

ЗАСТОСУВАННЯ ОВАЛІВ КАССІНІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЦІЛОДОВОБОЇ СВІТЛОВОЇ ПРИМІТНОСТІ ЗЛЬОТНО-ПОСАДОЧНОЇ СМУГИ

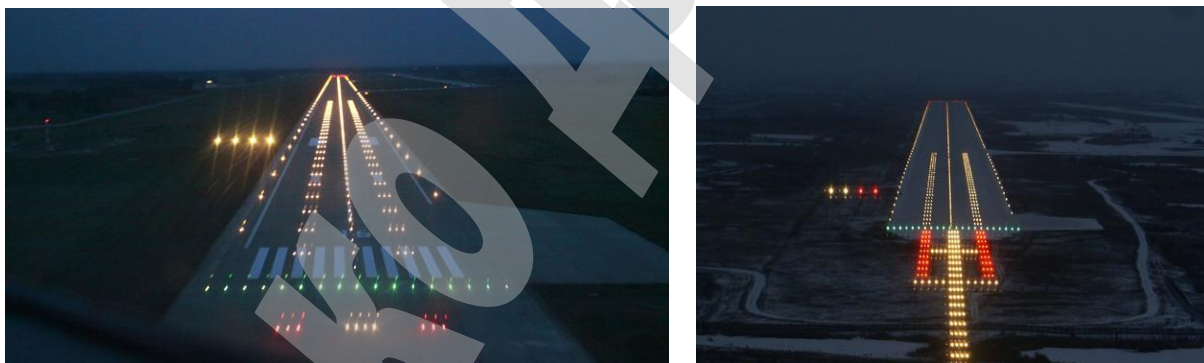
Мельник В. М., Шибецький В. Ю.

1. Вступ

В залежності від класу літаків, які обслуговуються, злітно-посадочні смуги (ЗПС) можуть бути ґрунтові або зі штучним покриттям (бетонне, асфальтове, металеве тощо). ЗПС, як правило, обладнуються денними і нічним орієнтирами, сигнальними і обмежувальними вогнями (світлосигнальною системою аеродрому, або місця мобільного базування). Вони також можуть бути обладнаними аеродромними аварійними гальмуючими пристроями (рис. 1).

Згідно до сертифікаційних вимог цивільних аеродромів України, дозволяється, в окремих випадках, не обладнувати ЗПС спеціальним устаткуванням зльотно-посадочного рівня. В той же час, аеродроми можуть бути забезпечені відповідним устаткуванням для літальних апаратів, які виконують захід на посадку за допомогою приладів – безпілотні літальні апарати, малогабаритними середнього і важкого класу, особливо для літальних апаратів з вертикальним стартом [1, 2].

Особливі відмітні властивості характерні для ЗПС гіперзвукових літальних апаратів з прямоточними повітряно-реактивними двигунами, в першу чергу, в мобільному зльотно-посадочному виконанні.



а

б

Рис. 1. Зльотно-посадочні смуги:

а – зльотно-посадочний майданчик; б – зльотно-сигнальна система аеродрому

Зльотно-посадочні смуги можуть принципово відрізнятися, як за своєю площею, наприклад, від 300 м завдовжки та 10 м в ширину, до значної протяжності – майже 6 км у довжину і 80 м ширини («Гавіан-Пейшоту», Бразилія), так і за матеріально-технічним обслуговуванням. Невеликі ЗПС використовують для легкої і надлегкої авіації. Так, наприклад, для маломоторної авіації, мотодельтапланів тощо досить 100 м розбігу у момент

зльоту та стільки-ж під час приземлення. Найбільші за розмірами ЗПС будують у великих міжнародних аеропортах і на авіазаводах [3].

Тому актуальним є дослідження ефективності і безперебійності засобів сигнальних вогнів аеродромів та систем мобільного базування літальних апаратів, незалежно від метеорологічних умов та часу доби.

2. Об'єкт досліджень та його технологічний аудит

Об'єктом досліджень слугує процес забезпечення цілодобової відповідності виконання технічних характеристик освітлення зльотно-посадочної смуги аеродинамічних технологій. Пояснюється наявність виникнення, за цих умов, дифузного за структурою процесу тепловіддачі робочого тіла та світлового випромінювання. Підкреслюється, що за цих умов, зникає небезпека порушення цілості і робочої якості тіла розжарювання засобів сигнальних вогнів. Зазначається, що використання овалів Кассіні дозволяє суттєво зменшити рівень випарювання вольфраму робочого тіла, убезпечити потоншення матеріалу нитки розжарювання з послідуєчим її руйнуванням і передчасним виходом з ладу електричної лампочки в цілому.

Певною вадою пропонуємого технічного рішення постає складність виготовлення і достатньо велика матеріалоемність вольфрамового тіла розжарювання і подальший контроль відповідності тіла розжарювання вимогам овалів Кассіні.

3. Мета та задачі досліджень

За мету досліджень обрано процес створення дифузного за структурою цілодобового освітлення зльотно-посадочної смуги аеродинамічних технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Зменшити технологічну складність виготовлення тіла розжарювання.
2. Підвищити технологічну здатність лампи розжарювання за весь термін використання.
3. Підтримання рівня вихідних фізико-механічних характеристик лампи розжарювання протягом всього терміну експлуатації.
4. Здійснити побудову математичної моделі і аналізу вивчаємих явищ.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Для безпечного режиму зльоту літального апарату, або його приземлення на зльотно-посадочну смугу в нічний час, або передвечірній час, а також за умов недостатньої видимості, використовується світлосигнальне обладнання.

