач, який складається з трьох плоских дзеркал з прямим кутом у вершині, що перетинаються в загальній точці. Загальне поняття такого утворюючого одиничного мікрокубу, як основи формування ретрорефлектора, існувало дуже давно. Однак технічні рішення для реалізації такої теоретичної пропозиції виникли лише в 30-х роках минулого століття. Основна проблема – точність виготовлення мікрокубів. Зрозуміло, що навіть невеликі кутові відхилення в положенні однієї з цих трьох дзеркальних поверхонь призводять до істотного відхилення відбитого світла від напрямку падаючого світлового потоку. Як результат, інтенсивність відбиття потоку світла від поверхні мікрокубу помітно зменшується.

Перші моделі світлоповертачів створювалися на принципі мультиплікування традиційного одиничного кутового відбивача, який як відомо, має форму правильного тетраедра з кутом при вершині $\theta_B=90^\circ$. Тому для винахідників було логічним моделювати форму тетраедра одиничним твердотільним інденктором такої ж форми, розміри якого повинні бути не дуже великими – 2,0-3,0 мм, і потім багато разів в той чи інший спосіб реплікувати його форму на плоскій утворюючій поверхні, створюючи групи тригранних кутових відбивачів.

Вперше практично здійснений процес точного створення мікропризмової поверхні з використанням штирьових інденторів було запропоновано ще в роботі [5]. Далі ця технологія постійно вдосконалювалася с метою отримання необхідних ретрорефлекторних характеристик для кінцевих продуктів. Основні зусилля були зроблені для підвищення ефективності ретрорефлекторів шляхом оптимізації оптичних характеристик і якості робочих поверхонь, створення рефлекторів з розширеною діаграмою зворотного відбитку шляхом нахилу осі штирьових інденторів для формування рельєфної поверхні або зміни кутів між дзеркальними гранями мікрокубів.

Технологія формування рельєфу мікрокубів через систему твердотільних інденторів, була практично завершена в роботі [6]. Автор розглянув численні варіанти конструкцій інденторів з одиничним мікрокубом на торці, вісь якого може бути нахилена до осі індентора на певний кут для отримання світлоповертачів з необхідними властивостями. Були також запропоновані способи отримання матриць-штампів з інденторів шляхом з'єднання множини ідентичних одиничних інденторів для отримання матриць необхідних розмірів. Розглянуто також системи репліциювання мікрорельєфу на плоских поверхнях за допомогою таких матриць.

Прикладом сучасної інденторної технології є конструкція, яка відносно недавно запатентована компанією «Avery Dennison Corporation» (США) [7]. Запропоновано метод формування мікрорельєфу на плоскій утворювальній поверхні за допомогою системи пластинчастих інденторів, необхідна форма яких може створюватися методом алмазного різання [2]. Пластини з необхідним рельєфом потім складаються з відповідним зміщенням для формування груп кутових відбивачів.

Індентори у вигляді готової мікрорельєфної структури відносно невеликої площі, виготовлені методом алмазного різання [2], в подальшому можливо використовувати для формування мікрорельєфу на поверхні набагато більшої площі [8]. Будемо називати останній процес мультиплікуванням, на відміну від розглянутого вище методу реплікації одиночним індентором або відносно невеликою матрицею інденторів.

У методі мультиплікування виготовлений фрагмент майбутньої світлоповертальної структури, наприклад у вигляді правильного шестикутника зі стороною L , в подальшому використовується для формування серій реплік мікрорельєфу на поверхні пластика з мінімальним зазором ΔL між окремими фрагментами. Раніше метод реплікації рельєфу був дуже популярним, оскільки інші технології формування складного мікрорельєфу практично не були доступні. Відзначимо, що у деяких випадках сформувати розроблену теоретично оптимальну мікрорельєфну структуру просто неможливо без застосування інденторної технології.

