

УДК 628.9.041

В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Є. О. ХОДЯКОВ, О. О. КУЗІН

СУЧАСНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ОСВІТЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, ПОБУДОВАНІ НА ОСНОВІ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ВІДСТАНЬ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛЯХ (ВОК)

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

Анотація. Запропоновано підхід до побудови енергозберігаючого оптоелектронного пристрою, заснований на передачі сонячного випромінювання по волоконно-оптичному кабелю на відстань, що дозволяє не використовувати електроенергію.

Ключові слова. Сонячне випромінювання, оптична система, волоконно-оптичний кабель, освітлювальний пристрій, світловод, поширення хвиль.

Аннотация. Предложен подход к построению энергосберегающего устройства, основанный на передаче солнечного излучения по волоконно-оптическому кабелю на расстояние, что позволяет не использовать электроэнергию.

Ключевые слова. Солнечное излучение, оптическая система, волоконно-оптический кабель, осветительное устройство, солнечная энергия, отражение энергии, световод, распространение волн.

Abstract. An approach to the construction of an energy-saving device based on the transfer of solar radiation through a fiber-optic cable over a distance is proposed, which makes it possible not to use electricity.

Keywords: sunlight, optical system, optic fiber cable, lighting fixture, solar energy, reflection energy, fiber, wave propagation.

ВСТУП

Сонячне випромінювання є основним джерелом природних процесів на Землі. Використання енергії сонця сприяє не тільки збереженню клімату Землі, та зменшує залежність багатьох країн від закупівлі імпортованих вуглеводнів.

Сонячна енергетика — вид відновлювальної енергетики, в якій для отримання електроенергії використовується сонячне випромінювання. Кількість сонячної енергії, падаюча на поверхню землі на протязі одного тижня, перевищує енергію світових запасів нафти, газу, вугілля та урану разом узятих. Людство використовує лише одну десятитисячну частину цього виду енергії.

Багато країн вже оцінили перевагу використання сонячної енергії. В топ-10 країн, які використовують сонячну енергію, входять Німеччина, Італія, Японія, США, Іспанія, Китай, Франція, Чехія, Бельгія та Австралія. Країна — лідер, Німеччина, вже до 2050 року, планує забезпечити електричні потреби на 100 % сонячної енергетики. В даний час частка енергії виробленої від сонячних батарей, становить 50,6 % добового споживання.

Сонячне випромінювання (світлові промені) характеризуються довжиною хвилі λ (частотою f). Видимі промені (В) розміщені між інфрачервоними (ІЧ) та ультрафіолетовими (УФ) променями і займають смугу приблизно 0,4—0,75 мкм, що відповідає діапазону частот $4 \cdot 10^{14}$ — $0,75 \cdot 10^{15}$ Гц. В табл.1 наведені значення λ і f для різних типів променів.[1]

Таблиця 1.

Значення λ та f для інфрачервоного, видимого та ультрафіолетового діапазонів спектру

Параметр	Інфрачервоні	Видимі	Ультрафіолетові
λ , мкм	100—0,75	0,75—0,4	0,4—0,005
f , Гц	$3 \cdot 10^{12}$ — $4 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{14}$ — $0,75 \cdot 10^{15}$	$0,75 \cdot 10^{15}$ — $0,6 \cdot 10^{17}$

Звичайне біле світло має складну структуру і може бути представлене у вигляді набору різних кольорових променів. Промені різного кольору мають різні довжини хвиль. Так червоному кольору відповідає довжина хвилі 0,7 мкм, жовтому кольору — 0,6 мкм та зеленому кольору — 0,55 мкм.

На рис. 1 зображені інтенсивності випромінювання Φ_e різних джерел світла та відносна спектральна світлова ефективність [1]. З рис. 1 слідує, що сонячне випромінювання займає досить широкий спектр хвиль що простягається від $\lambda = 0,3$ до $\lambda = 1,5$ мкм з максимальною інтенсивністю при $\lambda = 0,4$ мкм. Чутливість людського ока відповідає видимому спектру хвиль ($\lambda = 0,4—0,8$ мкм) [1]. В цьому діапазоні хвиль ефективно випромінюють сонячні промені.

