

Інше

Мазур Софія Андріївна

*засновниця студії Sova Nails, викладач безпечних технік манікюру,
суддя міжнародних манікюрних чемпіонатів,
багатократний призер чемпіонатів*

Mazur Sofia

*Founder and CEO «SOVA NAILS LLC» educator in safe manicure techniques,
judge at international nail championships, multiple award-winning competitor
(Scottsdale, Arizona, United States)*

ФОТОПОЛІМЕРИЗАЦІЯ ГЕЛІВ І РИЗИК НЕПОВНОГО ЗАТВЕРДІННЯ: ЯК ВИБРАТИ БЕЗПЕЧНУ ЛАМПУ ТА РЕЖИМ СУШІННЯ

PHOTOPOLYMERIZATION OF GELS AND THE RISK OF INCOMPLETE CURING: HOW TO CHOOSE A SAFE LAMP AND CURING MODE

***Анотація.** У статті проведено поглиблений аналіз фотополімеризації гелевих матеріалів із фокусом на впливі параметрів UV/LED-ламп на хімічну повноту затвердіння. Особливу увагу приділено тому, як недостатня потужність випромінювання, нерівномірний розподіл світла та невідповідність спектрального діапазону фотоініціаторам (365–405 нм) призводять до формування шарів із низьким ступенем конверсії мономерів. Показано, що такі дефекти полімеризації сприяють накопиченню залишкових мономерів, які здатні проникати крізь нігтьову пластину або контактувати зі шкірою, підвищуючи ризик алергічної сенсibiliзації майстрів та клієнтів. У роботі також здійснено технічне порівняння дешевих і професійних ламп,*

включно з оцінкою типів діодів, стабільності потужності, якості охолодження та здатності забезпечувати достатню глибину полімеризації. Результати демонструють, що науково обґрунтований вибір лампи є ключовим фактором у забезпеченні безпечної та повноцінної полімеризації гелевих систем.

Ключові слова: фотополімеризація гелів, UV/LED-лампи, залишкові мономери, спектр випромінювання, сенсibilізація.

Summary. The article provides an in-depth analysis of the photopolymerization of gel materials, focusing on the influence of UV/LED lamp parameters on the chemical completeness of curing. Particular attention is paid to how insufficient irradiance, uneven light distribution, and mismatch between the spectral output of the lamp and the absorption range of photoinitiators (365–405 nm) lead to the formation of layers with a low degree of monomer conversion. It is shown that such polymerization defects promote the accumulation of residual monomers, which can penetrate through the nail plate or come into contact with the skin, increasing the risk of allergic sensitization in technicians and clients. The study also includes a technical comparison of inexpensive and professional lamps, including an assessment of diode types, power stability, cooling quality, and the ability to ensure sufficient polymerization depth. The results demonstrate that a scientifically grounded selection of a lamp is a key factor in ensuring safe and complete curing of gel systems.

Key words: gel photopolymerization, UV/LED lamps, residual monomers, emission spectrum, sensitization.

Сучасна індустрія нігтьового сервісу значною мірою базується на використанні гелевих покриттів, які забезпечують довговічність та естетичну

привабливість. Однак ключовим етапом, що визначає не лише якість, але й безпеку застосовуваних матеріалів, є процес фотополімеризації. Від його ефективності залежить ступінь конверсії мономерів у полімерну сітку, а отже – ймовірність утворення залишкових мономерів, які є потенційними алергенами. Незважаючи на технологічний прогрес, на ринку присутні різноманітні UV/LED-лампи – від бюджетних до професійних моделей, – які суттєво відрізняються за потужністю, спектральними характеристиками та стабільністю роботи. Недооцінка цих параметрів призводить до неповного затвердіння гелів, що, у свою чергу, підвищує ризик розвитку контактного дерматиту як у майстрів, так і у клієнтів. У цій статті проаналізовано вплив технічних характеристик ламп на якість полімеризації, обґрунтовано критерії їх вибору та висвітлено зв'язок між неповним затвердінням матеріалів і сенсibilізацією організму.