Альтернативною технологією є метод прямої механічної обробки плоскої утворюючої поверхні за допомогою твердотільних різців. Метод сьогодні широко застосовується для прямого формування на плоских жорстких поверхнях мікрорельєфних структур та створення матриць-оригіналів світлоповертачів. За різних причин технологія із застосуванням індентора або системи інденторів не дозволяє виготовляти високоякісні світлоповертачі. Тому сьогодні в Інституті проблем реєстрації інформації Національної академії наук України (ІПРІ НАН) прийнята технологія [9] формування мікрокубічної структури на плоскій однорівневій утворюючій поверхні саме методом механічного різання [2] з використанням алмазного ріжучого інструменту. Приклад мікрорельєфу [4] світлоповертача ІПРІ НАН України, який сформований методом алмазного різання, наведений на рис. 3, який ілюструє гальванічну матрицю симетричного елемента з кроком мікрорельєфу $W=150$ мкм.

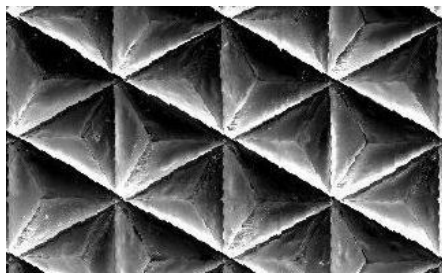


Рисунок 3 – Приклад мікрорельєфу [4] симетричного світлоповертального елемента ІПРІ НАН України

Figure 3 – An example of a micro relief [4] of a symmetric retroreflective element of IPRI NAS of Ukraine

Відзначимо, що дифракційні явища можуть бути істотними для формування структури променя світла, тому що через це відбувається розширення відбитого променя. Тому для світлоповертачів, призначених для великих відстаней $L_H=1000-2000$ м, типові кроки рельєфу W повинні бути не менше 1000-1500 мкм. У той же час для отримання максимально широкої діаграми світлоповертання променів, що важливо для невеликих відстаней спостереження $L_H=100-200$ м, крок мікрорельєфу світлоповертачів не повинен бути більшим за $W=50-150$ мкм.

Таким чином, технологія прямого механічного нарізування мікрорельєфу на утворюючій поверхні за допомогою твердотільних різців дозволяє отримати світлоповертачі більш високої оптичної якості, ніж методика реплікації мікрокубічної структури за допомогою штирьових інденторів або системи інденторів. При конструюванні світлоповертачів різного призначення, зокрема, для різних відстаней спостереження, необхідно враховувати роль дифракції у формуванні кутової енергетичної діаграми відбитого світла. Розроблений круговий світлоповертальний елемент (рис. 4) являє собою збірну конструкцію, яка складається з корпусу елемента (поз. 1), восьми світлоповертальних мікропризмових елементів (поз. 2), які за допомогою ультразвукового зварювання надійно і герметично з'єднані з корпусом.

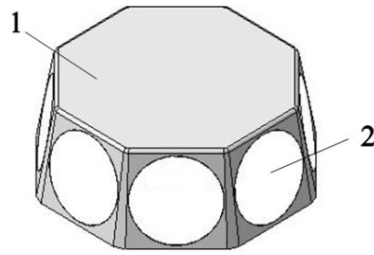


Рисунок 4 – Світлоповертальний елемент: 1 – корпус; 2 – мікропризмний елемент
 Figure 4 – Reflective element: 1 – housing; 2 – prism element

Корпус кругового світлоповертального елемента (рис. 5), являє собою зрізану восьмигранну піраміду висотою 26 мм з кутом нахилу граней 10° , основа якої вписана в коло діаметром 81,4 мм.