До основних типів світло-сигнального обладнання (ССО) можна віднести: вогні малої інтенсивності (ВМІ) та вогні високої інтенсивності (ВВІ) [4].

Вогні високої інтенсивності на ЗПС являють собою світлову смугу білого кольору – строби – довжиною 500–700 м. При заході на посадку пілот користується стробами для візуального контролю положення фюзеляжу відносно поздовжньої осі ЗПС. Поріг (торець) ЗПС позначений практично суцільною лінією зелених вогнів, розташованої перпендикулярно смугі стробів.

Осьова лінія ЗПС також позначена білими вогнями. Краї ЗПС відокремлені жовтим кольором. Світлосигнальне обладнання аеродрому поділяються на групи вогнів, які розташовуються в певній послідовності, а також легкосприйнятні при появі наявного контакту пілота із землею.

Застосовуються наступні групи сигнальних вогнів [5]:

- вогні наближення сталого та імпульсного випромінювання;
- вогні світлових горизонтів;
- вхідні вогні;
- вогні місця приземлення;
- обмежуючі вогні;
- вогні зони приземлення;
- бічні вогні та вогні зони приземлення;
- глісадні вогні;
- посадочні вогні;
- вогні кінцевої смуги гальмування;
- осьові вогні;
- вогні швидкого підйому;
- бічні та осьові рульовні вогні;
- стоп-вогні;
- попереджувальні вогні;
- обмежувальні вогні;
- аеродромні світлові покажчики.

Система посадочних вогнів, приймаючи до уваги особливості мобільного базування літальних апаратів, в основному, призначена для виконання тих же самих особливостей приземлення, що і на аеродромах. Додатковим є те, на відміну від ґрунтових, що вона повинна ще враховувати особливості динаміки і кінематики мобільних засобів посадки.

Так, до речі, палубна авіація (тактична і стратегічного призначення) повинна базуватися і злітати з шкафуту авіаносця в будь-який час доби і за будь-якої метеорологічної ситуації. Ця особливість значно ускладнює як процес швартовий, так і палубного старту (рис. 2) [6].



а



б

Рис. 2. Палубна авіація:

а – палубний старт літального апарату із зльотно-посадочної смуги мобільного базування; *б* – зльотно-посадочна смуга мобільного базування

Вогні зони приземлення слугують для позначення місця приземлення на ЗПС з метою полегшення посадки за несприятливих метеорологічних умов та видимості. Вогні встановлюються в два ряди паралельно осі ЗПС на ділянці 900 м від порога ЗПС. Вони випромінюють біле світло. Безперебійну роботу вогнів приземлення забезпечують аеродромні лампи розжарювання [7].

Лампа розжарювання складається зі скляної колби, вольфрамового тіла розжарювання і цоколя. За формою колби, аеродромні лампи розжарювання бувають каплеподібні, грушеподібні, кульові, кільцеподібні і циліндричні. Цоколі ламп розжарювання застосовують різьбові і штифтові.

Вольфрамове тіло розжарювання в лампах розжарювання виготовляють з вольфрамового дроту у формі витої спіралі [8]. З метою зменшення додаткових теплових втрат іноді використовують подвійну спіраль, яку називають біспіраллю. При протіканні струму спіраль нагрівається та, досягаючи визначеної Паспортом температури, випромінює ззовні світлову енергію. Чим вище температура вольфрамового тіла розжарювання, тим більш потужний світловий потік вона випромінює. Під впливом високої температури вольфрамове тіло розжарювання з часом випаровується [9, 10].

Розжарені до високої температури частинки вольфраму повільно осідають на внутрішню поверхню скляної колби лампи розжарювання і вкривають її темним шаром, а вольфрамове тіло розжарювання, відповідно, тоншає і з часом згорає. Для зменшення рівня випаровування вольфрамового тіла розжарювання скляну колбу наповнюють інертним газом – сумішшю 86 % -го аргону і 14 %-го азоту. Але за цих умов неминуче підвищуються і теплові втрати, зумовлені наявною теплопровідністю і конвекцією газової суміші лампи [11, 12]. З цієї причини, інертним газом наповнюють, як правило, відносно потужні лампи, в той же час, освітлювальні лампи розжарювання потужністю 15, 25 і 50 Вт для напруги 110–127 В і 25, 40 і 60 Вт для напруги 220 В виготовляють вакуумними скляними балонами.

Лампи розжарювання, які розраховані на велику потужність або на невелику напругу, виготовляються з більшим діаметром вольфрамового тіла розжарювання, ніж джерела світла меншої потужності або підвищеної напруги. З цієї причини, вони забезпечують проходження більшого струму і мають більш високу температуру розжарювання і підвищену світловіддачу. Виходячи з цього, лампи розжарювання для посадкових прожекторів і світломаяків виготовляють для зниженої напруги [13].

При горінні лампи, випаровування вольфраму і потоншення нитки розжарювання призводять до збільшення опору лампи, зменшення струму і світловіддачі лампи. Термін служби лампи безпосередньо пов'язаний зі світловіддачею – чим світловіддача більше, тим вище температура нитки розжарювання і тим швидше випаровується вольфрам [14].

В аеродромних установках з відбивною і лінзовою оптикою, в яких доцільно використовувати лампи з тілом розжарювання більшої яскравості, вирішального значення набуває світлова віддача, навіть на шкоду терміну служби лампи. У загороджувальних вогнях, де часта зміна ламп затрудняється, необхідно мати великий термін служби лампи, навіть не на користь світловій віддачі.

