

УДК 621.327

В.І. МАЛІНОВСЬКИЙ

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ТА ПРАКТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА, ОСОБИСТИХ РЕЧЕЙ ТА ПОВЕРХОНЬ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ПАНДЕМІЇ КОРОНОВІРУСУ

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

Анотація. В роботі розглядаються матеріали окремих досліджень, які ґрунтуються на закордонному та вітчизняному досвіді знезаражування поверхонь і особистих речей із забезпеченням високого ступеню очищення до 99.99% всіх мікроорганізмів в т.ч. сучасного вірусу, в основі яких є використання нехімічних методів обробки поверхонь. Особливо актуально це відзначається в умовах сучасної пандемії коронавірусної інфекції для забезпечення одночасно екологічної і хімічної безпеки, а також реалізації принципів ресурсозбереження, хімічної «чистоти» і цілісності об'єктів знезаражування

Анотация. В работе рассматриваются материалы отдельных исследований, основанных на зарубежном и отечественном опыте обеззараживания поверхностей и личных вещей для обеспечения высокой степени очистки в 99.99% всех микроорганизмов в т.ч. современного вируса, в основе которых положено использование нехимических методов обработки поверхностей. Особенно актуально это для условий современной пандемии коронавиральной инфекции для обеспечения одновременно экологической и химической безопасности, а также реализации принципов ресурсосбережения, химической «чистоты» и целостности объектов обеззараживания.

Abstract. The paper considers the materials of individual studies, which are based on foreign and domestic experience in disinfection of surfaces and personal belongings to ensure a high degree of elimination of up to 99.99% of all microorganisms, including modern virus, which is based on the use of non-chemical methods of surface treatment. This is especially true in the current pandemic crown viral infection to ensure both environmental and chemical safety, as well as the implementation of the principles of resource conservation, chemical "purity" and integrity of disinfection facilities.

Ключові слова: дезінфекція, CUV-діапазон, С-діапазон, ультрафіолетове випромінювання.

DOI: 10.31649/1681-7893-2020-39-1-45-51

ВСТУП

Сучасний закордонний та вітчизняний досвід знезаражування та очищення поверхонь від вірусо- бактеріо- небезпеки та інших біохімічних заражень ґрунтується на забезпеченні високого ступеню очищення до 99.99% усіх мікроорганізмів в т.ч. сучасного вірусу, в основі яких є використання нехімічних методів обробки поверхонь. Особливо актуально це для умов сучасної пандемії коронавірусної інфекції для забезпечення одночасно екологічної і хімічної безпеки, а також реалізації принципів ресурсозбереження, хімічної «чистоти» і цілісності об'єктів знезаражування.

Не викликає сумнівів актуальність і необхідність швидкої розробки і впровадження інноваційних перспективних засобів очищення і знезаражування поверхонь від нового вірусу, а також інших перспективних вірусів і бактерій на основі білкових структур і тканин в умовах сучасної пандемії. Більшість відомих технологій базуються на принципах хімічного очищення із переважним використанням хлорвмісних дезінфектантів в розчинній формі. Такий метод дезінфекції має свої недоліки і додаткові ризики при очищенні поверхонь, що пов'язані із додатковим впливом хімічно-активних речовин, які можуть негативно впливати на здоров'я оточуючих, а також на стан поверхонь об'єктів знезараження. Відома і вже достатньо вивчена [1] технологія бактеріологічного очищення на базі ультрафіолетового світла діапазону С (жорсткі УФ-хвилі із довжиною $\lambda=170-270\text{nm}$), яка впродовж тривалого часу використовується на практиці, переважно у медичних закладах. Не достатньо висвітлено у наукових джерелах досвіду використання даної технології з метою знезараження вірусу

SARS-COV-II (коронавірусу і його наслідків COVID-19) в сучасних умовах із забезпеченням одночасної екологічної і хімічної безпеки, а також реалізації принципів ресурсозбереження, хімічної «чистоти» і цілісності об'єктів знезаражування.