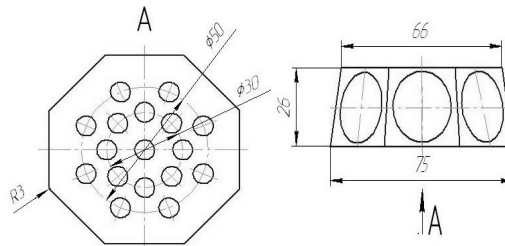


Рисунок 5 – Корпус елемента
 Figure 5 – The housing of the element

В основі піраміди (вид А) закладено ряд глухих отворів для забезпечення надійного закріплення кругового світлоповертального елемента на поверхні бордюру методом склеювання. На кожній із восьми граней виготовлено заглиблення діаметром 24 мм для встановлення світлоповертальних мікропризмних елементів. Для того, щоб між вершинами мікропризм світлоповертального мікропризмного елемента і поверхнею корпусу світлоповертального елемента був повітряний прошарок, заглиблення виконано ступінчастим. Корпус світлоповертача виготовлено з полікарбонату; вибір саме цього конструкційного матеріалу обумовлений необхідністю забезпечення високої механічної міцності світлоповертача. Корпус виготовлений методом інжекційного лиття під тиском, але може бути використаний любий інший спосіб, наприклад, механічна обробка відповідних заготовок. Світлоповертальні вставки виготовлені з листового полікарбонату товщиною 2.0 мм. Мікрорельєфна світлоповертальна структура на їх поверхні створена методом термопресування. Вставка розміщується в спеціальному кільцевому заглибленні глибиною 2 мм, який сформовано на кожній з восьми плоских утворюючих поверхонь. Зворотна сторона елемента має серію спеціальних отворів діаметром 8 мм та глибиною 5-15 мм для розміщення клею для поліпшення зчеплення корпусу елемента з полотном дороги.

Для зварювання кругових елементів використовується ультразвукова зварювальна установка (УЗЗУ), реалізована на базі установки BRANSON 901aes, яка модифікована для використання п'єзоелектричного перетворювача ультразвукових коливань в резонансній системі. Для регулювання енергії УЗЗУ доповнена спеціальним пристроєм, дозуючим енергію впливу ультразвуку. Оскільки поперечні розміри корпусу світлоповертального елемента порівняні з довжиною хвилі ультразвуку в полікарбонаті, він фактично так само повинен розглядатися як частина резонансної системи УЗЗУ. Однак через більше поглинання ультразвуку в полікарбонаті в порівнянні з металевим сонотродом і відносно невелику частку енергії ультразвукової хвилі, що проникає всередину корпусу (приблизно рівну відношенню площі поперечного перерізу кільцевого наконечника сонотрода до його площі поперечного перерізу), внесок коливань корпусу в формування стоячої хвилі незначний. В результаті при розрахунках і налаштуванні резонансу УЗЗУ наближено можна враховувати тільки активну частину резонансної системи з генератора, перетворювача, бустера і сонотрода, вважаючи наконечник сонотрода вільним. В розрахунок елементів резонансної системи УЗЗУ покладено наближення коливань стрижнів. Звукові хвилі як відомо є поздовжніми, тому для розрахунку розглядаються тільки поздовжні пружні коливання стрижнів. Амплітуда коливань визначається з рівняння Гельмгольца для зсувів уздовж осі стрижня:

$$u'' + (\ln S)' u' + (\omega/c)^2 u = 0, \quad (2)$$

де S – змінна по довжині площа поперечного перерізу стержня, $\omega = 2\pi f$ - кругова частота коливань, c - швидкість звуку.

Розв'язок рівняння (2) має вигляд:

$$u = \frac{1}{\sqrt{S}} F, \quad (3)$$

де F визначається з приведенного до канонічного виду рівняння:

$$F'' + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \left[2(\ln S)'' + (\ln S)'^2 \right] \right\} F = 0, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі ультразвуку в матеріалі стержня. Відповідно з осциляційною теоремою рівняння описує коливання стержня, якщо вираз в фігурних дужках строго позитивний на всій довжині стержня, тобто за умови:

$$\lambda \frac{\sqrt{2S''S - S'^2}}{2S} = \lambda \sqrt{\frac{R''}{R}} \leq 2\pi. \quad (5)$$

Для циліндричних і конусоподібних сонотродів, утворюючі яких є прямолінійними, ця умова дотримується автоматично.

У разі складаних стержнів постійного перетину амплітуда коливань змінюється обернено пропорційно до зміни діаметрів. Коливання мають резонанс якщо сумарна довжина стержнів кратна половині довжини хвилі ультразвуку для одного матеріалу або якщо сума виду:

$$2 \sum_i^n \frac{l_i}{\lambda_i} = N \quad (6)$$

дорівнює цілому числу в разі різних матеріалів складових частин стержня. Умова (6) дозволяє розрахувати довжини всіх елементів активної частини резонансної системи УЗЗУ.

