

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF A COATING WITH A COOLING EFFECT BASED ON CALCIUM CARBONATE FOR OVERHEAD POWER LINE WIRES

V. Romaniuk, V. Shpak, P. Zinkevych
National University of Food Technologies

Key words:

Cooling coating
Calcium carbonate
Overhead power line
Wire
Power capacity

Article history:

Received 11.07.2025
Received in revised form
25.07.2025
Accepted 15.08.2025

Corresponding author:

V. Shpak

E-mail:

shpakvv@nuft.edu.ua

Citation: Романюк, В. Т., Шпак В. В., Зінкевич П. О. (2025). Дослідження властивостей покриття з охолоджувальним ефектом на основі карбонату кальцію для проводів повітряних ліній електропередавання. *Наукові праці НУХТ*, 31(4), 149—157.
DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-4-12

ABSTRACT

One of the possible ways to increase the capacity of overhead power lines is to use coatings with a cooling effect on the wires of the lines.

Among the pigments for the production of coatings with a cooling effect, CaCO_3 is worth highlighting. For the research, the pigment was synthesized using calcium chloride (96.1%) and household soda ash. Aqueous solutions of CaCl_2 and Na_2CO_3 were prepared in a 1:1 ratio at the rate of 10 g of the substance (for both substances) per 0.1 l of water. After mixing the solutions (for 1 minute) and subsequent precipitation of CaCO_3 , it was washed with demineralized water and dried.

The coating was manufactured using a polymer base in the form of a transparent adhesive-sealant based on a silane-modified polymer due to its water resistance, resistance to high and low temperatures ($-40\dots+90\text{ }^\circ\text{C}$) and elasticity, which made it resistant to the operating conditions of overhead power lines in many cases. The coating was applied to a piece of multi-core aluminum wire with a length of 33.5 cm and a diameter of 1.5 cm (approximately equivalent to a wire for overhead power lines A-185). The experiment was based on comparing the temperature of the wire and the environment (Δt — temperature difference). The ambient temperature was measured with the same thermocouple as the wire temperature. The experiment was carried out in the dark to exclude the influence of solar radiation and to study the emissivity of the coating (without taking into account its reflectivity). To stabilize the temperatures before the measurements, the experimental setup was at ambient temperature for at least 2 hours. The best temperature difference obtained was $\Delta t = -0.6 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$, i.e. the wire temperature was lower than the ambient temperature by $0.6 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ (at ambient temperature $t_1 = -3 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ and wire temperature $t_2 = -3.6 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$).

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТЯ З ОХОЛОДЖУВАЛЬНИМ ЕФЕКТОМ НА ОСНОВІ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ ДЛЯ ПРОВОДІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

В. Т. Романюк, В. В. Шпак, П. О. Зінкевич

Національний університет харчових технологій

Одним із можливих способів підвищення пропускної здатності повітряних ліній електропередавання (ЛЕП) може бути використання покриттів з охолоджувальним ефектом на проводах лінії.

Серед пігментів для виготовлення покриттів з охолоджувальним ефектом варто виділити CaCO_3 . Для досліджень пігмент був синтезований шляхом використання хлориду кальцію (96,1%) та побутової кальцинованої соди. Були приготовані водні розчини CaCl_2 та Na_2CO_3 у співвідношенні 1:1 з розрахунку 10 г речовини (для обох речовин) на 0,1 л води. Після змішування розчинів (протягом 1 хв) та подальшого випадання в осад CaCO_3 , пігмент був промитий демінералізованою водою і висушений.

Покриття було виготовлене з використанням полімерної основи у вигляді прозорого клею-герметика на основі силан-модифікованого полімеру через його водостійкість, стійкість до високих і низьких температур (-40 — $+90$ °C) та еластичність, що роблять його стійким до умов роботи проводів повітряних ЛЕП. Покриття було нанесене на відрізок багатожильного алюмінієвого проводу з довжиною 33,5 см та з діаметром 1,5 см (приблизний еквівалент проводу для повітряних ЛЕП А-185).