Прожекторні лампи розжарювання мають невеликі розміри тіла розжарювання, але, в той же час, велику габаритну яскравість. Їх характеристики світлорозподілу виготовлені таким чином, аби більша частина світлового потоку лампи падала на відбивач. Для досягнення малих кутів розсіювання у вертикальній площині і великого кута розсіювання в горизонтальній площині застосовують лампи з вольфрамовим тілом розжарювання, розташованих поперек поздовжньої осі лампи. Лампи розжарювання з вертикальним вольфрамовим тілом розжарення застосовують у вогнях з великим кутом охоплення. Однією з різновидів ламп розжарювання є галогенні лампи, які знайшли широке застосування у вогнях поглибленого типу світлотехнічних систем посадки, а також у вогнях освітлення місць стоянки літаків.

Усі вогні зони приземлення в більшій чи меншій мірі вносять свою частку в безпеку аеродромних технологій. Зосередимо свою увагу на одній з найбільш важливих наземних систем сигнальних вогнів – вогнях зони приземлення.

Вогні зони приземлення встановлюються на відстані 900 ± 30 м, на початку порогу ЗПС, за схемою, яка утворюється парами лінійних вогнів, розташованих попарно симетрично осьової лінії зльотно-посадочної смуги (ЗПС). Поперечна відстань між внутрішніми вогнями пари лінійних вогнів дорівнює поперечній відстані, обраній для маркувальних знаків зони приземлення. В поздовжньому напрямку лінійні вогні являють собою дискретно-неперервні симетричні відносно поздовжньої осі ЗПС лінійні вогні і утворюють свого роду безпечний коридор для приземлення літака. Відстань між лінійними вогнями дорівнює $1/2$ інтервалу між бічними вогнями ЗПС (не більше 30 м), або дорівнює інтервалу між бічними вогнями ЗПС (не більше 60 м) [15].

Лінійні вогні зони приземлення мають ті суттєві вади, які за певних умов, здатні навіть слугувати причиною порушення технології посадки. Мова йдеться про вплив деяких шкідливих чинників, з яких найбільш суттєвим постає чинник забезпечення постійної насиченої світлової ситуації за будь-яких метеорологічних умов, а також протягом доби. Проте, тіло розжарювання не забезпечує дотримання вимог безперебійної роботи лампи розжарювання.

Радикальним виходом з небажаної ситуації слугує використання для лінійних вогнів зони приземлення ламп розжарювання з робочим органом у вигляді овалу Кассіні, який забезпечить більш надійну і довговічну роботу головного елемента – тіла розжарювання. А крім того, сформує в пристроях лінійних вогнів зони приземлення рівномірне освітлення, як наслідок наявної дифузної структури теплового і світлового випромінювання овалів Кассіні.

5. Методи дослідження

Технічний результат від використання лампи розжарювання загального призначення «Кассіні» забезпечується тим, що вольфрамове тіло розжарювання виконане у формі «вісімки» струмопровідного «овалу Кассіні». Це забезпечує незмінною величиною добутку відстані довільної точки М «овалу Кассіні» до двох фокусів f_1 та f_2 . З'єднавши фокуси f_1 та f_2 прямою лінією, отримуємо в площині «овалу Кассіні» трикутник $f_1 M f_2$. Умовою незмінної величини

добутку прямих f_1M та f_2M можна надалі трактувати, як вимогу незмінної величини трикутника f_1Mf_2 в площині «овалу Кассіні». Якщо таке уявлення аналізу явища повторити для всіх точок «овалу Кассіні» отримаємо нескінченну кількість таких трикутників, площини котрих між собою дорівнюють одна одній. Розігрітий вольфрамовий струмопровідний «овал Кассіні» випромінює у всіх напрямках навколишнього простору дифузні за структурою теплові і світлові потоки. Наведені світлові трикутники в площині «овалу Кассіні», у своїй сукупності, окреслять мозаїку випромінюючих елементів однакової яскравості і створять таким чином суцільне випромінююче яреке світло у вигляді овальної пластини.

Запропонована у роботі лампа розжарювання загального призначення «Кассіні» належить до джерел світла, які працюють за принципом температурного випромінення, і містить:

- скляну колбу 1 (рис. 3);
- вольфрамове тіло розжарювання у формі струмопровідного «овалу Кассіні» 2 (рис. 3, рис. 4);
- молібденові гачки 3;
- електроди 4;
- скляний стержень (штабик) 5;
- лінзу 6;
- порожнистий скляний циліндр 7;
- лопатку 8 – верхня частина циліндру, в якій з'єднані штабик 5, електроди 4 і відкачна трубка (штенгель) 9;
- отвір в лопатці 10, через який здійснюється відкачка лампи;
- металевий стакан цоколя 11, до якого припаяний один з електродів 4;
- латунну контактну шайбу 12, до якої припаяний другий електрод 4;
- скломасу 13, яка скріплює латунну контактну шайбу 12 із стаканом цоколя 11;
- мастику 14, за допомогою якої цоколь 11 з'єднується із колбою 1 лампи (рис. 3).

Вольфрамове тіло розжарювання виконане у формі «вісімки» струмопровідного «овалу Кассіні» (рис. 5).