У процесі нанесення гелевих покриттів (наприклад, нігтьових систем) ключовим етапом є фотополімеризація – перетворення мономерів і олігомерів у щільну полімерну сітку під впливом світла, зазвичай у спектрі ультрафіолету/світлодіодного (UV/LED) випромінювання [1]. Цей процес потребує двох основних компонентів: по-перше, наявності фотініціатора або системи фотініціаторів, які поглинають світло в певному діапазоні і генерують радикали чи йони для ініціювання полімеризації; по-друге, достатньої інтенсивності (потужності) і правильного спектру випромінювання, щоб активувати цей фотініціатор і забезпечити достатню конверсію мономерів [1]. Якщо один із цих компонентів не забезпечений – наприклад, лампа має недостатню потужність, або спектр випромінювання не охоплює потрібні довжини хвиль (наприклад 365–405 нм, що зазвичай рекомендовано для багатьох LED/UV гелів) – то полімеризація не проходить до повного ступеню. У такому разі в матеріалі залишаються нереаговані (вільні) мономери або олігомери, які не включилися в полімерну сітку. Дослідження показали, що при низькій інтенсивності

ультрафіолету або недостатній експозиції утворюється «неотверджений шар» (unreacted layer) і збільшується частка залишкових мономерів [2].

Ці залишкові мономери мають подвійне значення з точки зору безпеки. По-перше, вони знижують механічні й хімічні властивості покриття – покриття може бути менш стійким, більш гнучким чи ламким, можуть бути підйоми чи відшарування. Але по-друге – і це ключова тема – залишкові мономери є потенційним джерелом сенсibilізації (алергічної реакції). У багатьох гелевих системах використовуються (мет)акрилати, уретан-(мет)акрилати, інші мономери з подвійними зв'язками, які мають доведену алергенність [3]. Коли полімеризація бездоганно завершена, більшість мономерів включені в мережу полімера, і ризик вивільнення або контакту з незакомпанованими мономерами значно знижується. Так, дослідження показали: «полімери самі по собі не є алергенами, за умови, що не залишилось залишкових мономерів» [4]. Якщо ж залишки є – вони можуть дифундувати до поверхні, контактувати зі шкірою (майстра чи клієнта), і тим самим запускати імунологічну реакцію.

Процес сенсibilізації може відбуватися таким чином: при контакті шкіри рук майстра або клієнта з неотвердженою речовиною мономера відбувається взаємодія з білками шкіри, утворення антиген-гаптенової комбінації, стимулювання імунної системи. Це веде до розвитку контактного дерматиту, з початковою етапом сенсibilізації, а потім – повторними реакціями навіть при незначному контакті. У великому європейському дослідженні було виявлено, що значна частина випадків алергічного контактного дерматиту серед майстрів і клієнтів пов'язана з акрилатами нігтьових систем [5]. Таким чином, залишок мономера – не просто «менше якість покриття», а конкретний ризик для здоров'я.

Особливо важливо розуміти, що цей ризик підвищується саме у разі недостатньої або неправильно налаштованої лампи. Наприклад, у дослідженні з 2011 року автори зазначали, що при низькій інтенсивності

UV-світла (близько 3–10 mW/cm²) та за присутності кислороду (повітря) полімеризація не доходить до кінця, утворюється шар, що не отвержден, і залишкові мономери існують у покритті [6]. Кисень з повітря гальмує радикальну полімеризацію, а слабе світло не створює достатньої кількості радикалів чи йонів для завершення реакції – в результаті реакція залишається недовершеною. У реальних умовах салонів краси часто використовуються дешеві лампи з недостатньою потужністю або вузьким спектром, або ж майстер використовує недостатній час експозиції: усі ці фактори можуть сприяти неповній полімеризації.