Дослід базувався на порівнянні температури проводу та навколишнього середовища (Δt — різниця температур). Температура навколишнього середовища вимірювалась такою самою терморпарою, як і температура проводу. Дослід проводився у темний час доби для виключення впливу сонячного випромінювання та дослідження випромінювальної здатності покриття (без врахування його відбиваючої здатності). Для стабілізації температур перед проведенням вимірювань дослідна установка знаходилась за температури навколишнього середовища не менше 2 годин. Найкращий отриманий результат різниці температур — $\Delta t = -0,6 \pm 0,1$ °C, тобто температура проводу була нижчою за температуру навколишнього середовища на $0,6 \pm 0,1$ °C (при температурі навколишнього середовища $t_1 = -3 \pm 0,1$ °C і температурі проводу $t_2 = -3,6 \pm 0,1$ °C).

Ключові слова: покриття з охолоджувальним ефектом, карбонат кальцію, повітряна лінія електропередавання, провід, пропускна здатність.

Постановка проблеми. Як відомо, атмосфера Землі має так зване «інфрачервоне вікно» на проміжку приблизно 8—13 мкм. Ці частоти інфрачервоного випромінювання є прозорими для атмосфери, тобто атмосфера не поглинає випромінювання на цих частотах, а пропускає його через себе і також не випромінює теплову енергію на цих частотах.

Існують речовини, які випромінюють теплову енергію у вигляді інфрачервоного випромінювання на частотах «інфрачервоного вікна». Якщо виготовити покриття на основі такої речовини та нанести його на поверхню об'єкта, яка буде спрямована в небо, можна охолодити цю поверхню нижче за температуру навколишнього середовища. Вказані покриття мають великий потенціал для використання у сфері будівництва та архітектури. Використання таких покриттів на дахах і стінах будівель дає змогу пасивно знижувати температуру повітря всередині приміщень та економити кошти на охолодження повітря системами кондиціонування (Wijewardane, 2022; Lim, 2020).

Покриття з охолоджувальним ефектом можуть використовуватись і в інших сферах, зокрема в електроенергетиці, наприклад, для охолодження розподільчих пристроїв (Melideo, 2023).

Одним із можливих застосувань покриттів з охолоджувальним ефектом є охолодження проводів повітряних ліній електропередавання (ЛЕП) з метою підвищення їх пропускної здатності.

Таке застосування висуває свої вимоги до покриття, тобто воно повинно мати можливість працювати в умовах, в яких працюють проводи повітряних ЛЕП та бути економічним (оскільки повітряні ЛЕП мають великі довжини та вимагатимуть великих об'ємів покриття, а важкі умови експлуатації, ймовірно, вимагатимуть його періодичного перенанесення).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея використання покриттів для проводів повітряних ЛЕП не нова, однак дослідження на цю тему переважно присвячені наданню проводам сніго-/льодовідштовхувальних властивостей для покращення їх експлуатаційних характеристик у зимовий період (Zhang, Zhang, Yue, & Zeng, 2023; Farzaneh, & Chisholm, 2022; Balordi та ін., 2023).

Застосування знайшли супергідрофобні покриття, отримані методом розпилення наноструктурованого шару ZnO та молекулярного шару гексадецилтриметоксисилану. Напилення протягом 15 хв призвело до мікронанощорсткої структури, що складається з щільно агрегованих нанокластерів. Встановлено, що затримка замерзання крапель води становить приблизно 2 год, затримка замерзання поверхні — приблизно 5 год при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а адгезія льоду на поверхні становить лише $12\pm 4,7\text{ кПа}$ (Liu, Yuan, Liao, Wang, & Gao, 2020).

Також існують покриття, які мають переважно захисну функцію. Повітряні лінії з проводами з таким покриттям менше схильні до пошкоджень, більш надійні, безпечні та мають менші габарити (Binkevych, 2017). Подібні покриття захищають проводи від корозії та від формування коронного розряду на їх поверхні (Tao, Cheng, Wang, Zhang, & Liao, 2022). Гальванічні покриття центральних сталевих жил проводів ЛЕП, крім захисту від корозії, певною мірою зменшують опір проводу (Бінкевич, 2012).