З огляду на те, що в основу розрахунків покладено наближену модель, а також з огляду на розкид значень модулів пружності матеріалів різних виробників, які залежать від наявності різних домішок, ступенів гарту або відпалу, використовується методика налаштування активних елементів резонансної системи УЗЗУ, яка ґрунтується на реєстрації амплітудно-частотних характеристик. При проектуванні системи всі довжини елементів УЗЗУ збільшують приблизно на 5%. З огляду максимальної простоти виготовлення і достатньої ефективності прийнята проста ступінчаста циліндрична форма сонотрода. Як матеріал використаний алюмінієвий сплав, для якого швидкість звуку в тонких стержнях згідно довідковими даними лежить в діапазоні:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 5100 \dots 5200 \text{ м/с}. \quad (7)$$

Відповідно довжина хвилі поздовжніх коливань в сонотроді буде:

$$\lambda = 255 \dots 260 \text{ мм}. \quad (8)$$

Відповідно до прийнятої методики вибираємо довжину сонотроду:

$$L = 129 + 7 = 136 \text{ мм}. \quad (9)$$

Після налагодження коригування довжини сонотроду на лабораторному устаткуванні при остаточній частоті резонансу зварювання $f = 19,9$ Гц довжина сонотрода склала $L = 132$ мм.

Іншим важливим чинником при застосуванні ультразвукового зварювання оптичних елементів є проблема дозування енергії впливу ультразвуку. Оптичні пластмасові матеріали (поліметилметакрилат, полікарбонат і полістирол) є досить жорсткими матеріалами і добре проводять ультразвук. Це призводить до того, що енергія пружних коливань, порушуваних порожнистим сонотродом в області зварного шва, перерозподіляється по всьому об'єму світлоповертального елемента за рахунок збудження лембовських хвиль, що поширюються в площині, перпендикулярній до осі сонотрода. В результаті інтерференційний максимум амплітуди коливань при наявності осьової симетрії припадає на центральну область світлоповертального елемента. Проведені розрахунки на основі наближеного рішення хвильових рівнянь для поздовжніх і поперечних коливань:

$$\nabla^2 \theta = c_l^{-2} \ddot{\theta}; \quad \nabla^2 \Omega - r^{-2} \Omega = c_l^{-2} \ddot{\Omega}, \quad (10)$$

на які розпадається вихідне векторне хвильове рівняння при наявності осьової симетрії, показують, що величина центрального максимуму амплітуди коливань може в 4-5 разів перевищувати амплітуду коливань в області зварного шву. Небажаними наслідками такого перерозподілу енергії коливань виявляються порушення мікроструктури (і навіть можливі руйнування) переважно в центральній області світлоповертального елемента. З метою можливості коригування розподілу поглинання енергії коливань за допомогою створення локальної концентрації внутрішніх напружень в області контакту світлоповертального елемента з корпусом пропонується сформувати виступаючий загострений кільцеподібний елемент, що підсилює поглинання пружних хвиль в цій області. Порівняння результатів зварювання світлоповертаючих елементів на плоскій площадці і на площадці з виступаючим кільцеподібним елементом показало ефективність його використання, так як в останньому варіанті забезпечувалася надійність і герметичність з'єднання. При проведенні пробного зварювання і визначенні параметрів робочих режимів проводився контроль сигналів на вході і виході дозатора за допомогою цифрового двоканального осцилографа Hantek DSO0100627. Порівняння тривалості імпульсів зварювання, виміряних за осцилограмами, з показаннями цифрового реєстратора не виявило відхилень тривалості більш ніж на 1%.

Для реєстрації світла, відбитого від поверхні світлоповертача використовується спеціальний стенд *CPC-1*. Стенд дозволяє реєструвати дифракційну картину, що виникає при освітленні світлоповертача лазером. Аналіз цієї картини дозволяє зробити висновки щодо якості світлоповертальної поверхні. Принцип дії стенду для реєстрації розподілу відбитого від мікрорельєфу лазерного випромінювання *CPC-1* базується на реєстрації дифракційної картини відбитого від світлоповертального елемента вузького променя світла від «зеленого» лазера з довжиною хвилі $\lambda=0,532$ мкм. Форма і розміри отриманої дифракційної картини порівнюються з розрахованими характеристиками для даного світлоповертального елемента, а також порівнюються з розмірами і формою дифракційної картини для еталонного світлоповертального елемента. Отримані таким чином дані дозволяють оцінити якість створеного світлоповертального елемента. Розраховані для цього ж симетричного світлоповертального елемента дифракційні характеристики для одного з трьох напрямів мікрорельєфу з кроком $W=150$ мкм для відстані до екрану $L=2$ м наведено на рис. 6.

