

УДК 535.317, 628.94

М. Г. ТАРНОВСЬКИЙ

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ВИКОРИСТАННЯ ЛІНЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СВІТІННЯ СЕГМЕНТІВ ВЕЛИКОФОРМАТНИХ СВІТЛОДІОДНИХ СЕМИСЕГМЕНТНИХ ІНДИКАТОРІВ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна*

Анотація. Розглянуті принципи конструювання та розрахунку параметрів лінзових елементів для формування світіння сегментів світлодіодних семисегментних індикаторів. Вибрані параметри лінзових компонентів, що утворюють світловипромінювальну поверхню кінцевих розмірів, промодельоване розповсюдження світлових промінів через них.

Аннотация. Рассмотрены принципы конструирования и расчета параметров линзовых элементов для формирования свечения сегментов светодиодных семисегментных индикаторов. Выбраны параметры линзовых оптических компонентов, создающих светоизлучающую поверхность конечных размеров, промоделировано распространение световых лучей через них.

Abstract. The principles of design and calculation of parameters of lens elements to form of a luminescence of segments of digital LED displays. Parameters of lens optical components that create the light-emitting surface of finite sizes selected, the distribution of light rays through them simulated.

Ключові слова: світлодіодний семисегментний індикатор, розсіювання світла, лінзовий розсіювач, формування світлового потоку.

ВСТУП

Сьогодні серед достатньо великого різноманіття індикаторних приладів особливе місце займають напівпровідникові світлодіодні технології. За останні роки досягнуті великі успіхи по збільшенню яскравості і довговічності світлодіодів, розширенню їх спектрального діапазону. Завдяки цьому світлодіодний ринок стійко розвивається, досягаючи приросту товарної маси до 60% у рік [1].

Серед світлодіодних новинок, які з'явилися за останні роки, можна відзначити літерно-цифрові індикаторні модулі з розміром символів до 200 мм з розширеною кольоровою гамою, яка крім традиційних червоного, жовтого та зеленого кольору доповнилася синім, ізмуродно-зеленим і, навіть, білим [2, 3]. Їх все частіше, і частіше можна побачити в гральних автоматах, на стелах автозаправних станцій, на табло курсів валют. Застосування таких модулів підвищує ефективність розробки електронних табло, збільшує їх надійність та технологічність, покращує ремонтпридатність.

Зазвичай великоформатні світлодіодні індикаторні модулі для відображення цифрової інформації реалізуються на основі дискретних над'яскравих світлодіодів. За своєю структурою вони є матричними індикаторами, в яких з метою зменшення кількості використовуваних світлодіодів, світлодіоди розміщуються не у вузлах матриці, а групуються по окремих сегментах. Оскільки кожний сегмент індикаторного модуля утворюється сукупністю окремих дискретних світлодіодів, кожний з яких має завершене конструктивне виконання, структура створюваного таким модулем зображення є дискретною. Дискретність зображення, яка погіршує його ергономічні якості, стає особливо помітною при малих відстанях спостереження та при значних рівнях зовнішньої освітленості.

Кращі характеристики естетичного сприйняття зображення дають типові серійні сегментні індикатори. Для отримання однорідного, рівномірного світіння сегментів в них використовується принцип розсіювання світла. Для цього сегменти індикатора заповнюються спеціальним полімером, в який додають частки, що розсіюють світлове випромінювання. Поряд із забезпеченням рівномірного світіння сегментів світлорозсіювальний полімер викликає зменшення яскравості світіння, а тому семисегментні світлодіодні індикатори поступаються за яскравістю світіння дискретним над'яскравим світлодіодам. Крім того, вибір кольорової гами серед них є значно обмеженим.

Ще одним з недоліків серійно вироблюваних світлодіодних семисегментних індикаторів є низька

ремонтпридатність. Через те, що сегменти індикатора заповнені світлорозсіювальним полімером, немає доступу до світловипромінювальних кристалів, а значить будь-який із них, що вийшов з ладу, не може бути замінений, тобто працездатність індикатора не може бути відновлена.

З врахуванням викладеного вище актуальною є задача ефективного розподілу світлового потоку у великоформатних світлодіодних індикаторних модулях. Під ефективним розподілом світлового потоку розуміємо застосування таких рішень, які дозволяють отримати рівномірне однорідне світіння сегментів індикатора при мінімізації втрат світлової потужності. При цьому конструкція індикатора повинна забезпечувати легкий доступ до світловипромінювальних кристалів, що входять до складу його сегментів.