Порівнювали корозійну стійкість звичайної оцинкованої сталеві лінії та сталеві лінії з покриттям зі сплаву Zn-5% Al-Re. Після 1000 год корозії в нейтральному сольовому тумані оцинкований шар оцинкованої сталеві лінії майже зник. Сталева лінія з покриттям зі сплаву Zn-5% Al-Re кородувала лише поверхневий шар, а перехідний шар не кородував (Li та ін., 2020).

Покриття також застосовують для інтенсифікації процесу охолодження проводів повітряних ЛЕП. Досліджено вплив покриття з карбоновими наноструктурами

та встановлено зменшення температури проводу на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, зменшення втрат на 30% і збільшення ефективності передачі енергії на $20\text{—}30\%$ порівняно з проводами без покриття (Kumar, Pal, & Shah, 2017).

Описано також покриття графеном мідних проводів, що підвищує електропровідність і забезпечує захист від корозії. Однак недоліком є складність реалізації та висока вартість графену (Mishra та ін., 2023).

Інтенсифікація процесу охолодження проводів (через вплив на їхню випромінювальну здатність) дасть змогу підвищити пропускну здатність ЛЕП (Riba, Liu, & Moreno-Eguilaz, 2024).

Механізм дії покриття з охолоджувальним ефектом на основі теплового випромінювання на частотах «інфрачервоного вікна» атмосфери також передбачає відбиття сонячного випромінювання, зокрема у видимому діапазоні (рис. 1).

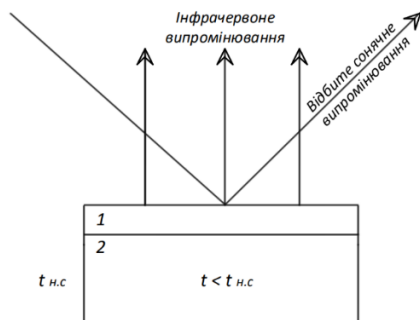


Рис. 1. Механізм дії покриття з охолоджувальним ефектом: 1 — покриття з охолоджувальним ефектом; 2 — об’єкт з покриттям; t — температура об’єкта з покриттям; $t_{н.с.}$ — температура навколишнього середовища

Серед пігментів для виготовлення покриттів з охолоджувальним ефектом варто виділити CaCO_3 . Ця речовина є дуже поширеною, безпечною (використовується навіть у харчовій промисловості безпосередньо при виробництві харчових продуктів) та дешевою і вирізняється простотою виготовлення. Покриття з охолоджувальним ефектом на основі пігменту CaCO_3 в останні роки вже довели свою ефективність (Li та ін., 2020).

Досліджено охолоджувач з одним шаром композиту CaCO_3 без металевого відбивача, який є дешевим і не викликає світлового забруднення. Результати порівнювали з білою фарбою. Охолоджувач на основі CaCO_3 має охолоджувальну потужність $93,1\text{ Вт/м}^2$ та може знизити температуру в середньому на $6,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $3,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ за температури навколишнього середовища вдень і вночі відповідно. Таким чином, його можна використовувати як охолоджувач протягом усього дня (Lim, Chae, Son, Ha, & Lee, 2022).

Досліджено охолоджувальні фарби, що складаються з BaSO_4 та CaCO_3 як пігментів, в умовах тропічного клімату. Охолоджувальна фарба з BaSO_4 змогла досягти зниження температури нижче навколишнього середовища до $-6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ та середньої чистої охолоджувальної потужності $71,0\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, тоді як охолоджувальна фарба CaCO_3 досягла максимального зниження температури нижче навколишнього середовища на $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та середньої чистої охолоджувальної потужності

69,9 Вт·м⁻². Обидві фарби змогли значно перевершити білу фарбу на різних поверхнях з точки зору охолоджувальної продуктивності (Joseph та ін., 2023).