Отже, якщо лампа не має необхідної потужності або спектру для конкретної формули гелю, або світло не потрапляє рівномірно/достатньо довго, то результатом буде: знижений ступінь конверсії мономерів, залишкові мономери у покритті, які потенційно можуть вивільнятися і контактувати з шкірою або нігтьовою пластиною, і, як наслідок – підвищений ризик алергії у майстра чи клієнта.

Слід зауважити, що спектр 365–405 нм часто вказується як ефективний для LED/UV ламп у нігтьовій індустрії, бо включає довжини хвиль, які активують типові фотініціатори, що використовуються в гелях. Якщо лампа має спрощений спектр, наприклад лише 420–430 нм або лише вузький ультрафіолет нижчої довжини хвилі, вона може бути не сумісна з формулою гелю і не забезпечити повної полімеризації.

У дешевих лампах часто застосовуються базові світлодіоди з мінімальним контролем спектра й розподілу освітлення. Наприклад, користувачі форуму r/GelNails зазначають: “I have seen cheap Amazon lamps that check all the above boxes ... but I have found the wattage claims on Amazon lamps are wildly inflated ... many come with flimsy adapters that can't handle 48 watts [7].” У цьому випадку лампа може бути маркована як “48 Вт”, але реальна ефективність, спектр або щільність випромінювання можуть бути значно гірші. У професійних лампах використовують

високоякісні LED-модулі з чітко вимірюваним спектром (наприклад 365–405 нм), добре розміщеними діодами, рівномірним розподілом світла по нігтю, і корпусом із металом чи якісним пластиком для охолодження і стабільності. Наприклад, в огляді зазначено, що “управляти потрібно не тільки ватами, але й спектром, розподілом світла, відбивачами” [8].

Глибина полімеризації означає, наскільки добре світло проникає через шар гелю до нижніх рівнів, активуючи фотініціатори й забезпечуючи конверсію мономерів. В дешевих лампах низька інтенсивність або вузький спектр призводить до того, що зовнішній шар може затвердіти, а нижній – залишитися неотвердженим. У професійних лампах інтенсивність, розподіл і спектр підібрані так, щоб охопити і бічні, і нижні частини нігтя, уникнути “тіней” і залишків мономерів. Наприклад, сайт-огляд дає рекомендацію: “A lamp with 48 W, 54 W or 72 W is ideal for professional and home use” як мінімум за рівнем потужності [9].

Дешева лампа може мати нестабільну потужність – наприклад, трансформатор, який не витримує заявленої потужності, або діоди, які з часом деградують без системи охолодження. Це означає, що на практиці ефективна інтенсивність світла падає, що знижує ступінь конверсії мономерів. У професійних лампах зазвичай передбачено: система охолодження, контроль температури, якісні компоненти, гарантія, тестування.

Таблиця 1

Порівняльні технічні характеристики UV/LED-ламп для полімеризації гелевих покриттів

Модель	Потужність (Вт)	Діоди спектр (нм)	Час полімеризації	Стабільність потужності
UV/LED лампа 24 Вт (бюджет)	24 Вт	365-405 нм (заявлено)	≈ 60–90 с	Нижча економічні компоненти

LED/UV лампа 48 Вт (середній)	48 Вт	365-405 нм (заявлено)	≈ 30–60 с	Середня — прості компоненти, but помітно краща, ніж 24 Вт
Canni UV/LED лампа 72 Вт (професіонал)	72 Вт	365-405 нм (типово)	≈ 15–30 с	Висока — професійні компоненти, кращий розподіл
SUNUV Sunone UV/LED лампа 48 Вт (професійна/домашня)	48 Вт	365-405 нм (33 діода)	≈ 30–45 с	Висока — якісна конструкція, кращий розподіл

Джерело: складено автором на основі [10; 11; 12; 13]