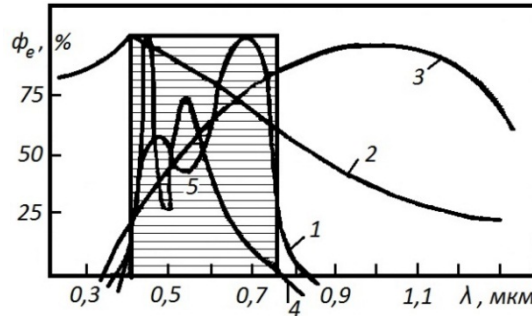


Рис. 1. Спектральна світлова ефективність різних джерел світла:
1 — люмінесцентна лампа; 2 — сонце; 3 — лампа розжарювання;
4 — світлодіод; 5 — відносна спектральна світлова ефективність

ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ

За допомогою сонячного світла можливо освітлювати приміщення в денний час доби. Для цього застосовуються світлові колодязі. Найпростіший варіант світлового колодязя — це отвір в стелі юрти. Світлові колодязі застосовуються для освітлення приміщень, які не мають вікон: станції метро, підземні гаражі, підвали промислових забудов, склади тощо.

Перспективним у плані енергоефективності є створення надсучасних енергозберігаючих освітлювачів, побудованих на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання по волоконно-оптичних кабелях (ВОК) нового типу, які призначені для передачі світлових потоків з надвисокою швидкістю так і енергетичного живлення на відстань. Такий новий тип оптичної системи для передачі сонячного випромінювання по волоконно-оптичним каналам розроблений і досліджується на базі кафедри лазерної та оптоелектронної техніки (зав. каф. д.т.н., проф. В. П. Кожем'яко) ВНТУ.

Оцінюючи різні направляючі системи: по частотному діапазону використанню, послабленню, захисту від зовнішніх завад та техніко-економічних показниках можна визнати, що найкращими виявляються волоконно-оптичні кабелі. Основними досягненнями його являється широкосмуговість, добра завадо захищеність та мале послаблення.

Волоконно-оптичні кабелі можуть розглядатися як перспективний засіб передачі широкосмугового світлого випромінювання у вузько направленому промені оптичного діапазону $10^{14} — 4 \cdot 10^{14}$ Гц. Їх перевагою є: легкість, малі габаритні розміри, гнучкість та можливість прокладки по реальній трасі як звичайних кабелів. Крім того, вони можуть вироблятися у великих будівельних довжинах.

При виборі типу ВОК для передачі сонячного випромінювання необхідно обирати такі, які охоплюють найбільшу смугу використаного частотного діапазону – видимий та інфрачервоний діапазон ($10^{13} — 4 \cdot 10^{14}$ Гц) [1]. Звичайно, що чим більш вищий діапазон частот можливо передати по направляючій системі (оптичній системі на відстань) по ВОК — тим ефективніша буде передача сонячного випромінювання. В цьому плані перевага явно на боці світловодів. Основним елементом оптичного кабелю є волоконний світловод, виготовлений у вигляді тонкого скляного волокна циліндричної форми, по якому здійснюється передача сонячних променів.

Волоконний світловод, як правило має двошарову конструкцію та складається зі серцевини та оболонки з різними показниками заломлення n_1 і n_2 . Найбільш широке застосування здобули волоконні світловоди двох типів: сідчасті та градієнтні. У сідчастих світловодів показник заломлення в серцевині постійний та існує різкий перехід від n_1 серцевини до n_2 оболонки. Градієнтні світловоди мають безперервну плавну зміну показника заломлення в серцевині по радіусу світловоду від центру до периферії з максимумом на осі світловоду.

В свою чергу східчасті світловоди поділяють на одномодові та багатомодові. В одномодових світловодах діаметр серцевини сумірний з довжиною хвилі ($d \approx \lambda$), і по ньому передається лише один тип хвилі(мода). В багатомодових світловодах діаметр серцевини більший, ніж довжина хвилі($d > \lambda$), і по ньому поширюється більше число хвиль. Практично серцевина світловода складає 4 — 8 мкм у одномодових і 50 мкм у багатомодових світловодів, діаметром оболонки 125 мкм [1]. Таким чином, існуючі, волоконні світловоди можливо розділити на три типи: одномодові, багатомодові та градієнтні.