Вивчали вплив об'ємної концентрації частинок карбонату кальцію (CaCO₃) та порожнистих мікрочастинок діоксиду кремнію (SiO₂) у фарбах на акриловій основі на охолоджувальну здатність. Сонячне відбиття фарби збільшується зі збільшенням загального вмісту об'ємної концентрації частинок, доки не буде досягнуто його пікового вмісту. Додавання CaCO₃ покращує сонячне відбиття завдяки посиленню відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні, але зменшує теплове випромінювання. Фарба із загальним вмістом об'ємної концентрації частинок 0,45 та їхнім співвідношенням CaCO₃:SiO₂ — 1:1 досягає найкращої продуктивності охолодження (Atiganyanun, & Kumnorkaew, 2023).

Метою дослідження є визначення властивостей, які повинно мати покриття з охолоджувальним ефектом для використання на проводах повітряних ЛЕП на основі аналізу умов їх роботи та моделювання складу таких покриттів для підвищення пропускної здатності ЛЕП, які, зокрема, забезпечують електричною енергією підприємства харчової промисловості.

Матеріали і методи. В роботі використовувалось покриття, розроблене авторами на основі CaCO₃. Для перевірки властивостей (в контексті підвищення пропускної здатності повітряних ліній електропередавання) покриття було нанесене на відрізок багатожильного алюмінієвого проводу з довжиною 33,5 см та з діаметром 1,5 см (приблизний еквівалент проводу для повітряних ЛЕП А-185) (Lim, Chaе, Son, Ha, & Lee, 2022). З обох сторін проводу його було зафіксовано нейлоновими стяжками білого кольору. Через багатожильну конструкцію проводу була можливість зручно розмістити датчик температури (термопара типу «К»), вставивши його з одного кінця проводу і розташувавши його посередині проводу.

Використовуючи термопари типу «К», в темний час доби вимірювались температури проводу та навколишнього середовища для визначення різниці температур та оцінки здатності покриття випромінювати теплову енергію у вигляді інфрачервоного випромінювання.

Статистичний аналіз: представлені дані являють собою середнє арифметичне значення трьох повторів ± стандартне відхилення.

Викладення основних результатів дослідження. Для розроблення охолоджувального покриття повинен застосовуватись пігмент та основа, яка цей пігмент утримує та має властивості, що дають змогу використовувати це покриття в певних заданих умовах (Mansour, & Farha, 2025).

Пігмент CaCO₃ був синтезований шляхом використання хлориду кальцію (96,1%) та побутової кальцинованої соди за формулою:



Були приготовані водні розчини CaCl₂ та Na₂CO₃ у співвідношенні 1:1 з розрахунку 10 г речовини (для обох речовин) на 0,1 л води. Після змішування розчинів (протягом 1 хв) та подальшого випадання в осад CaCO₃, він був промитий демінералізованою водою та висушений.

Покриття було виготовлене з використанням полімерної основи у вигляді прозорого клею-герметіку на основі силан-модифікованого полімеру через його водостійкість, стійкість до високих і низьких температур (−40...+90 °С) та еластич-

ність, що роблять його стійким до умов роботи проводів повітряних ЛЕП у багатьох випадках. Також ця речовина має безкислотну полімеризацію (Kang, Yu, & Zhang, 2009), що важливо, оскільки CaCO_3 розкладається кислотами.

Експериментальним шляхом співвідношення між полімерною основою та пігментом було обране 1:6. Таке співвідношення базується на тому, що відсоток пігменту повинен бути високим, однак покриття достатньою мірою зберігає властивості полімерної основи. Для проведення випробувань механічні властивості покриття достатні, однак для застосування подібного покриття на практиці воно є дещо крихким, також процес нанесення покриття на провід ускладнювався його особливою консистенцією — суміш проявляла властивості неньютонівської рідини.