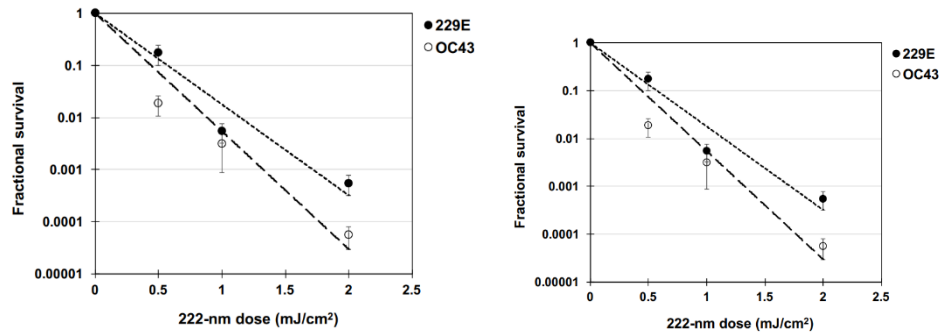


Рисунок 1. – Спектри ефективної області знезараження вірусної інфекції (графічне представлення) [1], в процесі впливу конструкції портативних HG UV – ртутних ламп діапазону deep-UV [1]

Дані методи базуються на впливі ультрафіолетового оптичного випромінювання [1]. Відома сучасна технологія бактеріологічного очищення на базі ультрафіолетового світла діапазону С [1] (хвилі із довжиною $\lambda=170-270\text{nm}$) впродовж тривалого часу використовується на практиці, переважно для промислового знезаражування у медичних закладах та лікарнях, які показали свою ефективність в т.ч. і з досвідом використання для знезараження вірусу SARS-COV-II (коронавірусу і його наслідків – хвороби COVID-19), що показано в роботі [1] для сучасних реалій.

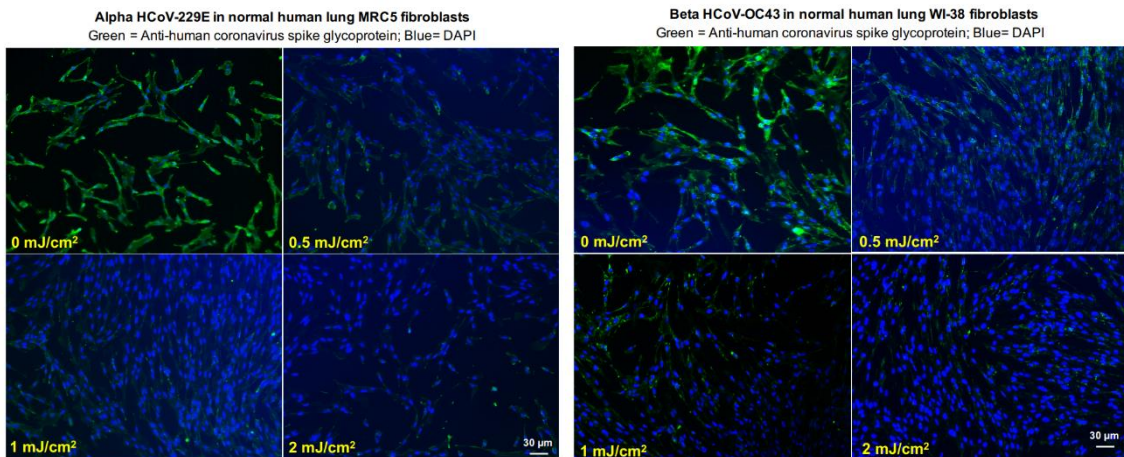


Рисунок 2. – Процеси знезараження від вірусної інфекції (графічне представлення) [1], в процесі впливу конструкції портативних HG UV – ртутних ламп діапазону deep-UV ефективного очищення(знезаражування) різними рівнями спектральної енергії [1]