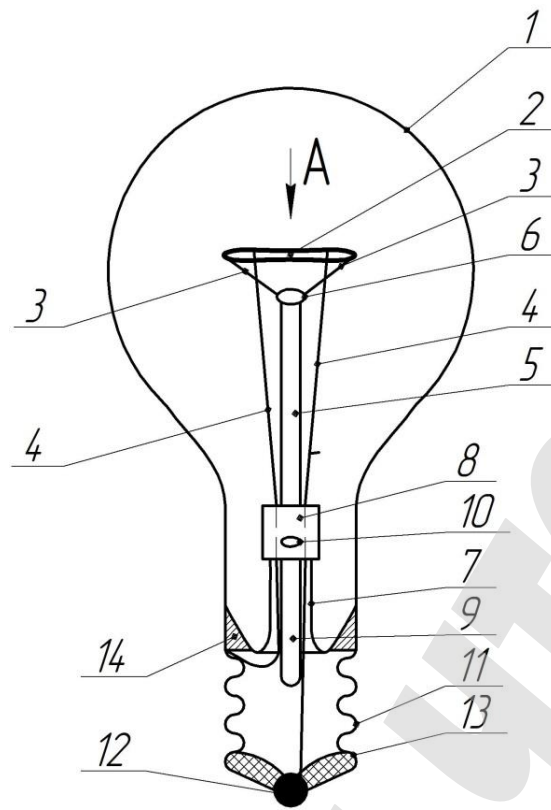


Рис. 3. Лампа розжарювання загального призначення «Кассіні» в поперечному перерізі з тілом розжарювання у формі вольфрамового струмопровідного «овалу Кассіні»

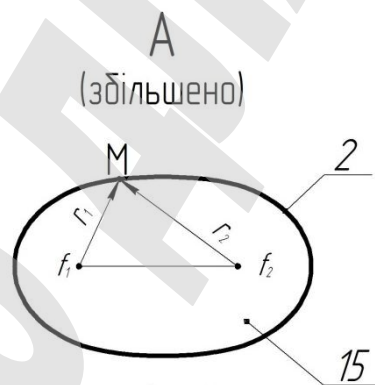


Рис. 4. Вольфрамове тіло розжарювання у формі струмопровідного «овалу Кассіні» (збільшено)

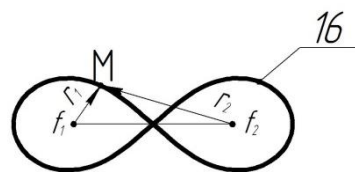


Рис. 5. Головний елемент у формі «вісімки» овалу Кассіні

Робота пропонуємої лампи розжарювання загального призначення «Кассіні» здійснюється наступним чином. Лампа розжарювання загального призначення –

джерело світла, яке випромінює світловий потік в результаті напруження провідника з тугоплавкого металу. Тілом розжарювання слугує «овал Кассіні», виконаний з тугоплавкого металу – вольфраму. У скляній колбі 1, наповненій інертним газом (криптоном, азотом, аргоном), розміщується тіло розжарювання 2. Інертний газ слугує дієвим захистом матеріалу тіла розжарювання 2. За відсутності інертного газу в колбі 1 тіло розжарювання 2 миттєво перетворюється в оксид. Для ламп розжарювання малої потужності (25 Вт) і менше застосовують вакуумні посудини, які не мають потреби заповнення інертним газом. Таким чином, скляна колба 1 перешкоджає руйнівному впливу навколишньої атмосфери на поверхню вольфрамового тіла розжарювання 2.

Як відомо, принцип дії лампи розжарювання загального призначення заснований на явищі нагрівання струмопровідного елемента при проходженні через нього електричного струму. Вольфрамове тіло розжарювання 2 при проходженні електричного струму нагрівається до високої температури, в наслідок чого випромінює світло. Світловий потік, який випромінюється тілом розжарювання 2, ззовні близький до природного, денного світла, тому не викликає дискомфорту при тривалому використанні. Тільки невелика частка споживаної з електромережі енергії перетворюється лампою розжарювання в видиме світло, основна частка енергії якої витрачається на нагрів тіла розжарювання 2 і випромінювання ним світла в невидимому для людського ока спектрі. З метою підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) лампи розжарювання слід підвищувати температуру тіла розжарювання 2, але не більше ніж температура плавлення матеріалу тіла розжарення 2. Температура плавлення, яка застосовуються в лампах розжарювання матеріалів дорівнює:

- вольфрам – 3410 °С;
- осмій – 3045 °С.

Експлуатаційна температура вольфрамового тіла розжарювання знаходиться, зазвичай, в межах 2700–3000 К. Максимальний ККД лампи розжарювання становить приблизно 15 % і досягається при температурі вольфрамової спіральної нитки – 3400 К, при номінальній температурі вольфрамової спіральної нитки дорівнює 2700 К, тобто 4–5 %. При підвищенні температури ККД зростає, в той же час, довговічність матеріалу спіралі – зменшується. Так, при температурі в 2700 К термін служби лампи розжарювання становить близько 1000 годин, а при температурі 3400 К – лише декілька годин.

У внутрішньому просторі 15 тіла розжарювання 2 у формі «овалу Кассіні» формується ще певна кількість «овалів Кассіні», які теж відповідають умовам існування «овалу Кассіні». Вони становлять собою геометричне місце точок у внутрішньому просторі вихідного «овалу Кассіні», добуток відстані яких до фокусів f_1 та f_2 однаковий і не змінюється за величиною для всіх точок «овалів Кассіні». Примітним постає той факт, що вихідний «овал Кассіні» має тенденцію розвиватися у внутрішньому просторі тіла розжарювання 2. Йдеться про виникнення і подальше збільшення западини середніх точок двох більших сторін «вісімок» овалів Кассіні у бік середини лінії f_1 та f_2 з'єднання фокусів

(рис. 5). Отримуємо лінії «овалів Кассіні» 16, які стикаються з лінією фокусів f_1 та f_2 . В той же час, залишається незмінно-присутньою головна властивість вихідного «овалу Кассіні», а саме, постійних за величиною і незмінних відносно вихідних значень добутків відстаней усіх точок геометричного місця малих «овалів Кассіні» до фокусів f_1 та f_2 [16]. Стала величина площ ліній поєднання геометричних місць точок «овалів Кассіні» буде слугувати додатковим фактором сталого освітлення внутрішнього простору «овалу Кассіні» тіла розжарювання 2 в цілому, подібно до потужного променя світла.