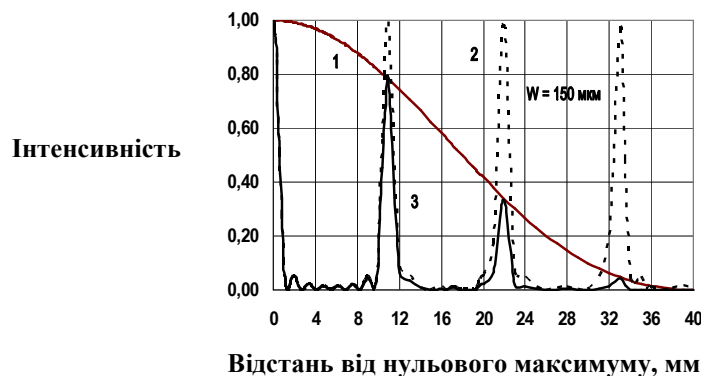


Рисунок 6 – Дифракційні ефекти для симетричного світлоповертального елемента для відстані спостереження $L=2,0$ м: крок нарізки $W=150$ мкм, число щілин $N=4$: 1 – дифракційна картина від однієї щілини; 2 – інтерференція для N щілин; 3 – інтегральна картина
 Figure 6 – Diffraction effects for symmetric retroreflective element for observation distance $L=2,0$ m: cutting step $W=150$ μm , number of slits $N=4$: 1 – diffraction pattern from one slit; 2 – interference for N cracks; 3 – integral picture

Ці дані свідчать, що при падінні на рельєф пучка світла з нульовим кутовим розходженням, на екрані буде спостерігатися картина з 6 інтерференційних смуг, при цьому протяжність кожної смуги складає близько 40 мм в обидві сторони від центру для екрану, який розміщений на відстані $L=2,0$ м від елемента, тобто кутова розбіжність відносно центру картини складає 58,4 кутових хвилин. Для неідеального мікрорельєфу, для якого спостерігається відхилення кута кутових відбивачів від 90° , буде спостерігатися додаткове розмиття інтерференційної картини в напрямку від центра, що необхідно враховувати при аналізі якості поверхонь.

Легко помітити, що структура відбитого променя лазера значно більша за розрахункову, картина не виявляє помітної дифракційної структури. Це свідчить про наявність дефектів оптичних поверхонь цього світлоповертача, які ведуть до додаткового ізотропного розсіювання відбитого світла. Таким чином, порівняння експериментально отриманого розподілу інтенсивності лазерного променя після його відбиття від світлоповертальної поверхні з розрахунковими даними стосовно зон розміщення інтерференційних максимумів та їх кількості дає можливість оцінити якість оптичних поверхонь з мікрорельєфом.

Згідно з технічним завданням виготовлено 500 дослідних зразків, які передано організації-партнеру – комунальній корпорації «Київавтодор» для монтажу і дослідної експлуатації. У жовтні 2017 р було здійснено монтаж дослідних зразків на вулицях м. Києва; нагляд за зразками триває (рис.7). У 2019 році колективом авторів отримано патент на промисловий зразок № 38690 «Мікропризмовий бордюрний світлоповертач».