Існують закордонні дослідження [2-4], в яких описується вплив ультрафіолетового випромінювання різних діапазонів (А, В, С) та показано ефективність саме жорсткого С – діапазону, із «акцентом» саме на його використання, де підтверджено ефективність методу опромінення ділянок, що підлягають знезараженню. Проте існує проблема – точного і майже 100% знешкодження небезпечного біологічного матеріалу і збудника інфекції. Не повне очищення обумовлене проявом ефекту не повного опромінення саме у темних ділянках, або не достатнього забезпечення експозиції. В процесі досліджень було встановлено (рис. 3), що ефективність і сам процес впливу на патогенну біоречовину і як наслідок - загальний ступінь ефективності залежить від декількох факторів: - ефективна довжина хвилі λ ; - питома інтенсивність I ; експозиція ($dI dt$); площа опромінення S_{ef} і площа тінювих ділянок $S_{тнк}$, а також їх відношення ($S_{ef} / S_{тнк}$), відповідний критерій $S_{ef} / S_{тнк} \rightarrow I$, умови безпека процесу, технічні та експлуатаційні параметри і характеристики кінцевих пристроїв на базі методу (до 10 параметрів) тощо.

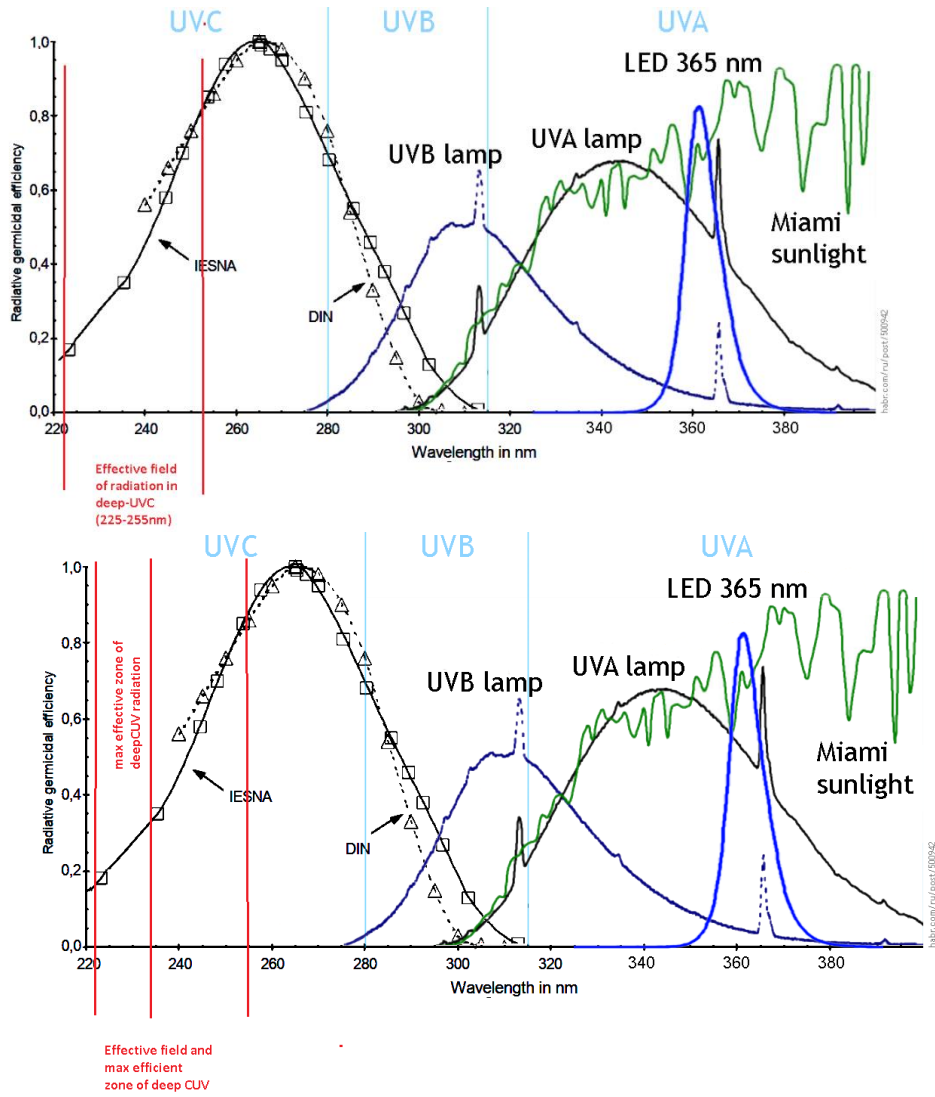


Рисунок 3. – Спектри CUV діапазону із зазначенням зон ефективного впливу для знезараження в ділянці deep-CUV-діапазону: 220-255nm

Встановлено та підтверджено досвідом закордонних праць, що основний діапазон ефективних довжин хвиль повинна знаходитись у нижній ділянці CUV – діапазону, зокрема 220-255nm (deep CUV), а не у всьому діапазоні C – спектру ультрафіолету (умовна ефективність при цьому досягає значень 99.0-99.99% стерилізації).