Серцевина служить для передачі сонячного випромінювання. Призначення оболонки — створення найкращих умов відбиття на межі, серцевина — оболонка та захист від випромінювання енергії в оточуюче середовище.

При $\lambda < d$ передача відбувається в результаті багатократного зигзаподібного відбиття хвилі від межі поділу середовищ з різними показниками заломлення. Тому передача по світловодам можлива лише в діапазоні дуже високих частот, коли, довжина хвилі менша ніж поперечні розміри (діаметр) направляючої системи (оптичної системи) та при передачі по волоконним світловодам повинен дотримуватись режим повного внутрішнього відбиття світлової хвилі на межі серцевини — оболочка світловода.

Розглянемо процес поширення електромагнітної хвилі по одношаровому волоконному світловоду методом геометричної оптики рис. 2 [1].

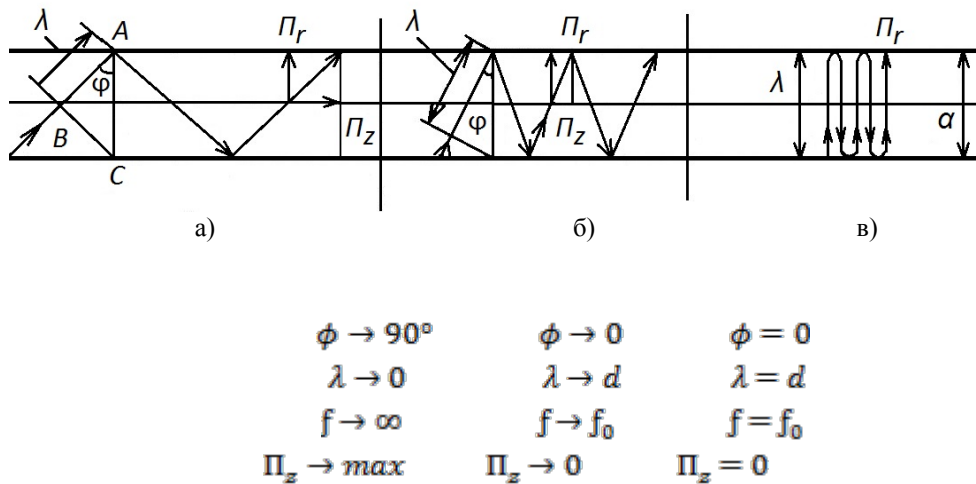


Рис. 2. Зигзагообразне поширення електромагнітної хвилі при різних довжинах хвиль: а — дуже коротких; б — менш коротких; в) критичних

Тут світловий промінь утворює з поперечним перерізом світловода кут ϕ та багатократно відбивається від межі серцевина-оболонка. Між довжиною хвилі λ , діаметром світловоду d та кутом ϕ діє співвідношення:

$$\cos \phi = \lambda/d.$$

На рис.2 наведені граничні випадки поширення малих довжин хвиль при $\lambda \rightarrow 0$ (рис. 2а) та хвиль сумірних з діаметром світловоду при $\lambda \rightarrow d$ (рис. 2б).

В першому випадку ($\lambda \rightarrow 0$, $f \rightarrow \infty$, кут $\phi \rightarrow 90^\circ$) відбиттів мало і хвиля прямує до прямолінійного руху вздовж світловоду. При цьому повздовжня складова вектора Пойтинга Π_z має максимальне значення і передача по світловоду проходить у вигідних умовах.

В другому випадку ($\lambda \rightarrow d$, $f \rightarrow c/d$, кут $\phi \rightarrow 0^\circ$) хвиля випробує велике число відбиттів і ходовий рух її надто малий. При цьому повздовжня складова Π_z прямує до нуля та вздовж світловода передається незначна доля енергії.

При певній довжині хвилі (рис. 2в) настає такий режим, коли $\phi = 0$; хвиля падає на оболонку світловода і відбивається перпендикулярно. В світловоді устанавлюється режим стоячої хвилі і енергія вздовж світловода не переміщається. В даному випадку ми маємо справу з критичною довжиною хвилі $\lambda_0 = d$ та критичною частотою $f_0 = 1/\lambda_0 = c/d$.