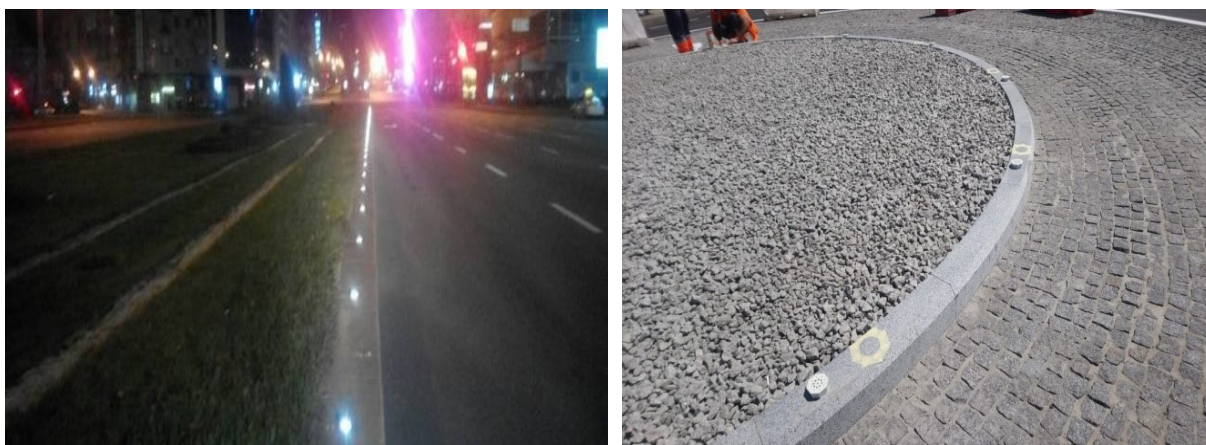


Рисунок 7 – Експериментальне провадження світлоповертальних елементів
Figure 7 – Experimental production of retroreflective elements

Висновки.

Розроблено схему технологічного маршруту для виготовлення кругових бордюрних світлоповертачів, яка включає ряд послідовних і паралельних технологічних операцій з виробництва окремих елементів світлоповертачів. Розроблено конструкцію кругового бордюрного катафоту з вісьмома світлоповертальними елементами, яка являє собою зрізану восьмигранну піраміду висотою 26 мм, основа якої вписана в коло діаметром 81,4 мм. В кожну грань піраміди вмонтовано вискоєфективний мікропризмовий світлоповертальний елемент, що забезпечує надійну візуалізацію крутих закруглень дороги та перешкод в темну пору доби. Конструкція корпусу світлоповертального елемента забезпечує його надійний монтаж на методом клейового з'єднання.

Створено і впроваджено на дослідно-експериментальній дільниці ІПРІ НАН України технологічний комплекс з виготовлення кругових світлоповертальних елементів, який забезпечує виготовлення корпусів елементів зі стабільними геометричними параметрами, методом лиття під тиском на прецизійних термопластавтоматах; виготовлено мікропризмові світлоповертальні елементи з коефіцієнтом світлоповертання $650-700$ $кд/(лк\cdot м^2)$, що перевищує вимоги ДСТУ 4036-2001; виготовлено кругові елементи методом ультразвукового зварювання, що забезпечує надійне і герметичне закріплення світлоповертального елемента в корпусі.

Для виготовлення корпусів мікропризмових світлоповертачів створено відповідну прес-форму для використання її в машинах лиття під тиском. Проведено автономні випробування виготовлених елементів. Результати автономних випробувань дають підстави стверджувати, що кругові

світлоповертальні елементи зберігатимуть працездатність (ефект світлоповертання) після впливу атмосферних опадів, підвищених до +60°C і понижених до -20°C температур.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Борн М. Основы оптики / М.Борн, Э.Вольф. // М.: Наука, 1973. – 720с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф.Бобров // – М.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
3. US Patent 5,171,624, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Microprismatic Material and Method of Making Same / H.Walter: заявл. 01.06.1990; опубл. 15.12.1992.
4. Антонов Е.Е. Оптические характеристики световозвращающих элементов / Е.Е.Антонов, С.М.Шанойло, А.В.Шиховец, Минг Чжан, Кай Лю // Реєстрація, зберігання і обробка даних. -2008. – Т.10, № 2. – С.13-22.
5. US Patent 1,591,572, МКИ G02B 5/124. Process and Apparatus for Making Central Triple Reflectors / J.C.Stimson; заявл. 05.02.1925; опубл. 06.07.1926.
6. US Patent 3,926,402, МКИ G02B 5/124. Pin Having Nonaligned Cube Axis and Pin Axis and Bundle of Such Pins / S.A.Heenan: заявл. 18.02.1975; опубл. 16.12.1975.
7. US Patent 6,015,214, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Articles Having Microcubes, and Tools and Methods for Forming Microcubes / S.A.Heenan, A.J.Montalbano, L.A.Coman, D.I.Couzin; заявл. 30.05.1996; опубл. 18.01.2000.
8. Антонов Є.Є. Оптичні властивості серії гальванічних матриць мікрорельєфних світлоповертальних структур / Є.Є.Антонов, А.В.Панкратова, О.В.Шиховець // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2013. – Т.15, № 4. – С.41-50.
9. Петров В.В. Світлоповертання: проблеми та досягнення / В.В.Петров, С.М.Шанойло, Є.Є.Антонов [та ін.] // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т.10, № 1. – С.3-15.