В діапазоні випромінювання deep CUV відбувається максимально-ефективне і максимально швидке знезараження ультрафіолетовим випромінюванням.

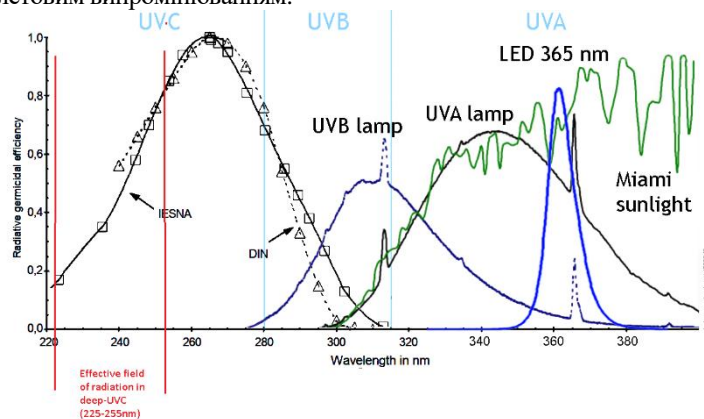


Рисунок 4. – Спектри CUV діапазону із виділенням зони максимально ефективного впливу - deep-CUV-діапазон(220-255nm)

Оскільки методи досліджень ступеню очищення середовища і поверхонь мають обмеження по достовірності результату у зв'язку із неможливістю проведення відповідного лабораторного контролю та потребують для перевірки високовартісного спектроскопічного та іншого лабораторного вимірювального обладнання, дані узагальнюються по показникам загального знезаражування.

Встановлено та підтверджено закордонними працями, що ефективна довжина хвилі повинна знаходитись у нижній ділянці CUV –діапазону, зокрема 220-255нм (deep CUV), а не у всьому діапазоні C – спектру ультрафіолету (умовна ефективність при цьому досягає значень 99,0-99,99% стерилізації).

Саме в цьому діапазоні випромінювання deepCUV відбувається максимально-ефективна і максимально швидке знезаражування ультрафіолетом.

Експозиція в ефективному спектральному діапазоні становить порядку 8,2-9Вт/м² (повна експозиція джерел більша (до 15-25хв, в залежності від площі) і враховує повну спектральну ефективність 15-25% для ртутних ламп тліючого розряду і низького тиску та ртутно-дугових ламп високого тиску 4,5-10% в спектрі deep CUV).

