

Дзікевич А. В., магістр, наукові керівники:

Олейнікова І. В., к.ф.-м.н., доц., Струмінська Т. В., к.т.н., доц.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВИХ ЕФЕКТІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЛЮМІНОФОРНИМ ПОКРИТТЯМ

Анотація. У статті розглянуті питання, пов'язані зі світловими ефектами для об'єктів із люмінофорним покриттям. Визначено принцип роботи та характерні особливості світлових компонентів. Виявлено приклади вдалого застосування покриттів, що світяться в дизайні об'єктів. Проведено дослідження з люмінофорними елементами. Наведено опис проведених досліджень та проаналізовано їхні результати для використання тими, хто зацікавлений у даному матеріалі.

Ключові слова: люмінофор; нетрадиційні світлові джерела; додаткове освітлення; світловий дизайн.

Dzikevych A. V., scientific supervisor: Oleinikova I. V., Struminska T. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF LIGHTING EFFECTS FOR OBJECTS WITH LUMINOPHORE COATING

Abstract. The article deals with issues related to the lighting effects of luminophore-coated objects. The principle of work and the characteristic features of the light components are defined. The examples of successful applications of luminous coatings in the design of objects are revealed. The research with luminophores has been carried out. The results of the research undertaken are described and analysed for use by those interested in this material.

Keywords: luminophore; non-traditional light sources; additional lighting; lighting design.

Вступ. Технології, нові матеріали та потенційні можливості застосування цих матеріалів ніколи не залишаються статичними й постійно розвиваються та вдосконалюються. Відхід від основ або від того, на чому базуються всі останні інновації та технології, ось що робить сьогодні розвиток багатьох нових можливостей, методів і матеріалів. Саме це сталося з люмінофором, світловипромінювальним компонентом, який лише нещодавно почав набирати популярність і знаходити нові застосування.

Люмінофори є предметом інтенсивних наукових досліджень протягом понад 100 років. Французький вчений Теодор Сідо, який працював у Lycée Charlemagne в Парижі опублікував перший звіт про фосфоресценцію ZnS у 1866 році. Його відкриття представив Едмон Беккерель, відомий своїми дослідженнями люмінесценції. Це можна вважати початком наукових досліджень і виробництва люмінофору. Зараз люмінофори використовуються в різних електронних дисплеях, люмінесцентному освітленні, рентгенівських дисплеях тощо.

Нині багато дослідників розглядають потенціал люмінофорів, як додаткового джерела освітлення, зокрема, Михайло Брик із Тартуського університету в Естонії та Алок М. Шривастава з GE Global Research у Нью-Йорку, США, які написали книгу «Luminescent materials», досліджують сам процес люмінесценції та його можливі способи використання. У публікаціях науковців робиться наголос на тому, що люмінесцентні матеріали необхідно застосовувати, як інноваційні ідеї в дизайні для покращення ефективності діяльності світлотехнічних процесів.

Люмінесцентні матеріали, які світять годинами, зберігаючи потенційну енергію, вивчають і використовують інженери-конструктори та механіки, зокрема, Анна Лаура

Пізелло, Патрік Е. Фелан з Університету Арізони чи дослідник Пізелло з Університету Перуджі тощо.

Сьогодні вироби з люмінесцентним покриттям часто використовуються в зовнішньому акцентному освітленні. Завдяки своїм властивостям проти ковзання дослідники з Великобританії компанія Pro-Teq розробили унікальну фарбу на основі люмінофору під назвою «Starpath», яка ідеально підходить для використання на велосипедних доріжках [1].

Іншим прикладом можуть бути польські техніки, які розробили, а потім побудували велосипедну доріжку в місті Прушків (рис. 1), яка світиться вночі завдяки сонячному світлу, яке вона увібрала вдень. Організація, яка здійснила це, TRA sp. z o.o., це інжинірингова корпорація, що спеціалізується на передових технологіях. Вони очікують, що така дорога допоможе в більш амбітних проєктах, таких, як автомагістралі тощо [2].