Порівняльна діаграма (Рисунок 1) демонструє чітку кореляцію між класом лампи, її потужністю та стабільністю випромінювання і фактичною швидкістю полімеризації гелевих покриттів. Найнижчі показники стабільності потужності та тривалий час затвердіння спостерігаються у бюджетної лампи на 24 Вт, що свідчить про недостатню щільність світлового потоку та нерівномірне активування фотініціаторів у гелі. Середній клас 48 Вт показує помірні результати, але все ще поступається професійним моделям. Професійна лампа 72 Вт демонструє найвищий рівень стабільності (коефіцієнт 9) та найкоротший час полімеризації, що вказує на ефективне проникнення світла в товщу матеріалу та мінімальний ризик залишкових мономерів. Професійна лампа на 48 Вт (наприклад, SUNUV) показує, що навіть при нижчій потужності можна досягати високих результатів завдяки якісним діодам і продуманому розташуванню LED-модулів. Загалом діаграма підтверджує, що ключовими для повної полімеризації є не тільки номінальні вати, а комплекс параметрів – стабільність випромінювання, правильний спектр, конструкція та якість діодів. Це напряду впливає на ступінь конверсії мономерів і, відповідно, на безпеку гелевих систем.

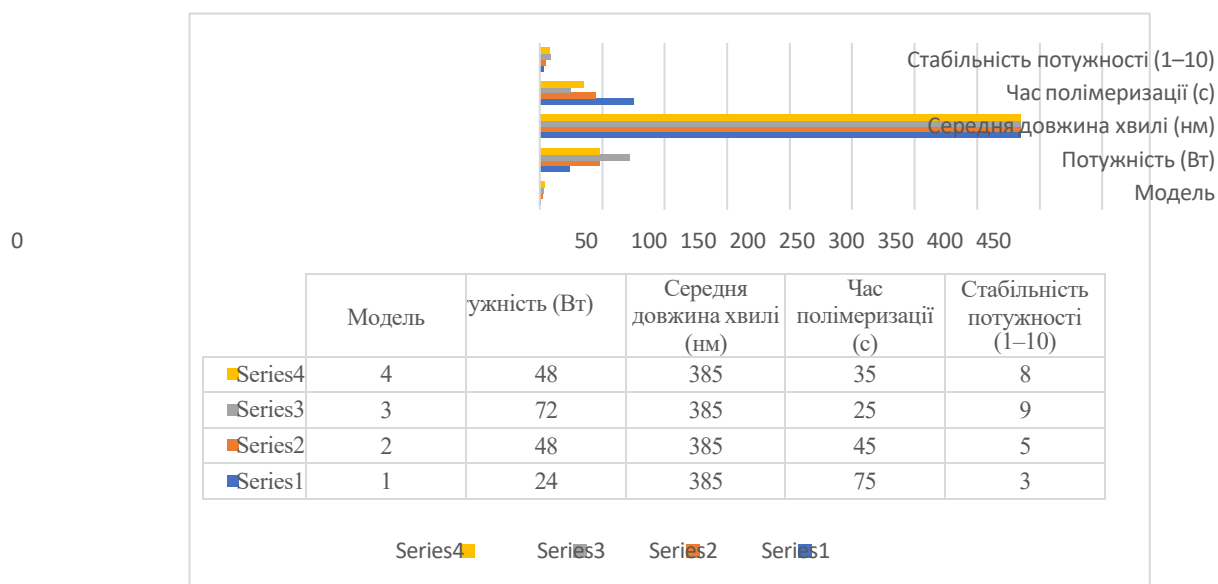


Рис. 1. Порівняльний аналіз параметрів фотополімеризаційних ламп: вплив потужності та стабільності на швидкість затвердіння гелів

Джерело: складено автором на основі [10; 11; 12; 13]

Неповна або неправильна полімеризація – один із ключових факторів, що призводить до сенсibilізації майстрів нігтьового сервісу. Коли процес затвердіння гелів або акрилат-матеріалів здійснено не до кінця, в остаточному покритті залишаються вільні мономері або низькомолекулярні залишки. Саме ці залишкові речовини мають значно вищий алергенний та сенсibilізуючий потенціал, ніж повністю полімеризований матеріал. Наприклад, оглядове дослідження вказує: «Although fully cured (meth)acrylate polymers are thought to rarely cause cutaneous sensitization, monomers have significant allergenic potential ...» [14].