Оскільки отримати суміш, яку можна було б наносити із вказаним співвідношенням між полімерною основою та пігментом було неможливо, для розв'язання цієї проблеми було вирішено розчинити полімерну основу в розчиннику. Для цього був використаний вайт-спірит, який після нанесення суміші на обрану поверхню випаровується, залишаючи готове покриття. Отже, фінальне співвідношення полімерної основи до пігменту та розчинника було 1:6:3.

Провід було покрито покриттям з товщиною 1 мм. Нижня сторона проводу була залишена без покриття, оскільки це нераціонально, враховуючи принцип роботи такого покриття. Схематично дослідна установка зображена на рис. 2.

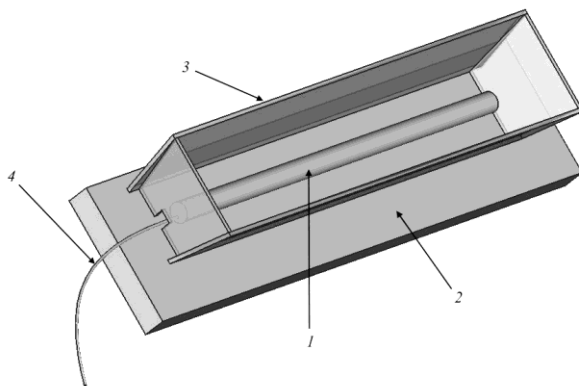


Рис. 2. Дослідна установка: 1 — провід з покриттям; 2 — дерев'яна основа; 3 — екран; 4 — термопара

Провід 1 був зафіксований на дерев'яній основі 2 таким чином, щоб він не торкався цієї основи (провід був прикріплений до основи в точках, де був зафіксований нейлоновими стяжками). Для ізоляції проводу від впливу теплового випромінювання об'єктів, що знаходились поруч, був виготовлений екран 3 з використанням алюмінієвої фольги та картону.

Дослід базувався на порівнянні температури проводу та навколишнього середовища (Δt — різниця температур). Температура навколишнього середовища вимірювалась такою самою термопарою, як і температура проводу. Дослід проводився у темний час доби для уникнення впливу сонячного випромінювання та до-

слідження випромінювальної здатності покриття (без урахування його відбиваючої здатності). Для стабілізації температур перед проведенням вимірювань дослідна установка знаходилась за температури навколишнього середовища не менше 2 годин.

На рис. 3 наведені результати вимірювань протягом місяця (травень). В цей період спостерігалася бездощова стабільна погода, без сильних поривів вітру, що дало змогу виключити вплив цих факторів. Виявлено, що о 18 год температура проводу переважає температуру навколишнього середовища. Це можна пояснити впливом сонячного випромінювання та низькою відбивальною здатністю покриття. Середнє значення різниці температур між проводом і навколишнім середовищем для темного часу доби (з 22:00 до 4:00) становило $1,99 \pm 0,07$ °C.

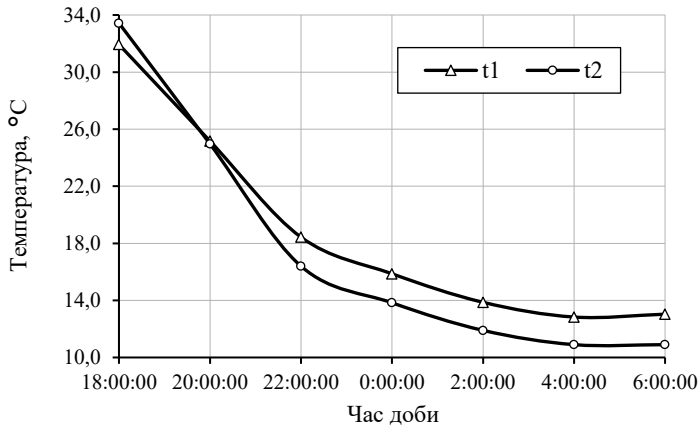


Рис. 3. Зміна температур у часі: t_1 — температура навколишнього середовища; t_2 — температура проводу

Найкращий отриманий результат різниці температур — $\Delta t = -0,6 \pm 0,1$ °C, тобто температура проводу була нижчою за температуру навколишнього середовища на $0,6 \pm 0,1$ °C (при температурі навколишнього середовища $t_1 = -3 \pm 0,1$ °C і температурі проводу $t_2 = -3,6 \pm 0,1$ °C).