Рис. 1. Приклад люмінесцентної велосипедної доріжки в місті Прушків, Польща

Ці розробки, які включають люмінофор у свою конструкцію, підвищують безпеку населення вночі без використання електроенергії, що робить їх чудовою екологічною альтернативою звичайному вуличному освітленню.

Також на сьогодні існує багато абсолютно різних способів використання люмінофорів, як складових елементів дизайну. Крім того, цей матеріал застосовується, навіть у військовій промисловості, що актуально в даний час.

Завдяки його потенціалу освітлювати простір без потреби в електроенергії, проблеми та можливості для зростання для цього компонента все ще значні та залишаються такими. Через значне руйнування наших електростанцій, яке зараз відбувається, перевага цього матеріалу має дуже широкий спектр застосування в Україні.

Постановка завдання. Метою даної роботи є експериментальні дослідження характеристик світлових ефектів та виявлення способів використання люмінофорних покриттів для застосування в об'єктах дизайну.

Результати досліджень. Люди зазвичай пов'язують джерела тепла такі, як вогонь, лампочка, свічка або сонце, з генерацією світла. Це відоме як «збудження», коли всі вони одночасно випромінюють тепло і світло. Однак процес, відомий, як люмінесценція, який зазвичай називають «холодним світлом», також може генерувати світло без потреби в нагріванні [3].

Існує, як природне, так і синтетичне світіння. Люциферин – це речовина, яка міститься, наприклад, у світлячках. Кальцій, АТФ і кисень яскраво світяться, коли ця молекула реагує з ними, що призводить до їхньої люмінесценції. Коли на червоний, синій і зелений люмінофор у внутрішній частині екрана потрапляє електронний промінь, телевизор починає генерувати світло. У кожному з цих випадків світло генерується, коли атоми стимулюються в процесі або без термічного нагріву [3].

Коли речовина поглинає енергію, її атоми переходять у більш піднятий та енергетичний стан, що викликає люмінесценцію. Вищі орбіталі атомів енергетичні та нестабільні, тому матеріал повинен пройти ще один перехід, щоби повернутися до більш стабільного, низько енергетичного стану землі. У цій ситуації поглинуту енергію необхідно вивільнити. Це виділення енергії проявляється, як світло в люмінесцентних матеріалах [3].

Тверді речовини, які називаються фосфорами, також відомі, як люмінесцентні матеріали, здатні поглинати енергію та вивільняти її у вигляді фотонів світла [3]. Хоча деякі мінерали також мають «фосфоресценцію», білий фосфор був основним матеріалом для відображення цього ефекту в 19 ст. Щоби штучно проаналізувати та синтезувати ці мінерали, знадобилося кілька років. Це дозволяє зрозуміти електронні зміни, які лежать в основі функціонування люмінофорів. Оскільки кожен люмінофор має унікальні особливості, узагальнити електричні процеси, які відбуваються, складно. Однак типовий перебіг подій є таким: на певних довжинах хвиль енергія поглинається та перевипромінюється у вигляді світла, електронів або частинок. Ці довжини хвиль залежать від структурного складу люмінофора [4].

Зазвичай енергія поглинається основним кристалом перед тим, як передаватись іонам-активаторам, захопленим кристалічною решіткою. Електрони в іоні-активаторі поглинають енергію, що змушує їх підніматися на вищий енергетичний рівень. Електрони вивільняють легку енергію, коли вони повертаються до нижчого рівня енергії. Різниця енергії між двома рівнями відображається на довжині хвилі [4]. Тобто, оскільки деякі матеріали, як-от люмінофор, поглинають кванти світла, коли вони попадають на них, відбуваються певні переходи, які супроводжуються світінням.

Ще досить нещодавно люмінофор використовували лише у виробничих [5] чи хімічних [6] процесах для створення будь-чого, але зараз стало популярним застосування люмінофора, як елемента дизайну чи, як способу екологічного освітлення вулиць та інших просторів.

Усе більше міст сучасного світу мають у своєму арсеналі люмінофор та інші люмінесцентні елементи. Оскільки частина вуличного освітлення замінюється тротуарами з дорожніми знаками чи навіть конструкціями освітлюючими матеріалами, вони також можуть заощаджувати енергію. У деяких європейських містах уже є люмінесцентні велосипедні доріжки, а деякі вчені розглянули можливість використання фарби, що світиться для розмітки смуг [7].