REFERENCES

1. Born M. Fundamentals of Optics / M. Born, E. Wolff. // – M.: Science, 1973. – 720p.
2. Bobrov V.F. Fundamentals of the theory of cutting metals / VF Bobrov // – M.: Mashinostroenie, 1979. – 344 p.
3. US Patent 5,171,624, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Microprismatic Material and Method of Making Same / H.Walter: 01.06.1990; 15.12.1992.
4. Antonov E.E. Optical characteristics of retroreflective elements / E.E. Antonov, S.M. Shanoilo, A.V. Shikhovets, Ming Zhang, Kai Liu // Registration, zberigannya i obrobka danih. – 2008. – V. 10, No. 2. – P.13-22.
5. US Patent 1,591,572, МКИ G02B 5/124. Process and Apparatus for Making Central Triple Reflectors / J.C.Stimson; 05.02.1925; 06.07.1926.
6. US Patent 3,926,402, МКИ G02B 5/124. Pin Having Nonaligned Cube Axis and Pin Axis and Bundle of Such Pins / S.A.Heenan: 18.02.1975; 16.12.1975.
7. US Patent 6,015,214, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Articles Having Microcubes, and Tools and Methods for Forming Microcubes / S.A.Heenan, A.J.Montalbano, L.A.Coman, D.I.Couzin; 30.05.1996;18.01.2000.
8. Antonov E.E. Optical power systems of galvanic matrices of microcorrelate nflokoploperaltalny structures / E.Antonov, A.V.Vankratova, O.V.Shikhovets // Reconc. – 2013. – Т.15, No. 4. – P.41-50.
9. Petrov V.V. Svitlopovertannya: problems and dosagnennya / V.V.Petrov, S.M.Shanojlo, E.Antonov [and I.] // Registration, zberigannya i drobik danih. – 2008. – Vol.10, No. 1. – P.3-15.

РЕФЕРАТ

Осипов В.О. Питання підвищення безпеки руху за рахунок використання нових світлоповертальних елементів / В.О. Осипов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті представлені результати розробки, виготовлення та впровадження сучасних високотехнологічних виробів – мікропризмових світлоповертальних елементів для облаштування кільцевих пересічень автомагістралей, вулично-дорожніх мереж з метою підвищення безпеки руху у нічний час доби.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ, МІКРОПРИЗМАТИЧНА СТРУКТУРА, МАТРИЦЯ-ОРИГІНАЛ.

ABSTRACT

Osyrov V.O. The issue of improving traffic safety by using new reflective elements. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article presents the results of the development, production and implementation of modern high-tech products – micro-prism retroreflective elements for the arrangement of roundabouts of motorways, street and road networks in order to improve traffic safety at night.

KEY WORDS: LIGHT-ROTATING ELEMENT, MICROPRISMATIC STRUCTURE, MATRIX-ORIGINAL.

РЕФЕРАТ

Осипов В.А. Вопросы повышения безопасности движения за счет использования новых световозвращающих элементов / В.А. Осипов // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье представлены результаты разработки, изготовления и внедрения современных высокотехнологичных изделий – микропризменных световозвращающих элементов для обустройства кольцевых пересечений автомагистралей, улично-дорожных сетей с целью повышения безопасности движения в ночное время суток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, МИКРОПРИЗМЕННАЯ СТРУКТУРА, МАТРИЦА-ОРИГИНАЛ.

АВТОР:

Осипов Валентин Александрович, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, тел. +38 099-777-24-88, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

AUTHOR:

Osyrov Valentyn, National Transport University, Associate Professor Transport Technologies Department, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, tel. +38 099-777-24-88, 01010, Kyiv, street M. Omeljanovich-Pavlenko, 1.

АВТОР:

Осипов Валентин Александрович, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортных технологий, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, тел. +38 099-777-24-88, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дмитрієв М.М., перший проректор з наукової роботи Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор, Київ, Україна

Рутковська І.А., кандидат технічних наук, професор, завідувача аспірантурою та докторантурою НТУ, Київ, Україна

REVIEWER:

Dmitriev M.M., First Vice-Rector, Vice-Rector for Scientific Work of the National Transport University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv, Ukraine

Rutkovskaya I.A., Candidate of Technical Sciences, Professor, Postgraduate Student and NTU Doctorate, Kyiv, Ukraine