ОПТИЧНА СИСТЕМА СЕГМЕНТІВ ІНДИКАТОРА

Поставлена задача може бути вирішена за допомогою застосування в індикаторних модулях безкорпусних світлодіодів та оптичних компонентів для розподілу світлових потоків від них. Існуючі на сьогодні оптичні системи для світлодіодів поділяються на [4] лінзові та відбивальні. Вони достатньо широко представлені на ринку і дозволяють охопити доволі значний спектр застосувань світлодіодів – від точеної індикації до приладів освітлення. Проте зазначені компоненти мало підходять до використання в семисегментних індикаторах. Одні – тому що створюють вузьку діаграму спрямованості світіння, інші – тому що є достатньо габаритними.

У зв'язку з цим для розподілу світлового потоку від кожного зі світлодіодів, що входять до складу сегментів індикаторного модуля, пропонується використовувати лінзову оптичну систему, наведену на рис. 1. За допомогою лінзи Л0 світлове випромінювання світлодіода, що знаходиться у т. А, спрямовується на вторинні лінзи Л1...Лn, кожна з яких утворює його дійсне зображення. Таким чином замість однієї точки А, що випромінює, отримуємо n точок – A'_1, A'_2, \dots, A'_n . Якщо знехтувати втратами оптичної потужності при проходженні світлового потоку крізь оптичні компоненти, то при розташуванні лінз Л1...Лn впритул одна до одної світловий потік на виході оптичної системи буде таким самим, як і на її вході. При розташуванні кристала світлодіода у фокусі лінзи Л0, як це показано на рис. 1, його дійсні зображення A'_1, A'_2, \dots, A'_n будуть знаходитися у фокусах лінз Л1...Лn та лежати в одній площині. Замість позитивних лінз Л1...Лn можна використати негативні. Тоді отримуванні зображення світлодіода будуть уявними.

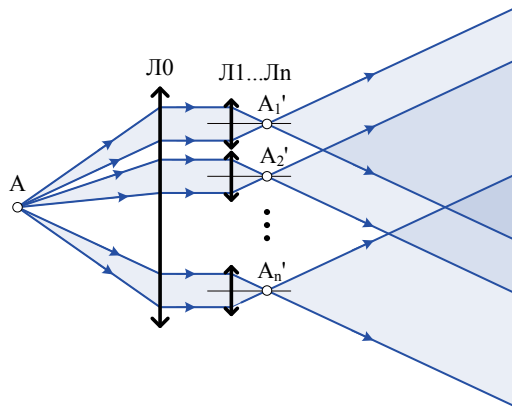


Рис.1. Оптична система для розподілу світлового випромінювання

При зменшенні діаметрів лінз Л1...Лn будуть зменшуватися відстані між т. A'_1, A'_2, \dots, A'_n . У результаті, при спостереженні вони будуть сприйматися суцільною плямою, що випромінює. Форма плями буде визначатися просторовим розташуванням лінз Л1...Лn.

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ОПТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ХОДУ ПРОМЕНІВ ЧЕРЕЗ НИХ

Наведений на рис. 1 просторовий розподіл світлових променів відповідає ідеальній оптичній системі і може розглядатися лише як теоретичний базис для вирішення поставленого завдання. Використання реальних оптичних компонентів (сферичних лінз) не дасть можливість реалізувати таку картину. По-перше, у реальних компонентах зі сферичними оптичними поверхнями характер заломлення променів визначається не лише конструктивними параметрами цих компонентів, а й висотою падіння променів на оптичну поверхню. По-друге, при широкій діаграмі спрямованості світлодіода немає можливості зібрати весь світловий потік при розташуванні світлодіода у передньому фокусі одиночної

лінзи. Дійсно, висота падіння промінів на лінзу ЛО є пропорційною відстані від світлодіода (т. А) до лінзи, у даному випадку, фокусній відстані лінзи ЛО. Для того, щоб забезпечити потрапляння у лінзу усіх променів, її треба розташувати ближче до світлодіода. Для цього треба зменшувати фокусну відстань. Зменшення фокусної відстані вимагає зменшення радіусів кривизни заломлюваних поверхонь, що веде до зменшення світлового діаметру. Таким чином, треба або використовувати оптичні компоненти зі складним профілем заломлюваних поверхонь, що не є доцільним з точки зору складності реалізації, або досягти прийняттого результату за рахунок вибору таких параметрів сферичних заломлюваних поверхонь та такого їх розташування відносно кристала світлодіода, які будуть оптимальними для вирішення цього конкретного завдання.