Завдяки цим матеріалам, які яскраво світяться годинами, тепер можна створювати «люмінесценцію (світло) у темряві», тобто освітлення тротуарів та споруд. За даними інженера-будівельника Анни Лаури Пізелло та її колег у щорічному огляді дослідження матеріалів за 2021 рік, на освітлення припадає 19% загального світового споживання енергії та 1,6% вуличного освітлення в Європі [7].

Зовнішній простір також можна підсвітити люмінесцентною фарбою. Цю фарбу, що світиться в темряві, створила Pisello Lab, і в дослідженні 2019 року вони змоделювали, що станеться, якщо пофарбувати нею громадську дорогу біля залізничної станції. Згідно з дослідженнями, фарба, яка світиться вночі, може заощадити енергію, необхідну для освітлення території поблизу, приблизно на 27% [7].

У сучасному світі матеріали, що світяться, використовуються не тільки в дизайні інтер'єру чи промисловості, а й дизайнерами одягу, як особливий матеріал. Успішне використання сяючої тканини, яка набуває особливої привабливості вночі, показано на рис. 2.

Оскільки доступність електроенергії в нашій країні знаходиться на рекордно низькому рівні, будь-які предмети домашнього вжитку, які світяться, тепер надзвичайно цінні, що вимагає повернення альтернативних джерел освітлення.



Рис. 2. Ефективне застосування люмінесцентної тканини в одязі

На вибір теми дослідження значною мірою вплинув той факт, що такі люмінесцентні елементи споживають набагато менше енергії (лише сонячна), ніж раніше застосовані звичайні джерела світла. Дані покриття можуть бути використані в будь-якій установі для різноманітних проєктів завдяки простоті розробки та гнучкості під час експлуатації.

Поміж світлових речовин для експериментального дослідження було обрано люмінофор. Ми провели досліди та створили зразки за допомогою люмінофорного порошку та лаку. Ця основа була нанесена на біле покриття для створення ефекту світіння.

Люмінофор можна з легкістю застосовувати, як альтернативне джерело освітлення. Таким чином, необхідно було провести ряд якісних дослідів по впливу зовнішнього випромінювання на властивості люмінофору. У ході експериментальної роботи досліджувалися світлові ефекти залежно від довжини хвилі та характеристик випромінювання. Згідно з дослідженнями впливу джерела дифузного світла на світіння люмінофора йому потрібна 1 хвилина, щоби поглинути енергію світла, перш ніж, він почне яскраво світитися в темряві.

Під час проведених якісних дослідів було виявлено, що люмінофорна основа фактично втратила свою освітлювальну здатність під впливом тепла через 7:30 хвилин, але не втратила своєї якості для подальшого використання, якщо сам люмінофор буде перезаряджений.

Наступним етапом було використання різних джерел випромінювання для створення світіння люмінофорів. У якості таких джерел використовувалися три різні види лазерного випромінювання.

Перший експеримент був зосереджений на вивченні лазера точкового червоного випромінювання протягом 2 хвилин. Експеримент показав, що люмінофор (рис. 3) не піддається впливу лазера й не отримує достатньо енергії для поглинання світла.

Згідно з дослідженнями впливу точкового ультрафіолетового випромінювання на світіння люмінофора, вузький ультрафіолетовий промінь лазера створює на люмінофорному покритті досить чіткі лінії малюнка (рис. 4), які видно, як при слабкому освітленні, так і в повній темряві.

Крім того, було виявлено, що малюнок втратив деякі свої характеристики; отже, він зникає приблизно через 13 хвилин (рис. 5).

Під час експерименту було визначено, що точковий зелений лазер не впливає на люмінофор під час третього дослідження з використанням зеленого випромінювання, що виключає його, як потенційне джерело заряду люмінофора (рис. 6).