6. Результати досліджень

Для отримання графіків овалів Кассіні було побудовано програму з використанням прикладного програмного забезпечення РТС Mathcad Prime 4.0 (рис. 6). Для отримання зображення овалів Кассіні в масштабі (рис. 7) були задані в явному вигляді функції між координатами y і x для «додатного» і «від'ємного» значень. Відстань між фокусами обрано величиною у 10 см (рис. 7), а значення параметру «а» становить 0,8; 1; 1,2; 1,4 від половини відстані між фокусами.

Відстань між фокусами $2c$, розташовані вони на осі OX , початок координат ділить відрізок між ними навпіл, то наступне рівняння задасть лемніскату. В прямокутних координатах формула має вигляд:

$$(x^2 + y^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2) = a^4 - c^4.$$

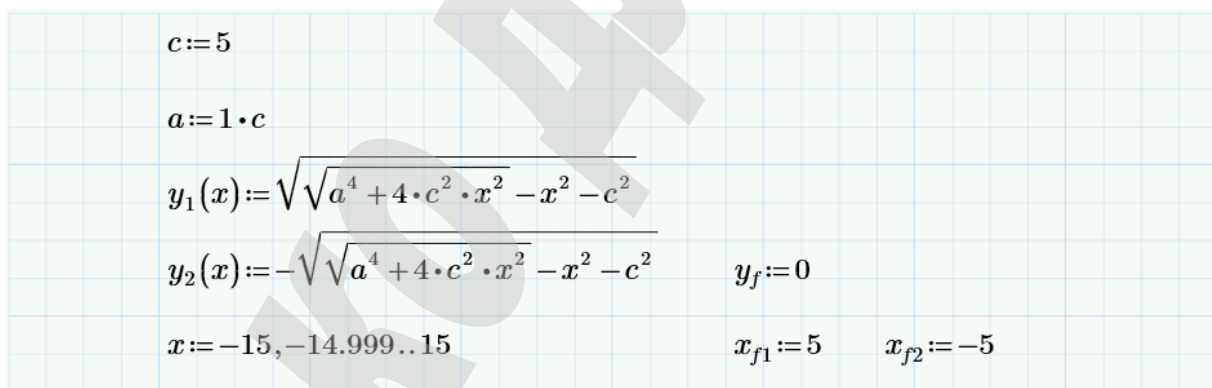
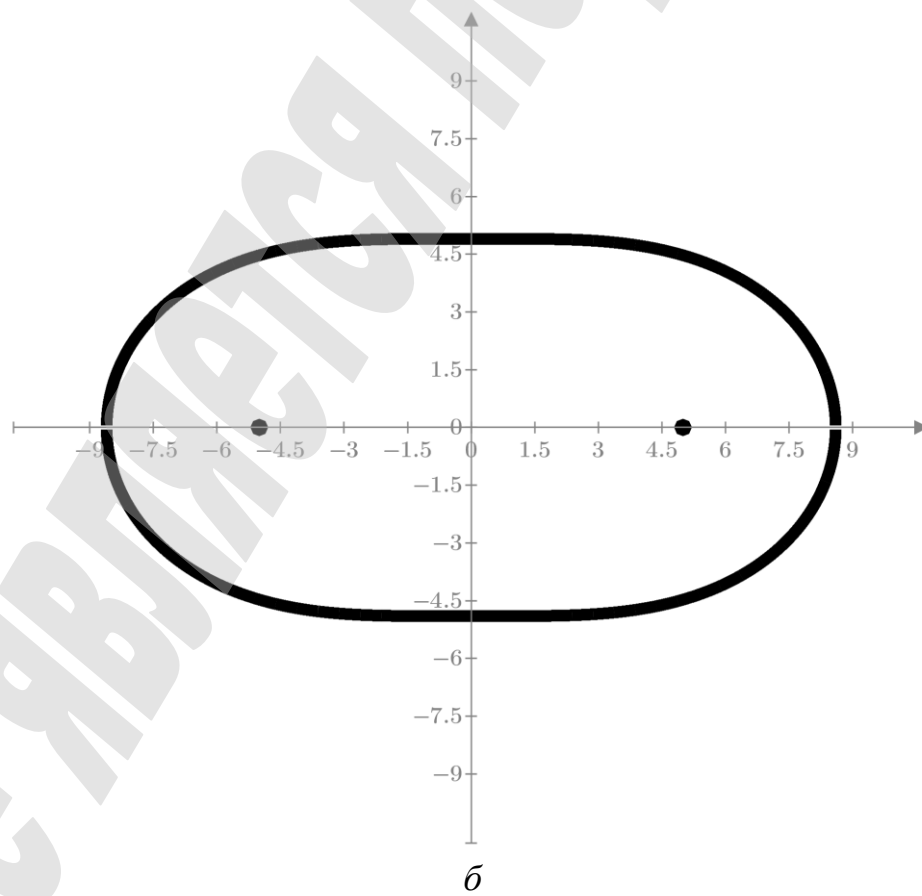
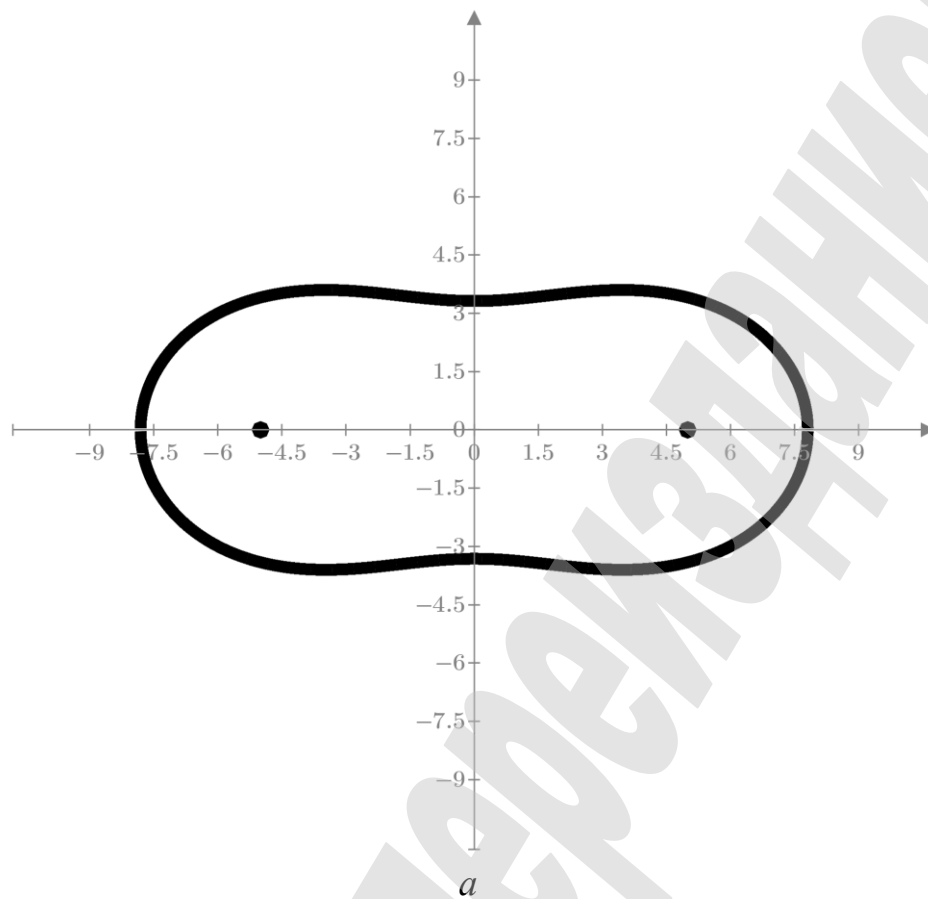