Заломлення світлових променів на сферичній заломлюваній поверхні описується відомою системою рівнянь [5]:

$$\begin{cases} \sin \varepsilon = \frac{r-s}{r} \cdot \sin \sigma \\ \sin \varepsilon' = \frac{n_1}{n_2} \sin \varepsilon \\ \sigma' = \sigma - \varepsilon + \varepsilon' \\ s' = r \left(1 - \frac{\sin \varepsilon'}{\sin \sigma'} \right) \end{cases}, \quad (1)$$

де ε – кут падіння променя на сферичну поверхню; ε' – кут заломлення; σ – кут між падаючим променем та оптичною віссю сферичної заломлюваної поверхні (віссю симетрії сферичної поверхні); σ' – кут між оптичною віссю та заломленим променем; s – відстань від вершини сферичної поверхні до точки перетину падаючого променя з оптичною віссю; s' – відстань від вершини сферичної поверхні до точки перетину заломленого променя з оптичною віссю; r – радіус сферичної заломлюваної поверхні; n_1 – показник заломлення середовища перед заломлюваною поверхнею; n_2 – показник заломлення середовища після заломлюваної поверхні.

Радіус кривизни r заломлюваної поверхні та відстані s і s' відраховуються від вершини сферичної поверхні і вважаються позитивними, якщо вони відкладаються праворуч, і негативними – якщо ліворуч. Кути ε та ε' відраховуються від нормалі до заломлюваної поверхні у точці падіння променя і вважаються позитивними, якщо для утворення кута нормаль треба повернути за годинниковою стрілкою. Кути σ та σ' відраховуються від оптичної осі і вважають позитивними, якщо утворюються обертанням осі за годинниковою стрілкою.

Оцінимо мінімальне значення кутів розходження променів на виході лінзи ЛО та визначимо умови, при яких це значення може бути досягнуто. Для цього перепишемо перше та друге рівняння системи (1) у вигляді:

$$\sin \varepsilon = \left(1 - \frac{s}{r} \right) \cdot \sin \sigma, \quad (2)$$

$$\sin \varepsilon' = \frac{n_1}{n_2} \left(1 - \frac{s}{r} \right) \cdot \sin \sigma. \quad (3)$$

Виражаючи з виразів (2) та (3) кути ε та ε' та підставляючи їх у третє рівняння системи (1), отримаємо залежність $\sigma(\sigma, s/r)$. При визначенні параметрів оптичної системи світлодіодного індикаторного модуля будемо орієнтуватися на використання у ньому безкорпусних світлодіодів з кутовою діаграмою спрямованості випромінювання у 120° , наприклад, серії [6] HL-PCS-2012. Як матеріал для оптичних компонентів вибираємо оптичний полімер з показником заломлення $n_2 = 1,56$. Оскільки лінза знаходиться у повітрі, то $n_1 = 1$.

На рис. 2 наведені залежності $\sigma(\sigma, s/r)$ для першої заломлюваної поверхні лінзи для промінів, що розповсюджуються під кутами -20° , -40° та -60° до оптичної осі. Ці залежності були отримані за допомогою пакету Mathcad.

Оскільки світлодіод, який вважаємо точковим джерелом, може знаходитися тільки ліворуч від вершини заломлюваної поверхні ($s < 0$), то при позитивному радіусі (випукла поверхня) промені, які

розповсюджуються під кутом -60° до оптичної осі, можуть потрапити на заломлювану поверхню тільки при $0 > s/r > -0.1$, тобто при $-0.1 \cdot r < s < 0$.

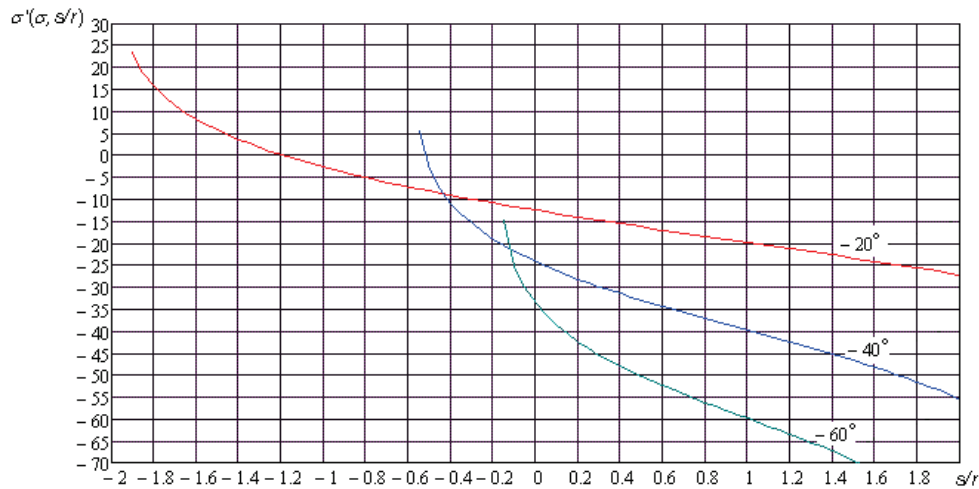


Рис.2. Залежності, що характеризують напрям розповсюдження променів після заломлення на першій поверхні сферичної лінзи