Таким чином, в світловоді можуть поширюватись лише хвилі довжиною, меншої, ніж діаметр, серцевини світловода ($\lambda < d$). Однак в світловоді, з врахуванням того, що межею розподілу середовищ серцевина-оболонка, являються прозоре скло, можливо не тільки відбиття оптичного променя, але і

проникнення його в оболонку. Для запобігання переходу енергії в оболонку і випромінювання її в навколишнє середовище необхідно дотримуватися умови повного внутрішнього відбиття. Реалізація цієї умови пристосованого до двошарового світловоду, зображено на рис. 3. [1]

Відповідно до законів геометричної оптики на межі сердцевина-оболонка будуть падаюча хвиля (AB) з кутом φ_n , відбита хвиля (BC) з кутом φ_0 та заломлена хвиля з кутом $\varphi_{зал}$. Відомо, що при переході із середовища з більшою щільністю в середовище з меншою щільністю, тобто при $n_1 > n_2$, хвиля при певному куті падіння повністю відбивається та не переходить в інше середовище (рис. 3б). Кут падіння φ_n , починаючи з якого уся енергія відбивається від межі розділу середовищ, називається граничним кутом повного внутрішнього відбиття. Цей кут визначається із співвідношення [1]:

$$\sin \varphi_{гран} = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\mu_{r2} \varepsilon_2 / \mu_{r1} \varepsilon_1},$$

де μ_{r1} та ε_1 , μ_{r2} та ε_2 — відповідно магнітна та діелектрична проникність сердцевини і оболонки.

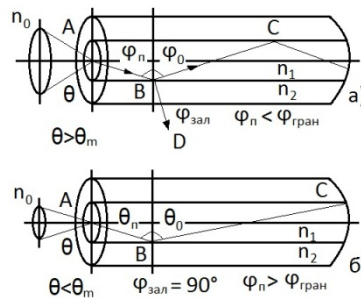


Рис. 3. Поширення променя в волоконному світловоді:
а — енергія випромінюється у зовнішнє середовище; б — повне внутрішнє відбиття

При енергія, яка надійшла в сердцевину, повністю відбивається і зигзагоподібно поширюється по світловоду (рис. 3 б). Чим більший кут падіння хвилі φ_n , тим кращі умови поширення і тим швидше хвиля надійде до приймального кінця. В цьому випадку вся енергія концентрується в сердцевині світловода та практично не випромінюється в зовнішнє середовище.

При куті, меншим кута повного відображення, тобто, енергія проникає в оболонку, випромінюється в зовнішнє середовище, і передача по світловоду неефективна (рис. 3а).

Режим повного внутрішнього відбиття залежить від діаграми направленості джерела випромінювання.

Апертурний кут θ_m — це кут між оптичною віссю і однією із складових світлового конусу, який потрапляє в торець волоконного світловода, при якому

Як видно з рис. 3, світловод пропускає лише світло, яке замкнуте у межах тілесного кута Ω_A , обмежене конусом з кутом повного внутрішнього відбиття θ_m при вершині. Зазвичай, користуються поняттям числової апертури [1]

$$NA = n_0 \sin \theta_m = n_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

де n_0 , n_1 , n_2 — показники заломлення зовнішнього середовища сердцевини і оболонки.

Якщо торець світловода межує з повітрям [1], то $n_0 = 1$, а

$$NA = \sin \theta_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Як видно з рис. 3, між граничним кутом повного внутрішнього відбиття та апертурним кутом падіння променя θ_m існує взаємозв'язок. Чим більший кут θ_m , тим менший апертурний кут оптичного волокна θ_m .

Ввід променя в торець волоконного світловода слідує здійснювати під кутом, меншим апертурного кута волокна θ_m . До тих пір, поки кут падіння променя φ_n більше, ніж θ_m , промінь буде випробувати повне внутрішнє відбиття на межі сердцевина-оболонка і передача буде проходити ефективно, в основному без випромінювання енергії в навколишнє середовище.