При правильній полімеризації молекули мономерів утворюють високомолекулярну полімерну сітку, стаючи майже інертними в плані алергенності. Проте якщо полімеризація не завершена, залишкові мономері можуть вивільнятися із покриття або проникати через мікропори, контактувати зі шкірою майстра чи клієнта. У дослідженні зазначено: «the persistence of monomers under deficient polymerization conditions can induce sensitization or cause a contact dermatitis reaction in a previously sensitized

individual» [15].

Для майстра нігтьового сервісу процес сенсibilізації може розпочатись саме таким чином: при щоденному контакті із продуктами, що містять (мет)акрилатні мономери, особливо якщо вони не до кінця полімеризовані, відбувається накопичення алергенного впливу. У великому європейському дослідженні серед 18 228 пацієнтів із дерматитом було показано, що 56.6 % випадків захворювання алергічного контактного дерматиту, викликаного акрилатами, припадали на професійних користувачів – майстрів нігтьового сервісу [16].

Отже, неправильна полімеризація – це не просто технічний дефект, що впливає на якість покриття, але й фундаментальний ризик для здоров'я майстра і клієнта. Майстер, який щодня працює із такими матеріалами, при недотриманні режимів полімеризації, використанні ламп із низькою потужністю або змішаних систем без узгоджених компонентів, піддає себе підвищеному ризику розвитку сенсibilізації до (мет)акрилатів. З огляду на це, уважне ставлення до режимів сушіння, вибору лампи, здійснення полімеризації згідно з інструкцією виробника – це не лише питання естетики й довговічності, а питання безпеки та профілактики професійної алергії.

Проведений аналіз підтверджує, що якість та безпека гелевих покриттів безпосередньо залежать від ефективності процесу фотополімеризації, який, у свою чергу, визначається технічними параметрами UV/LED-ламп. Недостатня потужність, невідповідність спектру випромінювання фотоініціаторам (365– 405 нм), нерівномірний розподіл світла та нестабільність роботи дешевого обладнання призводять до утворення шарів із низьким ступенем конверсії мономерів. Як наслідок, у покритті залишаються вільні мономери, здатні викликати алергічні реакції та контактний дерматит.

Порівняльний аналіз ламп різних цінових категорій показав, що

професійні моделі із високоякісними діодами, ефективною системою охолодження та продуманою конструкцією забезпечують не лише швидше, але й рівномірніше затвердіння, зменшуючи ймовірність утворення залишкових мономерів. Навіть лампи середньої потужності (наприклад, 48 Вт) можуть демонструвати високу ефективність за умови відповідного технічного виконання.

Таким чином, вибір лампи не повинен ґрунтуватися лише на номінальній потужності. Ключовими критеріями є спектр випромінювання, стабільність роботи, рівномірність освітлення та відповідність конкретній формулі гелю. Усвідомлений підхід до вибору обладнання та дотримання рекомендацій виробників є не лише запорукою якісного манікюру, але й важливим засобом профілактики професійних захворювань, пов'язаних із сенсibiliзацією до (мет)акрилатів.

Література

1. Mierina, I., Grigale-Sorocina, Z., & Birks, I. (2025). The Chemistry of Behind the UV-Curable Nail Polishes. *Polymers*, 17(9), 1166. <https://doi.org/10.3390/polym17091166>
2. Taki, K., & Nakamura, T. (2011). Effects of curing conditions and formulations on residual monomer contents and temperature increase of a model UV gel nail formulation. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications*, 1, Article 14017. <https://doi.org/10.4236/jcdsa.2011.14017>
3. Kucharczyk, M., Słowik-Rylska, M., Cyran-Stemplewska, S., Gieroń, M., Nowak-Starz, G., & Kręcis, B. (2021). Acrylates as a significant cause of allergic contact dermatitis: new sources of exposure. *Postepy dermatologii i alergologii*, 38(4), 555–560. <https://doi.org/10.5114/ada.2020.95848>
4. Guenther, J., Norman, T., Wee, C. P., & Adler, B. L. (2024). A survey of skin reactions associated with acrylic nail cosmetics, with a focus on home kits: Is there a need for regulation? *Dermatitis*, 35(1), 49–54.