Для того, щоб зменшити втрати світлового потоку на відбивання при заломленні, треба зменшити кути падіння променів на заломлювану поверхню. Тому першою поверхнею лінзи вибираємо ввігнуту поверхню ($r < 0$). У цьому випадку співвідношення s/r буде позитивним. Для $s/r > 0$ найменший нахил променів до оптичної осі після їх заломлення буде забезпечуватися при розташуванні точкового джерела у вершині заломлюваної поверхні ($s/r = 0$, тобто $s = 0$). Цю умову не можливо забезпечити для світлодіода, оскільки розміри навіть безкорпусного світлодіода є відмінними від нуля. Проте забезпечити виконання нерівності $s/r \leq 0.05$ цілком можливо. У цьому випадку, як видно з рис. 2, промені, що розповсюджуються під кутами $|\sigma| \leq 60^\circ$ до осі, після заломлення будуть утворювати кути $|\sigma'| \leq 35^\circ$. Скористаємося цими результатами, при визначенні напрямку розповсюдження променів після заломлення на другій поверхні лінзи.

Для другої поверхні рівняння (3) переписеться у вигляді:

$$\sin \varepsilon' = \frac{n_2}{n_3} \left(1 - \frac{s}{r}\right) \cdot \sin \sigma \cdot \quad (4)$$

де n_3 – показник заломлення середовища після заломлюваної поверхні.

Оскільки лінза знаходиться у повітрі, то $n_3 = 1$. На рис. 3 наведені залежності $\sigma'(\sigma, s/r)$ для другої заломлюваної поверхні лінзи для промінів, що розповсюджуються під кутами $-15^\circ, -20^\circ, -25^\circ, -30^\circ$ та -35° до оптичної осі (падаючими на другу поверхню лінзи променями є промені, заломлені на її першій поверхні). Ці залежності, як і попередні, були отримані за допомогою пакету Mathcad.

Оскільки лінза ЛО повинна бути збиральною, а перша її заломлювана поверхня вибрана ввігнутою, друга її поверхня також повинна бути ввігнутою ($r < 0$). Зображення світлодіода, створюване першою поверхнею лінзи, є уявним і знаходиться ліворуч від неї, тому для другої поверхні $s < 0$, а $s/r > 0$. З рис. 3 видно, що найкращі значення відношення s/r знаходяться в межах 1.9. Саме при $s/r \approx 1.9$ не лише забезпечується пропускання усіх променів (наприклад, при $s/r > 2.3$, промені, які утворювали з віссю кути -30° та -35° , не потрапляють на поверхню), а й зберігається симетрія пучка (порядок взаємного розташування промінів у пучку). При $s/r \approx 1.9$ найбільший кут з віссю після заломлення утворюють промені, які до заломлення розповсюджувалися під кутами -30° та -35° . Значення цього кута складає приблизно -12° . Отже, за допомогою двох ввігнутих сферичних поверхонь при дотриманні зазначених умов можна зменшити кутове розходження промінів у пучку зі 120° до 24° . Скористаємося отриманими результатами для визначення конструктивних параметрів лінзи ЛО.

Значення конструктивних параметрів лінзи ЛО будемо визначати, розглядаючи хід променя, що при виході зі світлодіода утворює з оптичною віссю кут $\sigma = -60^\circ$. Виберемо значення радіусу кривизни r_1 першої заломлюваної поверхні лінзи рівним -30 мм. Тоді, на основі співвідношення $s_1/r_1 \leq 0.05$,

знаходимо, що $|s_1| \leq 1.5$ мм. З рис. 2 видно, що для мінімізації розходження променів після заломлення на першій поверхні, світлодіод треба розмішувати як можна ближче до її вершини. Враховуючи, що висота корпусу розглядуваного світлодіода складає 0,6 мм, а світловипромінювальний кристал знаходиться приблизно посередині, приймаємо $s_1 = -0.3$ мм. За рівняннями системи (1) знаходимо відстань s_1' від вершини першої заломлюваної поверхні до точки, в якій розглядуваний промінь (промінь, що розповсюджувався під кутом $\sigma = -60^\circ$) перетинає оптичну вісь після заломлення на ній: $s_1' = -0.755$ мм.