Особливістю світловода є наявність критичної частоти — частоти відсічки f_0 , нижче якої енергія не поширюється, а вище відбувається процес передачі. Раніше було відомо, що між довжиною хвилі λ та діаметром сердцевини світловода d існує співвідношення:

$$\cos \theta = \lambda/d,$$

де θ — кут падіння хвилі на межу серцевина-оболонка.

Маючи на увазі, що $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$, та використовуючи умову повного внутрішнього відбиття $\sin \theta = n_2/n_1$, отримуємо $\cos \theta = \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}$. Прирівнюючи праві частини виразів косинусів, отримуємо $\lambda_0/d = \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}$.

Відповідно критична довжина хвилі волоконного світловода визначається формулою [1]:

$$\lambda_0 = d \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = (d/n_1) \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Критична частота [1]:

$$f_0 = \frac{v_1}{\lambda_0} = \frac{v_1}{d} * \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}} = \frac{c}{d} * \frac{1}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}},$$

де v_1 — швидкість поширення енергії в серцевині світловода.

Аналізуючи одержані співвідношення, можливо відмітити, що чим більший діаметр серцевини волоконного світловода d і чим більше відрізняються показники заломлення серцевини n_1 , та оболонки n_2 , тим більша критична довжина хвилі і відповідно нижча критична частота.

Вище сказане дає підставу зробити висновок, що при частотах вище критичної f_0 , енергія поля концентрується в середині серцевини світловода та ефективно поширюється вздовж нього. Нижче критичної частоти енергія розсіюється в навколишнє середовище і не передається по світловоду.

Важливими параметрами волоконного світловода являються втрати та відповідно послаблення. Ці параметри визначають дальність поширення випромінюваних променів по оптичному кабелю та його ефективність.

Послаблення світловодних трактів волоконно-оптичних кабелів α обумовлено власними втратами у волоконних світловодах α_v та додатковими втратами, так названими кабельними α_k , зумовленими деформацією та згинами світловодів при накладанні покриттів та захисних оболонок у процесі виготовлення оптичних кабелів.

Власні втрати волоконних світловодів складаються в першу чергу із втрат поглинання α_n та втрат розсіювання α_r . Втрати на поглинання істотно залежать від чистоти матеріалу та при наявності сторонніх домішок α_d можуть бути значними. В результаті $\alpha_v = \alpha_n + \alpha_d + \alpha_r$. [1]

Послаблення в результаті поглинання α_n зв'язано з втратами на діелектричну поляризацію, лінійно зростає з частотою та значно залежить від властивості матеріалу світловода ($\tan \delta$). Втрати обумовлені комплексним характером показника заломлення $n = n_d + jn_m$, котрий зв'язаний з $\tan \delta$ виразом $\tan \delta = 2n_d n_m / (n_d^2 - n_m^2)$. [1]

Послаблення у результаті поглинання визначається співвідношенням втрат в світловоді P_v до подвійного значенню повної потужності P , поширюваної по волоконному світловоду [1]:

$$\alpha_n = P_v / 2P,$$

де $P_v = GU^2$; $P = U^2/Z$.

Тоді $\alpha_n = 1/2GZ$. В останніх формулах U — напруга; $G = \omega \epsilon \tan \delta$ — провідність матеріалу світловода; $Z = \sqrt{\mu/\epsilon}$ — хвильовий опір.

Використовуючи умову $v = c/n$ та $c = f\lambda$, отримуємо остаточно [1]:

$$\alpha_n = \pi n \tan \delta / \lambda,$$

де $n = \sqrt{\mu\epsilon}$ — показник заломлення; λ — довжина хвилі; $\tan \delta$ — тангенс кута діелектричних втрат в світловоді.

Виражаючи $\tan \delta$ через комплексний показник заломлення, отримуємо:

$$\alpha_n = \left(\frac{\omega}{v}\right) n_d n_m / (n_d^2 - n_m^2).$$

Якщо коефіцієнт заломлення має дійсне значення $n = n_d$, то $\tan \delta = 0$ і втрати на поглинання відсутні.

Із формули видно, що частотна залежність послаблення в результаті поглинання має лінійний характер при постійних значеннях n .

Розсіювання обумовлене неоднорідністю матеріалу волоконного світловода, розміри яких менші довжини хвилі, та теплової флуктуації показника заломлення.