<https://doi.org/10.1089/derm.2023.0204>

5. Gonçalo, M., Pinho, A., Agner, T., Andersen, K., Bruze, M., Diepgen, T., Foti, C., Giménez-Arnau, A., Goossens, A., Johanssen, J., Paulsen, E., Svedman, C., Wilkinson, S., & Aalto-Korte, K. (2017). Allergic contact dermatitis caused by nail acrylates in Europe: An EECDRG study. *Contact Dermatitis*, 78, n/a–n/a. <https://doi.org/10.1111/cod.12942>

6. Taki, K., & Nakamura, T. (2011). Effects of curing conditions and formulations on residual monomer contents and temperature increase of a model UV gel nail formulation. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications*, 1, Article 14017. <https://doi.org/10.4236/jcdsa.2011.14017>

7. AdFun4710. (2024). Please help understand quality of LED/UV lamps!!! Reddit.
https://www.reddit.com/r/GelNails/comments/1h4iy9a/please_help_understand_quality_of_leduv_lamps/

8. Simmons, E. (2021, July 21). UV vs LED nail lamp: What is the difference. MYLEE. <https://mylee.co.uk/blogs/news/uv-vs-led-nail-lamp-what-is-the-difference>

9. Silcare. (2025, June 27). How to choose the best UV nail lamp? [Blog post]. Retrieved from <https://silcare.com/en/blog/how-to-choose-the-best-uv-nail-lamp-1751014449.html>

10. Інтернет-магазин Розетка. (2025). Лампа для манікюру UV LED 24 Вт з USB [Товар № 539267159]. Отримано 15 листопада 2025 р. з <https://bt.rozetka.com.ua/ua/lampi-dlya-manikyura-bez-brenda-149027693/p539267159/>

11. Інтернет-магазин «ROZETKA». (2025). Лампа для манікюру SUN ONE 48 W UV/LED White [Товар № 208272709]. Отримано 15 листопада 2025 р. з <https://bt.rozetka.com.ua/ua/208272709/p208272709>

12. Інтернет-магазин EVA.UA. (2025). Лампа для манікюру Canni White UV/LED біла, 72 Вт [Товар № 643838]. Отримано 15 листопада 2025

р. із <https://eva.ua/pr242302/>

13. Інтернет-магазин Епіцентр К. (2025). Лампа для манікюру SUNUV SUN1 UV/LED для полімеризації 48 W Pink [Товар № 12081513]. Отримано 15 листопада 2025 р. з <https://epicentrk.ua/shop/mpic-lampa-dla-manikuru-sunuv-sun1-uv-led-dla-polimerizacii-48-w-pink-1ee473cd-12da-6fc4-b8d2-1bc1126ef2f4.html>

14. Warshaw EM, Voller LM, Silverberg JJ, et al. Contact Dermatitis Associated with Nail Care Products: Retrospective Analysis of North American Contact Dermatitis Group Data, 2001–2016. *Dermatitis*®. 2020;31(3):191-201. doi:10.1097/DER.0000000000000583

15. Gatica-Ortega, M. E., Pastor-Nieto, M. A., & Silvestre-Salvador, J. F. (2018). Allergic Contact Dermatitis Caused by Acrylates in Long-Lasting Nail Polish. *Dermatitis alérgica de contacto por acrilatos en esmaltes permanentes. Actas dermo-sifiliograficas*, 109(6), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2017.08.010>

16. Chou, M., Dhingra, N., & Strugar, T. (2017). Contact sensitization due to allergens in nail cosmetics: Identification, treatment, and prevention. *Dermatitis: Contact, Atopic, Occupational, Drug*, 28. <https://doi.org/10.1097/DER.0000000000000301>