У (Lim, Chae, Son, Ha, & Lee, 2022) досліджувалась випромінювальна система охолодження на основі покриття з охолоджувальним ефектом на базі CaCO_3 , яка могла знижувати температуру в середньому на $3,38$ °C нижче за температуру навколишнього середовища вночі. Однак у цьому дослідженні використовувалось покриття з більш складним складом та на основі ДРНА, який утворює тверде покриття, тоді як на проводах повітряних ЛЕП потрібно, щоб це покриття зберігало певну еластичність для витримування нормальних деформацій проводу, які виникають внаслідок вітрових навантажень, зміни температур та інших умов роботи.

При дослідженні подібного покриття з пігментом CaCO_3 вдалося отримати $\Delta t = -1,7$ °C (Li та ін., 2020), що є більш ніж вдвічі кращим результатом, однак у вказаному дослідженні використовувалось покриття на основі акрилу, яке не може працювати в умовах роботи проводів повітряних ЛЕП.

Дослідження показали, що холодне покриття може знизити температуру поверхні бетонної плити на $7,5$ °C, крім того, воно може бути на 15 °C холоднішим за

сріблясто-сіре покриття. Однак зразки покриття були алкідні та хлоркаучукові, що не можуть працювати в умовах роботи проводів повітряних ЛЕП (Synnefa, Santamouris, & Livada, 2006).

Отриманий результат підтверджує перспективність запропонованого способу підвищення пропускної здатності повітряних ЛЕП.

Подальші дослідження можуть бути присвячені вивченню і покращенню відбиваючої здатності покриття, оптимізації запропонованої рецептури та застосуванню покриття в умовах роботи проводу близьких до реальних (з урахуванням нагрівання проводу під час протікання струму через лінію).

Висновки

Досліджено покриття на основі пігменту CaCO_3 та встановлено раціональне співвідношення полімерної основи до пігменту та розчинника 1:6:3.

Встановлено, що покриття на основі пігменту CaCO_3 та силан-модифікованого полімерного герметика дає змогу охолодити відрізок багатожильного алюмінієвого проводу з довжиною 33,5 см та з діаметром 1,5 см (приблизний еквівалент проводу для повітряних ЛЕП А-185 на $0,6 \pm 0,1$ °C нижче за температуру навколишнього середовища (яка становила $-3 \pm 0,1$ °C).

Покриття з охолоджувальним ефектом на основі пігменту CaCO_3 потенційно можуть використовуватися на проводах повітряних ЛЕП для їх охолодження та підвищення пропускної здатності ліній.

Література

Бінкевич, Т. (2012). Підвищення пропускної здатності повітряних ліній електропередавання та застосування проводів нових марок. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 736 (Електроенергетичні та електромеханічні системи), 3—9.

Atiganyanun, S., Kumnorkaew, P. (2023). Effects of pigment volume concentration on radiative cooling properties of acrylic-based paints with calcium carbonate and hollow silicon dioxide microparticles. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 612—626. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2221082>.

Balordi, M., De Magistris, G. S., Casali, A., Pini, F., Cammi, A., Lacavalla, M., Rotella, V. (2023). The Anti-Snow Behaviour of icephobic Coatings: Laboratory and In-Field testing. *Coatings*, 13(3), 616. <https://doi.org/10.3390/coatings13030616>.

Binkevych, T. (2017). Means of lightning protection of overhead power transmission lines with isolated neutral. *Computational problems of electrical engineering*, 7(1), 11—16. <https://doi.org/10.23939/jcpee2017.01.011>.

Farzaneh, M., Chisholm, W. A. (2022). Protective coatings for overhead lines in winter conditions. In *CIGRE green books* (pp. 195—309). https://doi.org/10.1007/978-3-030-87455-1_6.