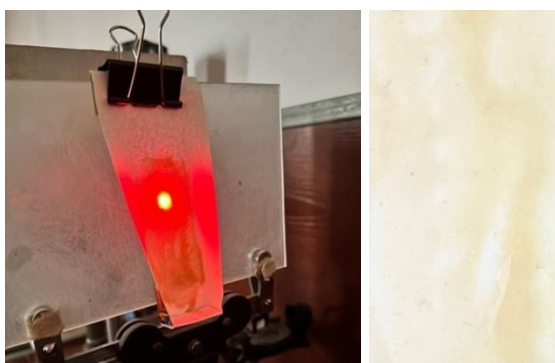


Рис. 3. Експеримент із люмінофорним покриттям під впливом червоного точкового лазера

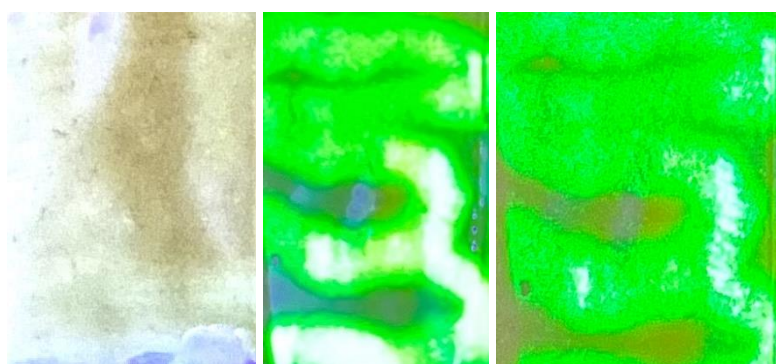


Рис. 4. Експеримент із люмінофорним покриттям під впливом ультрафіолетового точкового лазера

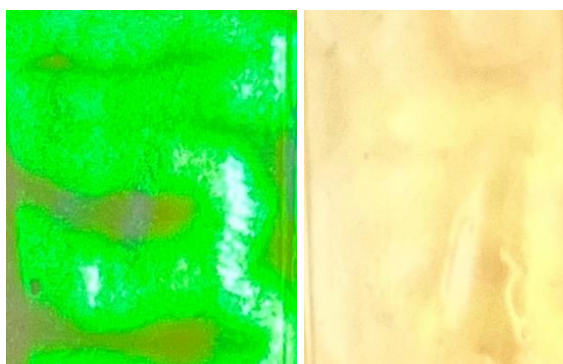


Рис. 5. Експеримент зі зникненням ультрафіолетового точкового малюнка на люмінофорній основі



Рис. 6. Експеримент із люмінофорним покриттям під впливом зеленого точкового лазера

Під час дослідження трьох різних типів лазерів (червоний, ультрафіолетовий і зелений) було виявлено, що інтенсивність лазера не є основним компонентом у створенні ефекту лазерного малюнка. Аналіз останнього джерела показав, що воно містить ультрафіолетові промені, які значно підвищують яскравість люмінофора. Це підтверджує, що люмінофор світиться яскравіше під ультрафіолетовим світлом, але він також світиться під природним і штучним освітленням зі звичайним спектром. Крім того, було визначено, що зелений і червоний лазери мало впливають на люмінофор.

Згідно з дослідженнями, люмінофор має здатність поглинати світло, як за звичайного денного світла, так і під дією УФ-випромінювання. З усіх визначених ознак було виявлено, що ключовою є те, що довжина хвилі або колір фарби впливає на люмінесцентні покриття більше, ніж сам вид випромінювання. Іншими словами, яскравість не залежить від інтенсивності та властивостей лазера, а скоріше від довжини хвилі ультрафіолетового випромінювання.

Експериментально доведено, що люмінофор реагує на випромінювання й що ці покриття можна використовувати повторно, але водночас без теплового елемента. Для динамічного використання люмінофору важливим аспектом є час існування світимості при різних умовах. Під час дослідження було виявлено, що навіть невеликий малюнок без нагрівального елемента зникав приблизно через 10 хвилин.

Під час досліджень у різних діапазонах температур було виявлено, що температура має незначний вплив на зміни властивостей люмінофора, і можна передбачити, що додаткові термічні ефекти не призведуть до суттєвих змін. Найкращим місцем для зникнення ефекту є те, яке є повністю темним і позбавленим будь-якої додаткової енергії світла.