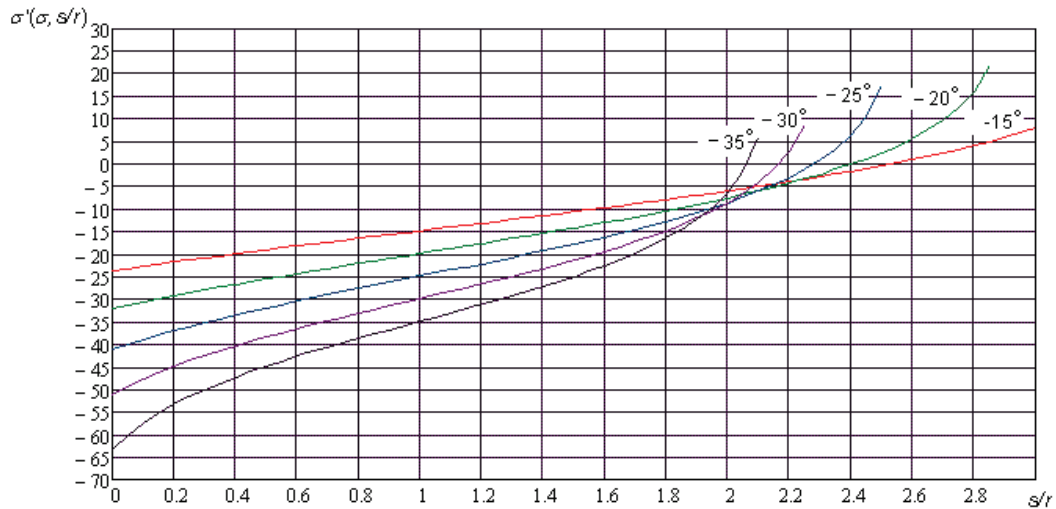


Рис. 3. Залежності, що характеризують напрям розповсюдження променів після заломлення на другій поверхні сферичної лінзи

Для другої заломлюваної поверхні лінзи необхідно забезпечити виконання умови $s_2/r_2 \approx 1.9$. Для позитивної двовігнутої лінзи $|r_2| < |r_1|$, тому саме значення радіусу другої заломлюваної поверхні визначає світловий діаметр лінзи. Останній, у свою чергу, визначає ширину вихідного пучка променів, тобто розмір світлової плями. Прийемо, що ширина сегмента індикатора складає 8 мм. Тоді діаметр світловипромінювальної плями, створюваної одним світлодіодом, повинен бути не меншим за 8 мм. Вибираючи значення радіусу кривизни r_2 другої поверхні рівним -4 мм, знаходимо, що $s_2 \approx -7.6$ мм. Враховуючи, що для другої поверхні лінзи падаючим променем є промінь, заломлений на першій поверхні, для отримання необхідного s_2 необхідно зсунути другу поверхню відносно першої на:

$$d_1 = s_1' - s_2 = -0.755 - (-7.6) = 6.845 \text{ (мм)}.$$

На основі отриманого результату приймаємо товщину лінзи по осі рівною 7 мм. Отже остаточні значення конструктивних параметрів лінзи ЛЮ будуть такими: $n = 1.56$, $r_1 = -30$ мм, $r_2 = -4$ мм, $d_1 = 7$ мм.

Промодельюємо хід променів через таку лінзу. Для цього виберемо систему координат з центром у кристалі світлодіода. Вісь ОХ спрямуємо вздовж оптичної осі лінзи. У вибраній системі координат хід променів буде описуватися функцією:

$$f(x) = \begin{cases} \operatorname{tg} \sigma_1 \cdot x, & \text{для } 0 \leq x < x_{01} \\ \operatorname{tg} \sigma_1' \cdot (x - s_1' + s_1), & \text{для } x_{01} \leq x < x_{02}, \\ \operatorname{tg} \sigma_2' \cdot (x - s_2' + s_1 - d_1), & \text{для } x \geq x_{02} \end{cases} \quad (5)$$

де s_1 – відстань від вершини першої поверхні лінзи до кристала світлодіода; s_1' – відстань від вершини першої поверхні лінзи до точки перетину заломленого на ній променя з оптичною віссю; s_2' – відстань від вершини другої поверхні лінзи до точки перетину заломленого на ній променя з оптичною віссю; d_1 – товщина лінзи по осі; σ_1 – кут між оптичною віссю та променем, що падає на першу поверхню лінзи; σ_1' – кут між оптичною віссю та променем після заломлення на першій поверхні лінзи; σ_2' – кут між оптичною віссю та променем після заломлення на другій поверхні лінзи; x_{01} – абсциса точки перетину променя з першою поверхнею лінзи; x_{02} – абсциса точки перетину променя з другою поверхнею лінзи.