Рис. 6. Лізінг програми



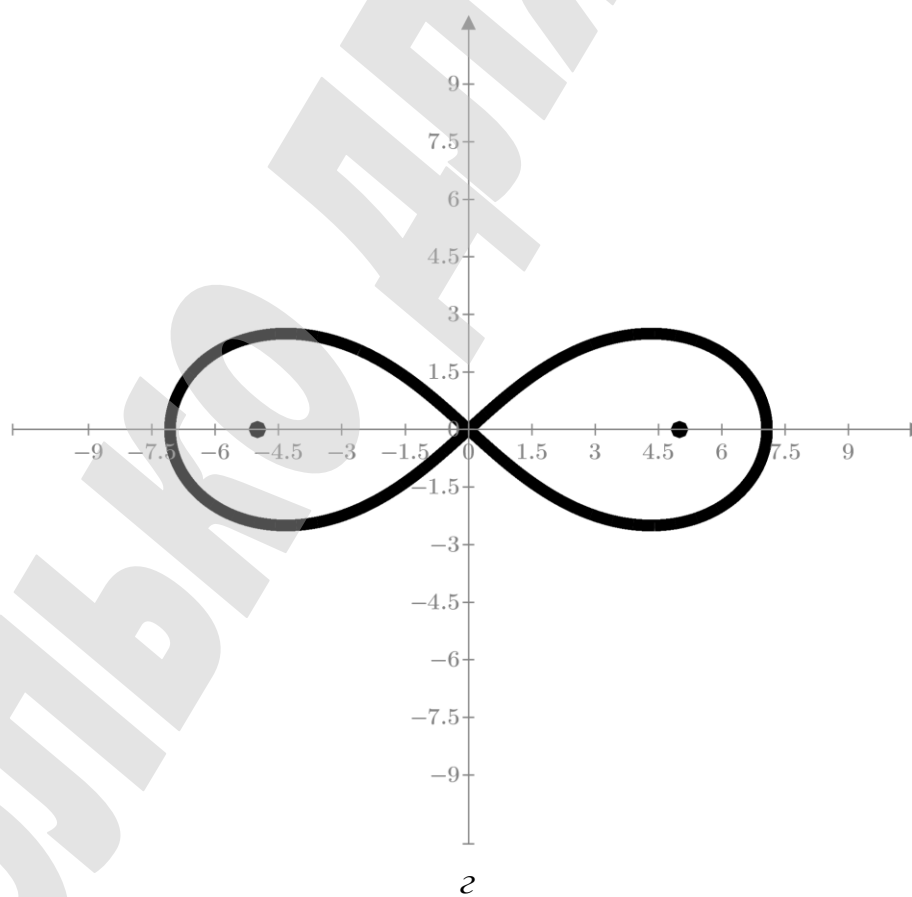
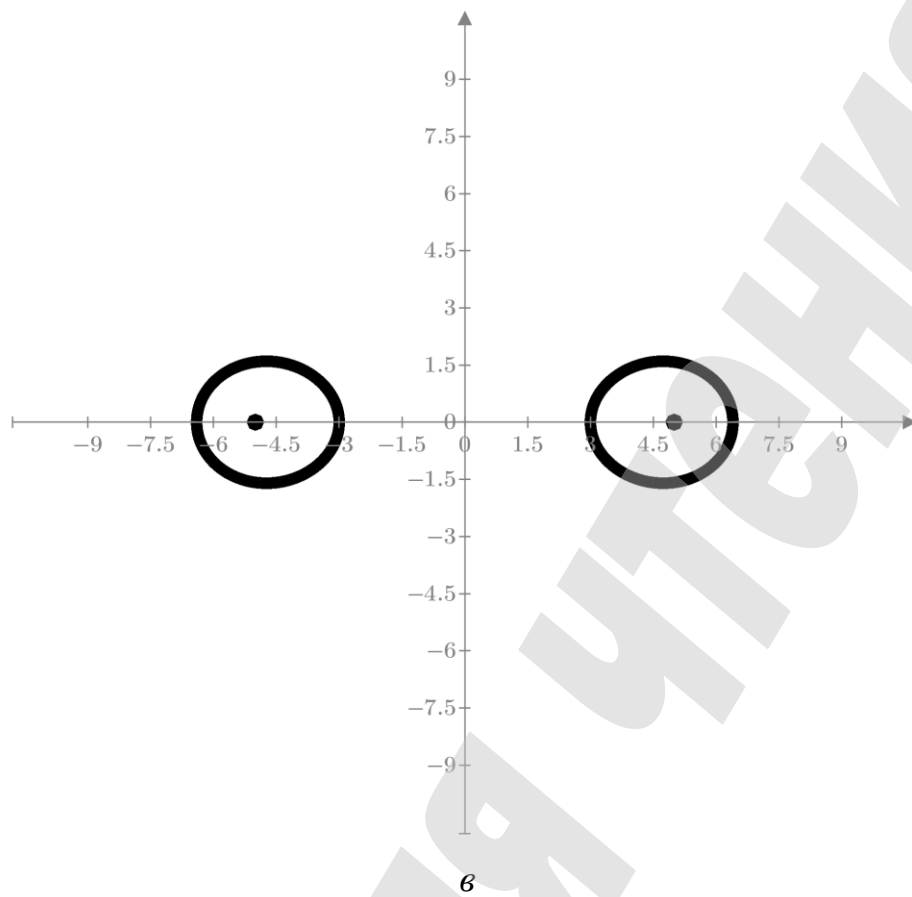