Втрати на розсіювання, дБ, визначаються формулою [1]:

$$\alpha_r = (8\pi^3 / 3\lambda^4) (n^2 - 1) K T \kappa,$$

де K — постійна Больцмана; T — температура переходу; κ — стисканість; n — показник заломлення.

Таке розсіювання являється релєвським, воно зростає з частотою пропорційно f^2 . Втрати на релєвське розсіювання визначають нижню границю втрат, притаманним волоконним світловодам. Ця границя розрізняється для різних хвиль та з збільшенням довжини хвилі зменшується.

На рис.4 представлені частотні залежності коефіцієнта послаблення волоконного світловода. [1] Із наведених даних видно, що втрати на поглинання зростають лінійно із збільшенням частоти, а втрати на розсіювання — зростають швидше — пропорційно f^2 .

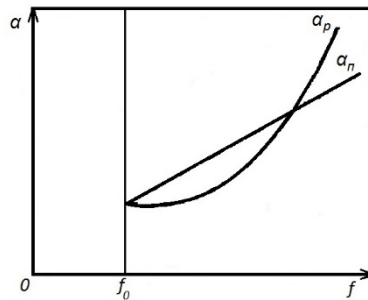


Рис. 4. Частотна залежність послаблення поглинання та послаблення розсіювання

ОПИС ПРИСТРОЮ

Енергозберігаючі освітлювачі, побудовані на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання по ВОК на відстань значно вирішують проблему споживання — працюють взагалі без споживання електроенергії. Такі освітлюючі пристрої використовують тільки сонячне випромінювання.

В основу науково-дослідного зразка поставлено задачу створення освітлювального пристрою, що містить: приймач та розсіювач; збирач та відбивач суміщені з корпусом; пучок оптичних волокон, закріплений у циліндричному виступі корпусу гумовим затискачем та гвинтовим кріпленням; фокусуючу та розсіювальну лінзи, які закріплені на внутрішніх торцях циліндричних виступів корпусу, а приймач та розсіювач встановлені у пази граней корпусу із збирачем та відбивачем.

На рис. 5 схематично зображено запропонований освітлювальний пристрій (у розрізі) [5]:

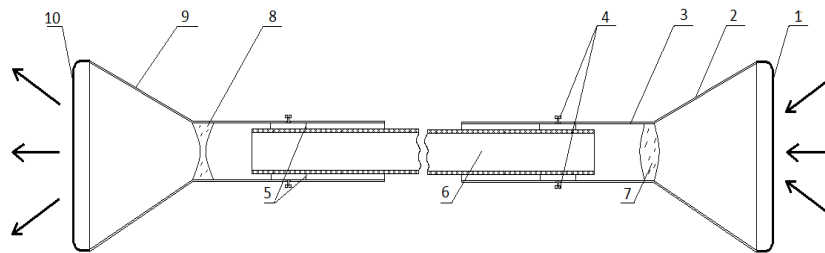


Рис. 5. Освітлювальний пристрій(у розрізі):

1 — приймач; 2 — збирач; 3 — корпус; 4 — гвинтове кріплення; 5 — гумовий затискач; 6 — оптичне волокно; 7 — фокусуюча лінза; 8 — розсіювальна лінза; 9 — відбивач; 10 — розсіювач

Освітлювальний пристрій працює наступним чином. Закріплюють лінзи 7 та 8 на внутрішніх торцях циліндричних виступів корпусу 3, потім встановлюють у пази корпусу приймач 1 та розсіювач 10. Підключають до джерела світла (сконцентроване сонячне випромінювання) вхід пучка оптичного волокна 6, його вихід вводять у циліндричний виступ корпусу 3 відповідного діаметра. Підбирають вручну фокусну відстань лінз 7 і 8 та фіксують гвинтовим кріпленням 4 та гумовим затискачем 5 пучок оптичного волокна 6.

Завдяки використанню приймача 1, збирача 2, фокусуючої лінзи 7 та оптичного волокна 6 досягається дистанційна доставка оптичного випромінювання від джерела світла(світлодіодного або сонячного) до місця призначення, оскільки вихід пучка оптичного волокна 6, встановленого у задню фокальну площину розсіювальної лінзи 8. Це забезпечує розсіювання лінзою 8 оптичного потоку з виходу пучка оптичного волокна 6, який, у свою чергу, відбивається від відбивача 9 на корпусі освітлювального пристрою і далі розсіюється розсіювачем 10, що закріплений у пазах граней корпусу.