Joseph, W. R., Tan, J. Y., Koyande, A. K., Khoiroh, I., Joynson, J., Willis, S. (2023). Subambient passive radiative cooling effects of barium sulfate and calcium carbonate paints under Malaysia's tropical climate. *Environmental Science Advances*, 2(12), 1662—1679. <https://doi.org/10.1039/d3va00161j>.

Kang, J.-S., Yu, C.-L., Zhang, F. (2009). Effect of Silane Modified SiO_2 Particles on Poly(MMA-HEMA) Soap-free Emulsion Polymerization. *Iranian Polymer Journal*, 18(12114), 927—935.

Kumar, S., Pal, G., Shah, T. (2017). High performance overhead power lines with carbon nanostructures for transmission and distribution of electricity from renewable sources. *Journal of Cleaner Production*, 145, 180—187. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.053>.

Li, X., Peoples, J., Huang, Z., Zhao, Z., Qiu, J., Ruan, X. (2020). Full Daytime Sub-ambient Radiative Cooling in Commercial-like Paints with High Figure of Merit. *Cell Reports Physical Science*, 1(10), 100221. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2020.100221>.

- Li, Q., Naderiallaf, H., Lei, Z., Wang, Y., Liu, P., Zhang, L., Wang, Z., Zhang Z. (2020). Surface charge pattern analysis based on the field-dependent charging theory: A review. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 27, 257—269. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2019.008430>.
- Lim, H., Chae, D., Son, S., Ha, J., Lee, H. (2022). CaCO₃ micro particle-based radiative cooling device without metal reflector for entire day. *Materials Today Communications*, 32, 103990. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103990>.
- Lim, Y. (2020). Novel materials and concepts for regulating infra-red radiation: radiative cooling and cool paint. In *Elsevier eBooks*, 113—131. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822103-7.00005-4>.
- Liu, G., Yuan, Y., Liao, R., Wang, L., Gao, X. (2020). Fabrication of a porous slippery icephobic surface and effect of lubricant viscosity on anti-icing properties and durability. *Coatings*, 10, 896. <https://doi.org/10.3390/coatings10090896>.
- Mansour, S. A., Farha, A. H. (2025). A Review of Near-Infrared Reflective Nanopigments: Aesthetic and Cooling Properties. *Crystals*, 15(3), 271. <https://doi.org/10.3390/cryst15030271>.
- Melideo, F. (2023). *SRI researchers have developed a paint that provides a sustainable passive cooling solution*. ipcm. Available at: <https://www.ipcm.it/en/post/sri-researchers-paint-provides-passive-cooling.aspx>.
- Mishra, N., Vlamidis, Y., Martini, L., Lanza, A., Gebeyehu, Z. M., Jouvray, A., La Sala, M., Gemmi, M., Mišeikis, V., Perry, M., Teo, K. B. K., Forti, S., Coletti, C. (2023). Industrial graphene coating of Low-Voltage copper wires for power distribution. *ACS Applied Engineering Materials*, 1(7), 1937—1945. <https://doi.org/10.1021/acsaenm.3c00249>.
- Riba, J., Liu, Y., Moreno-Eguilaz, M. (2024). Analyzing the role of emissivity in stranded conductors for overhead power lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 159, 110027. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110027>.
- Synnefa, A., Santamouris, M., Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80(8), 968—981. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.08.005>.
- Tao, B., Cheng, L., Wang, J., Zhang, X., Liao, R. (2022). A review on mechanism and application of functional coatings for overhead transmission lines. *Frontiers in Materials*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.995290>.
- Wijewardane, S. (2022). Inventions, innovations, and new technologies: Paints and coatings for passive cooling. *Solar Compass*, 3—4, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2022.100032>.
- Zhang, Z., Zhang, H., Yue, S., Zeng, W. (2023). A review of icing and Anti-Icing technology for transmission lines. *Energies*, 16(2), 601. <https://doi.org/10.3390/en16020601>.