Рис. 6. Графіки овалів Кассіні: a – параметр $a=1,2$ с; b – параметр $a=1,4$ с;
 v – параметр $a=0,8$ с; z – параметр $a=1$ с, овал Кассіні у вигляді «вісімки»

Для лампи розжарювання пропонується обрати графік овалу Кассіні, який має вигляд «вісімки». Приватним випадком овалів Кассіні є лемніската Бернуллі, яка також дає геометричне місце у вигляді «вісімки» та має назву «квітка Бернуллі» – добуток відстаней від яких до двох заданих точок (фокусів) незмінна і дорівнює квадрату половини відстані між фокусами. Овали Кассіні у вигляді «вісімки» забезпечать цілісність робочого тіла розжарювання і вихідну геометрію «вісімки» овалу Кассіні. За цих умов створюється цілодобово дифузна структура процесу тепловіддачі робочого тіла з наступним дифузним світловим випромінюванням. Суттєво зменшується рівень випарювання вольфраму робочого тіла, убезпечується потоншення матеріалу нитки розжарювання з послідуочим її руйнуванням і передчасним виходом з ладу електричної лампочки в цілому.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Оригінальним рішенням запропонованої технічної реалізації постає виконання робочого органу лампи розжарювання у вигляді струмопровідних овалів Кассіні, виконаних, зокрема, з вольфрамового матеріалу у вигляді «вісімки». Таке рішення дозволяє, перш за все, одержати виграш у довжині тіла розжарювання уздовж корпусу сигнальної лампи, набагато перевищуючу прийняту у класичних лампах розжарювання вольфрамової спіралі чи біспіралі, по-перше. По друге, більша маса і протяжність тіла розжарювання створюють більш потужне світлове сяйво, з одного боку, з іншого – значно збільшують термін робочого стану тіла розжарювання і вирішально зменшить рівень випарювання вольфраму.

Weaknesses. Значна протяжність «вольфрамової вісімки» тіла розжарювання породжує зміну геометрії тіла розжарювання і небажані прогини між точками кріплення.

Opportunities. Можна використовувати в якості перехідної кривої на заокругленні малого радіусу, на залізничних лініях в гірській місцевості і на трамвайних коліях. Таким чином, «вісімка» забезпечує плавність заокруглення, без якої відцентрова сила, що діє на поїзд, зростала б різко, доставляючи незручність пасажиром. Також в області фізики можна вказати, що лінія поля, створеного двома паралельними струмами, поточними по нескінченно довгим провідникам в площині, до них перпендикулярної, є овалом Кассіні в вигляді «вісімки». Завдяки запропонованим у роботі рішенням можна збільшити якість та термін використання в сигнальних світлових засобах аеродромів.

Використання пропонованої лампи розжарювання загального призначення у формі «вісімки» овалів Кассіні дозволить використовувати лампи на зльотно-посадочних смугах аеродромів, в тому числі на зльотно-посадочних смугах мобільного базування, цілодобово, за будь-яких метеорологічних умов для більш безпечного зльоту або приземлення.