Відстані s_1' , s_2' та кути σ_1' , σ_2' визначаються за системою (1) при застосуванні її окремо для першої та другої поверхонь лінзи. Значення x_{01} знаходимо як абсцису точки перетину прямих $\operatorname{tg} \sigma_1 \cdot x$ та $\operatorname{tg} \sigma_1' \cdot (x - s_1' + s_1)$, а значення x_{02} – як абсцису точки перетину прямих $\operatorname{tg} \sigma_1' \cdot (x - s_1' + s_1)$ та $\operatorname{tg} \sigma_2' \cdot (x - s_2' + s_1 - d_1)$. Результати моделювання, отримані за допомогою пакету Mathcad, представлені на

рис. 4. Праворуч указані абсолютне значення кутів, під якими до оптичної осі розповсюджуються промені після лінзи, а у дужках – до лінзи.

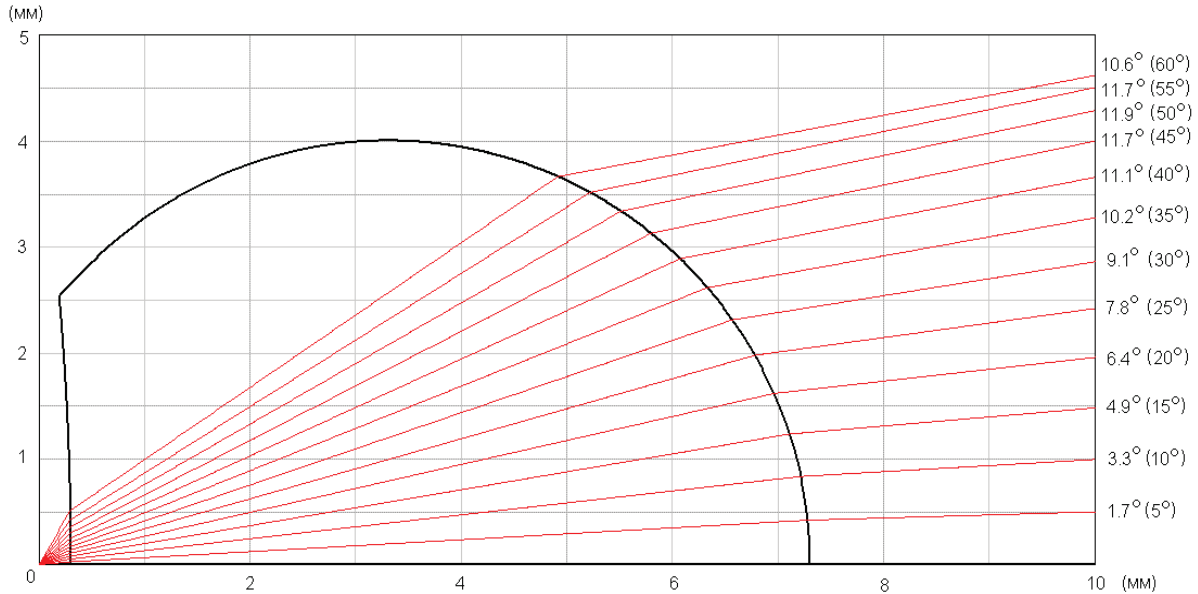


Рис.4. Результати моделювання розповсюдження променів через сферичну лінзу

Отримані результати показують, що у вихідному пучку можна виділити групи променів, які мають майже однакову спрямованість або незначне взаємне кутове розходження. Це надає можливість зібрати такі промені в одну точку за допомогою вторинних лінз. На основі аналізу результатів моделювання ходу променів, відображених на рис. 4, пропонується використати збиральні лінзи зі світловим діаметром у 2 мм. Виходячи з рис. 4 розташування першої з них вибираємо на оптичній осі. Вхідним світловим пучком для неї будуть промені, що розповсюджуються відносно оптичної осі в межах кутів до 3.3°. Розташування другого ряду лінз вибираємо таким, щоб їх центри розміщувалися на колі радіуса 2 мм з центром на оптичній осі лінзи Л0. Ці лінзи будуть збирати промені, що розповсюджуються відносно оптичної осі в межах кутів від 3.3° до 10.2°. Останній ряд утворюють лінзи, центри яких розташовуються на колі радіуса 4 мм з центром на оптичній осі лінзи Л0. Третій ряд лінз буде збирати промені, що розповсюджуються відносно оптичної осі в межах кутів від 10.2° до 11.9°.