Таким чином, можна сказати, що люмінофор є особливою речовиною, яка може бути включена в різноманітні контексти дизайну, враховуючи його відмінні характеристики. З так званим ефектом міського теплового острова можна також боротися за допомогою люмінесцентних матеріалів. Тепло від сонця поглинається дахами та тротуарами, що підвищує температуру влітку в місті в середньому на 7,7 градусів за Цельсієм порівняно із сільською місцевістю. Окрім значного ризику для здоров'я, високі температури змушують витратити більше енергії на охолодження будівель [4].

Згідно з експериментами, світловідбиваючі матеріали такі, як біла фарба та світлий асфальт, стають усе більш поширеною альтернативою для використання в дизайні освітлення міст, селищ тощо. Однак додавання світлових компонентів, зокрема люмінофору, може зробити такі проєкти ще більш успішними [4].

Висновки. За результатами експериментальних досліджень із люмінофорним елементом було визначено, що через його особливі властивості люмінофор слід включити до інноваційних рішень у сфері дизайну освітлення. За допомогою якісних експериментів було виявлено, що люмінофорні матеріали можуть утримувати світло від ультрафіолетового лазера, яке поглиналося буквально 2–3 секунди протягом досить тривалого періоду часу, приблизно 13 хвилин. Крім того, було встановлено, що на люмінофор не впливає суттєво зелений або червоний лазери.

В експериментах було використано люмінофорний елемент, і виявилось, що яскравість матеріалу більше залежить від довжини хвилі ультрафіолетового світла, ніж від потужності та характеристик лазера. Також, було визначено, що приблизно через 10 хвилин, навіть невеликий люмінофорний візерунок, зникав за відсутності нагрівального елемента.

Аналіз використання люмінофора та його властивостей привів нас до висновку, що наші дизайнери та науковці повинні брати досвід у країн, які просунулися у

використанні люмінофора, і заохочувати інтеграцію нових люмінесцентних матеріалів відповідно до міжнародних стандартів для впровадження в сучасний дизайн освітлення вулиць, міст, архітектури тощо.

Список використаної літератури

1. Dovas. Starpath: Electricity-Free Alternative to Streetlights That Look Like A Starry Night. *Bored Panda*. URL: https://www.boredpanda.com/uv-park-paths-starpath-pro-teq/?utm_source=yandex&utm_medium=organic&utm_campaign=organic(дата звернення: 07.11.2022).
2. Biggs, J. Poland builds a solar-powered bike path that glows a ghostly blue. URL: <https://techcrunch.com/2016/10/07/poland-builds-a-solar-powered-bike-path-that-glows-a-ghostly-blue/>(дата звернення: 04.11.2022).
3. Luminescence Facts, Types & Examples | What is Luminescence? *Study*. URL: <https://study.com/academy/lesson/luminescence-facts-types-examples.html>(дата звернення: 05.11.2022).
4. How do Phosphors Work – Phosphor Technology Ltd. *Phosphor Technology Ltd*. URL: <https://www.phosphor-technology.com/how-do-phosphors-work/>(дата звернення: 05.11.2022).
5. Kumar, A., Pratap, B. (2018). Luminescent Materials in Lighting, Display, Solar Cell, Sensing, and Biomedical Applications. Ed. S. Pyshkin. Taylor & Francis Group. 142 p. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82123>.
6. Mattiello, S. et al. (2021). First demonstration of the use of open-shell derivatives as organic luminophores for transparent luminescent solar concentrators. *Materials Advances*, Vol. 2, № 22, P. 7369–7378. URL: <https://doi.org/10.1039/d1ma00659b> (дата звернення: 08.11.2022).
7. Kleiner, K. (2021). Will Glow-in-the-Dark Materials Someday Light Our Cities? *Knowable Magazine*. URL: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/will-glow-in-the-dark-materials-someday-light-our-cities-180979075/> (дата звернення: 05.11.2022).
8. Sharma, R., Bairagi, N. (2018). The Role of Photoluminescent Pigments in Textiles. *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*, Vol. 2, № 2. URL: <https://doi.org/10.31031/tteft.2018.02.000533>(дата звернення: 07.11.2022).