Threats. Додаткові витрати будуть пов'язані з необхідністю жорсткого контролю стану поверхні тіла розжарювання та окалини, які збираються на поверхні скла лампи розжарювання та будуть постійно потребувати очищення.

Певні складності виникнуть при необхідності заміни тіла розжарювання через його значні масо-габаритні характеристики.

8. Висновки

1. Показано, що технологія виготовлення тіла розжарювання у формі спіралі або біспіралі досить складна. А з іншого боку, також і не надійна, і обмежує можливості коригування ефективності її дії в плані формування однорідного за структурою світлового випромінювання. Запропонована технологія виготовлення тіла розжарювання у формі овалу Кассіні надає можливість формування дифузного за структурою теплового випромінювання тіла розжарювання з наступним створенням світлового випромінювання, також дифузного за структурою. Це досягається виконанням тіла розжарювання у формі овалів, які відповідають вихідним вимогам незмінного добутку відстаней точок овалів до двох фіксованих точок, фокусів.

2. Використання вольфрамового тіла розжарювання у формі «вісімки» овалів Кассіні забезпечить мінімально-допустимий технологічний рівень випарювання вольфраму та утворення окалини

3. Розігрітий вольфрамовий струмопровідний «овал Кассіні» буде випромінювати у всіх напрямках навколишнього простору дифузні за структурою теплові і світлові потоки. Утворені світлові трикутники в площині «овалу Кассіні», у своїй сукупності, окреслять мозаїку випромінюючих елементів однакової яскравості. Таким чином створюється суцільне випромінююче яскраве світло у вигляді овальної пластини, що, в свою чергу, забезпечить вихідні фізико-механічні характеристики лампи розжарювання.

4. Математичне моделювання показало, що додатково отримано, окрім «вісімки», ще дві форми овалів Кассіні. Зокрема, деформований всередині вихідний овал Кассіні, а також випадок розпадання вихідного овалу Кассіні на два автономних овали навколо фокусів. Овали Кассіні у вигляді «вісімки» забезпечать цілісність робочого тіла розжарювання і вихідну геометрію «вісімки» овалу Кассіні лампи розжарювання та дотримання добутку відстаней між фокусами незмінними.

Література

1. Антонов, О. К. та ін.; Бажан, М. П. (ред.) (1985). Т. 4: Електрод – Кантаридин. *Українська радянська енциклопедія: в 12-ти томах*. 2-ге вид. Київ: Головна редакція УРЕ, 558.

2. В Запорожском аэропорту заменяют светосигнальную систему за 62 миллиона. Available at: <https://ipne.ws/news/zp/v-zaporozhskom-aeroportu-zamenyat-svetosignalnuyu-sistemu-za-62-milliona/>

3. Злітно-посадкова смуга. *Вікіпедія*. Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Злітно-посадкова_смуга

4. Глушков, Г. И. и др. (1992). *Изыскание и проектирование аэродромов*. Москва: Транспорт, 463.

5. Взлётно-посадочная полоса. Светосигнальное оборудование. *Вікіпедія*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B7%D0%BB%D1%91%D1%82%D0%BD%>

D0%BE-%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%B0

6. Акимов, О. О., Олійник, Р. М., Пилипчик, С. В., Габ'єва, Т. В., Сидько, І. П. (2018). Нове світло-технічне обладнання для аеродромів. *Збірник тез доповідей XVIII науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 06–07 вересня 2018 року, Чернігів*, 38.

7. Милашкина, О. В. (2014). *Электросветотехническое оборудование аэродромов*. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 117.

8. Ульмишек, Л. Г. (1958). *Производство электрических ламп накаливания*. Москва-Ленинград: Энергия, 274.

9. Полищук, Д. Д., Полищук, Д. Я. (15.06.1983). *Электрическая лампа накаливания: Патент SU 1023451 A*. Available at: <http://patents.su/3-1023451-ehlektricheskaya-lampa-nakalivaniya.html>

10. Uschkamp, G., Meseberg, H. (1995). Zusammenhand Zwischen dem Niveau der Suabehbelcuchtung und dem Verkchrsunfallgeschehen. *Licht*, 47, 7–8.

11. Абрамян, А. А., Саркисян, А. А., Радько, А. В. (23.02.1992). Трубочатая галогенная лампа накаливания с произвольным положением горения: А.с. № 1714721, МПК: Н01К 1/28. Заявитель: Ереванский электроламповый завод. Заявка 4653635, 22.02.1989, Бюл. № 7.

12. Радько, А. В., Саркисян, А. А., Мартиросян, Е. А. (15.02.1990). Лампа накаливания: А.с. № 1543475 МПК: Н01К 1/16. Заявитель: Ереванский электроламповый завод. Заявка № 4456919, 12.05.1988, Бюл. № 2.

13. Слушков, А. М., Смирнов, Н. Н., Пухин, Н. П. (20.08.1995). *Способ изготовления лампы накаливания: Патент SU 1834586 A1*. Available at: <http://patents.su/3-1834586-sposob-izgotovleniya-lampy-nakalivaniya.html>

14. Вугман, С. М., Волков, В. И. (1980). *Гологенные лампы накаливания*. Москва: Энергия, 136.

15. Прохоров, А. М. (ред.) (1982). *Советский энциклопедический словарь*. 2-е изд. Москва: Советская энциклопедия, 1600.

16. Korobiichuk, I., Mel'nick, V., Karachun, V. (2019). Modeling of voltaic pile surface formation using current-carrying cassini ovals. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (1), 353–358. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.08.004>