Як вторинні лінзи вибираємо випукло-плоскі лінзи. Фокусна відстань випукло-плоскої лінзи визначається виразом [5]:

$$\frac{1}{f'} = \frac{n-1}{r1},$$

а задній фокальний відрізок (відстань від вершини задньої поверхні до заднього фокусу) – виразом:

$$s'_{F'} = f' \cdot \left(1 - \frac{d(n-1)}{n \cdot r1}\right) = \frac{r1}{n-1} - \frac{d}{n}, \tag{6}$$

де d – товщина лінзи по осі.

Для того, щоб паралельні промені збиралися на задній поверхні лінзи (щоб зображення світлодіода знаходилися на поверхні сегмента), $s'_{F'}$ повинно дорівнювати нулю. Тоді, на основі виразу (6) для товщини вторинних лінз по осі маємо:

$$d = \frac{n}{n-1} \cdot r1.$$

Для зменшення фокусної відстані значення радіуса кривизни випуклої поверхні вибираємо мінімально можливим – рівним половині діаметра лінзи, тобто рівним 1 мм. При $n=1,56$ і $r_1 = 1$ мм товщина вторинної лінзи $d_2 = 2,8$ мм. Вибираємо $d_2 = 3$ мм.

На рис. 5 наведені результати моделювання ходу променів через запропоновану оптичну систему, за допомогою якої формується світіння сегмента. Хід променів визначався за системою (1) у системі координат із центром у кристалі світлодіода. Значення відрізків s_3 , які визначають відстані від вершин перших поверхонь вторинних лінз до точок, в яких падаючі на них промені перетинають їх оптичні вісі, розраховувалися за формулою:

$$s_3 = \frac{h + tg\sigma'_2 \cdot (s'_2 - s_1 + d_1)}{tg\sigma'_2} - a_0,$$

де h – відстань від оптичної осі лінзи Л0 (осі ОХ) до оптичної осі вторинної лінзи; a_0 – відстань по осі ОХ від вершини другої заломлюваної поверхні лінзи Л0 до вершини першої заломлюваної поверхні вторинної лінзи.

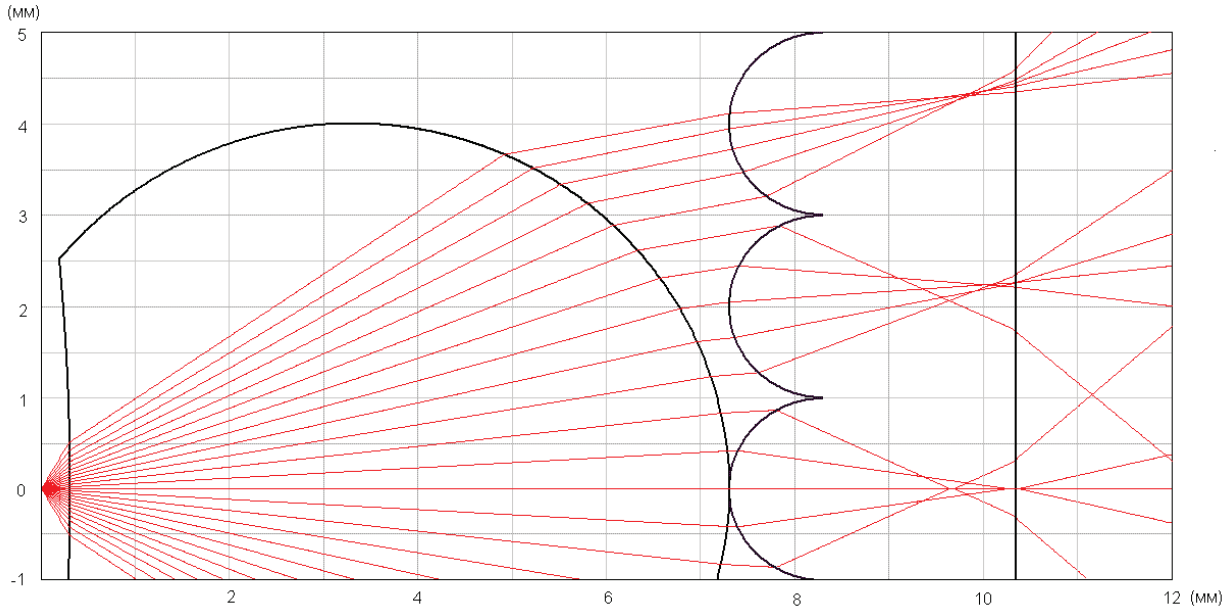


Рис.5. Результати моделювання розповсюдження променів через лінзовий розсіювач

Для зменшення габаритних розмірів і спрощення установки (передбачається, що вторинні лінзи конструктивно об'єднуються в один елемент), відстань a_0 була вибрана рівною 0. У цьому випадку модуль вторинних лінз просто кладеться на первинні лінзи, які для кожного сегмента також конструктивно об'єднуються в один елемент.