Для того, щоб випромінювання в оптичному волокні було каналізованими, тобто поширювалось випробуючи багатократне повне внутрішнє відбиття, воно повинно бути введено через торець волокна під певним кутом. Максимально допустиме значення цього кута визначається виразом [2, 3]:

$$\theta_{\max} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}\right), \quad (1)$$

де n_0 — показник заломлення середовища, з якого надходить випромінювання; n_1 — показник заломлення серцевини оптичного волокна; n_2 — показник заломлення оболонки оптичного волокна.

Введення випромінювання в оптичне волокно під кутом $\theta \leq \theta_{\max}$ забезпечується фокусувальною лінзою. Фокусну відстань лінзи f' можна визначити, скориставшись формулою кутів [4], яка для сферичної лінзи, розташованої у повітрі, набуде вигляду:

$$\tan \theta_{\max} = \tan \theta_0 + \frac{h}{f'}, \quad (2)$$

де θ_0 — максимальний кут, під яким сонячні промені поширюються до оптичної осі лінзи;

h — відстань від оптичної осі лінзи до точки падіння цих променів на заломлювальну поверхню лінзи.

Відстань h можна прийняти рівною половині світлового діаметра лінзи $D_{\text{св}}$. З врахуванням цього з виразу (2) для фокусної відстані лінзи отримаємо:

$$f' = \frac{D_{\text{св}}}{2(\tan \theta_{\max} - \tan \theta_0)}. \quad (3)$$

Якщо оптична вісь лінзи буде спрямована на сонце, то приймаючи, що сонячні промені через віддаленість сонця є паралельними, кут θ_0 падіння променів на лінзу буде дорівнювати нулю. Тоді вираз (3) прийме вигляд:

$$f' = \frac{D_{\text{св}}}{2 \tan \theta_{\max}}. \quad (4)$$

Енергозберігаючі освітлювальні пристрої, створені на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання по волоконно-оптичним кабелям (ВОК) нового типу на відстань без використання електроенергії, зі значним зниженням складності управління, експлуатаційних витрат. Також створені зі значним збільшенням строку експлуатації до 200—300 тисяч годин, значним підвищенням надійності, інформативності і розширенням функціональних можливостей автоматично керувати необхідними світловим потоком, спектром та кутом випромінювання.

Сучасні енергозберігаючі пристрої, побудовані на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання та світлових потоків з надвисокою швидкістю по ВОК на відстань так і енергетичного живлення виконані на рівні найкращих світових зразків з отриманими на них патентів України. Це в свою чергу знайде широке впровадження:

— у освітніх закладах та наукових установах: для офісного, інтер'єрного і локального освітлення з використанням електроенергії від сонячних модулів. А в денний час для освітлення коридорів, ліфтів, підвалів, горищ, затемнених допоміжних приміщень тощо;

— у промисловості та житлово-комунальному господарстві: для освітлення будов, будинків, вулиць, під'їздів, ліфтів тощо. А також для освітлення в денний час доби приміщень, які не мають вікон: підземні гаражі, станції метро, шахти, колодязі каналізацій, підвали будинків та забудов, підземні склади тощо.

— у транспорті: для освітлювачів, побудованих на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання по ВОК на відстань для освітлення тунелів та інших забудов в денний час, де недостатньо освітлення;

— у зв'язку: передача інформації по волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ);

— у медицині, банківських установах тощо.

Надсучасні енергозберігаючі освітлювальні пристрої, побудовані на основі оптичної системи передачі сонячного випромінювання по ВОК на відстань мають наступні характеристики:

— довготривалий строк експлуатації ~ до 20 ÷ 30 років та більше;

— сила світла 20 — 3000 кд та більше;

— світловий потік до 1000 лм та більше;

— висока надійність в широкому діапазоні температур від -40 °C до $+60$ °C;

— безінерційність вмикання/вимикання < 100 нс;

— повний спектр випромінюючого світла (або, якщо потрібно спеціалізований спектр);

— відсутність потреби використання електроенергії від електричних мереж;

— лінзи оптичної системи — фокусувальною та розсіювальною;

— матеріал відведника тепла — алюміній;

— компактність та зручність в установці;

— відсутність небезпечного для здоров'я випромінювань;

— за умовами експлуатації відносяться до приладів, працюючих без нагляду.

ВИСНОВКИ

Створення енергозберігаючих оптоелектронних конкурентоспроможних технологій в Україні, що більш чим на 5—10 порядків (тобто в 50—100 разів) зменшить використання електроенергії зі значним розширенням функціональних можливостей: тобто створення приладів і систем працюючих без використання електроенергії взагалі та без використання електроенергії від електричних мереж.

Економічний ефект від впровадження одного надсучасного освітлювача (освітлювальна спроможність якого відповідає одній світлодіодній лампі потужністю 10 Вт) складає: $100 \div 150$ грн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. И. И. Гроднев, Ю. Т. Ларин, И. И. Теумин Оптические кабели. Конструкции, характеристики, производство и применение. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 176 с., ил.
2. Андрущенко Л. М. и др. Волоконно-оптические линии связи. Справочник. — К. : Тэхника, 1988. — 239 с.
3. Самарин Ю. Н. Принципы построения лазерных выводных устройств // КомпьюАрт, № 5. — 2005. — С. 34—37.
4. Теория оптических систем: Учебник для приборостроительных специальностей вузов / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. Н. Кузичев — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1992. — 448 с.
5. Освітлювальний пристрій : пат. 94278 Україна : МПК (2014.01) F21S 2/00 / Т. Б. Мартинюк, В. П. Кожем'яко, Є. О. Ходяков, А. С. Біляєва. — № у 2014 04768; заявл. 05.05.2014 ; опублік. 10.11.2014, Бюл. № 21. — 4 с.
6. Освітлювальний пристрій : пат. 94487 Україна : МПК (2014.01) F21S 2/00 / В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, Є. О. Ходяков, А. С. Біляєва. — № у 2014 06795; заявл. 16.06.2014 ; опублік. 10.11.2014, Бюл. № 21. — 4 с.

REFERENCES

1. I. I. Grodnev, YU. T. Larin, I. I. Teumin Opticheskiye kabeli. Konstruktsii, kharakteristiki, proizvodstvo i primeneniye. — M. : Energoatomizdat, 1985. — 176 s., il.
2. Andrushchenko L. M. i dr. Volokonno-opticheskiye linii svyazi. Spravochnik. — K. : Tekhnika, 1988. — 239 s.
3. Samarinyu. N. Printsipy postroyeniya lazernykh vyvodnykh ustroystv // Komp'yuart, № 5. — 2005. — s. 34—37.
4. Teoriya opticheskikh sistem: Uchebnik dlya priborostroitel'nykh spetsial'nostey vuzov / N. P. Zakaznov, S. I. Kiryushin, V. N. Kuzichev — 3-ye izd., pererab. i dop. — M. : Mashinostroyeniye, 1992. — 448 s.
5. Osvitlyval'niy pristriy : pat. 94278 Ukraïna : MPK (2014.01) F21S 2/00 / T. B. Martinyuk, V. P. Kozhem'yako, Ê. O. Khodyakov, A. S. Bilyaeva. — № u 2014 04768; zayavl. 05.05.2014 ; opublik. 10.11.2014, Byul. № 21. — 4s.
6. Osvitlyval'niy pristriy : pat. 94487 Ukraïna : MPK (2014.01) F21S 2/00 / V. P. Kozhem'yako, T. B. Martinyuk, Ê. O. Khodyakov, A. S. Bilyaeva. — № u 2014 06795; zayavl. 16.06.2014 ; opublik. 10.11.2014, Byul. №21. — 4s.

Надійшла до редакції 30.11.2016 р.

КОЖЕМ'ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ХОДЯКОВ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ — провідний інженер кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, E-mail: kafedra_lot@ukr.net

КУЗІН ОЛЕГ ОЛЕГОВИЧ — студент четвертого курсу бакалаврату, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, E-mail: kuzin.oleg19@gmail.com