Як видно з отриманих результатів, за допомогою розглядуваної системи можна отримати доволі чіткі, майже точкові зображення світлодіода поблизу другої поверхні вторинних лінз, яка є лицевою поверхнею сегмента. Навіть ті промені, які, так би мовити, “випадають” із пучків, все одно будуть сприйматися спостерігачем як такі, що виходять з відповідних точок.

У результаті розрахунків були оцінені кути, на які світлові промені після проходження вторинних лінз відхиляються від їх оптичних осей. Для кожної точки, що є зображенням світлодіода, сформованим вторинною лінзою, значення цих кутів складають до 60° .

З рис. 5 можна оцінити відстань між зображеннями світлодіода, що створюються вторинними лінзами – трохи більше 2 мм. Якщо межу роздільної знатності ока прийняти рівною $1' = 1/60^\circ$, мінімальна відстань, з якої вторинні зображення світлодіода не будуть сприйматися окремо, складе:

$$L_{\min} = \frac{0.002}{tg(1')} = 6.9 \text{ (м)}.$$

Реальна відстань, на якій створювана точкова картина буде “змазуватися”, може виявитися ще меншою внаслідок хаотичного розсіювання променів, що потрапляють на межі між лінзами, та промінів, що зазнають багаторазових відбивань всередині оптичних компонентів. Крім того, враховуючи, що при високій яскравості світіння розміри джерела, що здаються, є більшими за його геометричні розміри, відстані між точковими зображеннями світлодіода будуть сприйматися меншими за рахунок того, що самі ці зображення не будуть сприйматися як точкові.

Треба відзначити, що результати проведеного моделювання є коректними тільки для площини рисунку. Для того, щоб отримані результати були однаковими у всіх площинах, що проходять через оптичну вісь світлодіода, вторинні лінзи за винятком центральних (тих, оптична вісь яких співпадає з віссю світлодіода) повинні бути виконані у формі тора. Тоді зображення кожного кристала світлодіода, що входить до складу сегмента індикатора, буде утворюватися у вигляді центральної точки та двох концентричних кіл з радіусами 2 мм та 4 мм. З відстані спостереження більшої за 7 м, вони будуть сприйматися як пляма діаметром 8 мм.

ВИСНОВКИ

За допомогою оптичної системи, що складається з первинної лінзи та шару вторинних лінз, світлодіод як точкове джерело може бути перетворений у джерело у вигляді майже плоскої світловипромінювальної ділянки кінцевих розмірів зі збереженням просторового розподілу випромінювання. Це дозволяє збільшити крок розташування світлодіодів у сегментах індикатора, а значить не лише зменшити їх кількість і, як наслідок, електричну потужність, необхідну для керування сегментами, а й покращити тепловий режим роботи світлодіодів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трофимов Ю.Б. Полупроводниковые светодиоды – новые сферы применения и тенденции развития рынка / Ю.Б.Трофимов // Электронные компоненты. – 2003, №3. – С. 31 – 35.
2. Кручинин П. Системы отображения информации на базе светодиодов / П . Кручинин, Д. Кочетков // Электронные компоненты. – 2003, №3. – С. 78 – 79.
3. Трофимов Ю.Б. Светодиодная элементная база – некоторые особенности и проблемы применения в дисплейных технологиях / Ю.Б. Трофимов // Электронные компоненты. – 2002, №1. – С. 29 – 35.
4. Булыгин А. Обзор оптических систем для LED / А.Булыгин // Новости электроники. – 2008, №17. – С. 15 - 20.
5. Заказнов Н.П. Теория оптических систем: Учебник для приборостроительных специальностей вузов / Н.П. Заказнов, С.И. Кирышин, В.Н. Кузичев – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.
6. Джерела Інтернет: http://www.leds.com.ua/production_price_1c/showitem/18/.

Надійшла до редакції 2.05.2011

ТАРНОВСЬКИЙ МИКОЛА ГЕНАДІЙОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.