Більшість відомих світлодіодних LED- джерел випромінювання мають лише мінімум в цих діапазонах, що підтверджує їх значно меншу ефективність для процесу знезаражування та необхідність значного в 5 – 10 разів збільшення тривалості експозиції в часовому еквіваленті. Більшість світлодіодів маютья піки зміщенні в червону ділянку спектру і не знаходяться у необхідній deep CUV ділянці, яка максимально впливає на процес швидкої і сильної деструкції вірусних білків (вірусних РНК) та інших білків мікроорганізмів. Окрім того, метод очищення і знезараження від вірусних і бактеричидних інфекцій на базі використання ультрафіолетового випромінювання deepUV діапазону має ще одну позитивну особливість – окрім знезаражування поверхонь, особистих речей і простору забезпечується генерація озону O₃, який протягом не тривалого часу t=5-10хв розпадається і генерує чистий кисень O₂ (3O₂ +hv_{deepCUV} → 2O₃ або 3CO₂ +hv_{deepCUV} → 2O₃ (t=300-600с) → 2O₃ | t→ 3O₂). Таким чином, окрім вірусного очищення відбувається насичення повітря в приміщеннях оброблення чистим киснем, що сприяє покращенню екологічного середовища. В проведеному дослідженні, також встановлено, що спектральні енергетичні характеристики джерел S(P, λ_{deepCUV}) на базі компактних кварцевих ртутних ламп низького тиску значно кращі за характеристиками та ефективністю процесу знезараження порівняно з ртутно-дуговими лампами високого тиску (із дуговим розрядом), а також більшості відомих світлодіодних LED-джерел CUV спектру. В останніх при досягненні робочого режиму і при виході на робочі тиски спектри зміщуються в червону ділянку і виходять за ділянку deep CUV діапазону, таким чином до 85-90% енергії витрачається неефективно. Для практичного розуміння, наприклад ртутно-дуговий випромінювач на 250-300Вт (типу ДРТ, ДРЛ, ДРШ, НГО), можна замінити випромінювачами потужністю 15-25Вт, на базі компактної ртутної лампи низького тиску, які по спектральній ефективності саме в deep CUV діапазоні перебивають переваги перших ламп по потужності. До того ж має значення стабільність спектру, ефективність і швидкість пуску таких джерел.

Експлуатаційні, малогабаритні та енергетичні характеристики компактних ртутних ламп із кварцовою оболонкою або уліоловим кварцевим склом, призначених для знезараження значно кращі ніж аналогічні характеристики для ламп низького тиску. Це джерело є оптимальним рішенням проблеми ліквідації небезпечного вірусу і потенційно небезпечних мікроорганізмів, в складі яких є органічні білки та може бути використано для багаторазового знезараження особистих речей, робочих та інших поверхонь за умов дотримання експозиції та може становити ефективну багаторазову альтернативу хімічним засобам дезінфекції при безпечній експлуатації. Метод ультрафіолетового знезараження є основним із сучасних відносно перспективних хімічно та біологічно “чистих” нейтральних методів, що можуть знайти використання в умовах потенційно небезпечних перспективних загроз. Вже наявні окремі (але на жаль не всі) продукти і кінцеві технічні рішення для реалізації даного методу на ринку, у промисловому та побутовому масштабі.

Перспективним також є поєднання кінцевих апаратних рішень технології на базі методу ультрафіолетового знезараження із сучасними інформаційними системами керування рівнем експозиції та із можливістю реалізації інтелектуального контролю даного процесу та його параметрів, що викликає інтерес як з наукової, експлуатаційної, так і з комерційної точок зору, та може знайти використання на ринку.

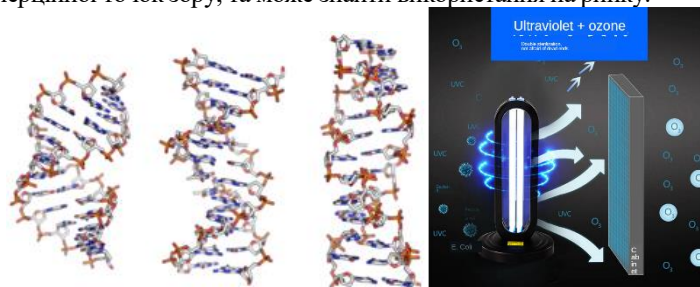


Рисунок 5. – Наближена модель вірусної РНК вірусу та вплив на неї ультрафіолетового випромінювання



Рисунок 6. – Приклади застосування технології і методу портативного CUV – очищення

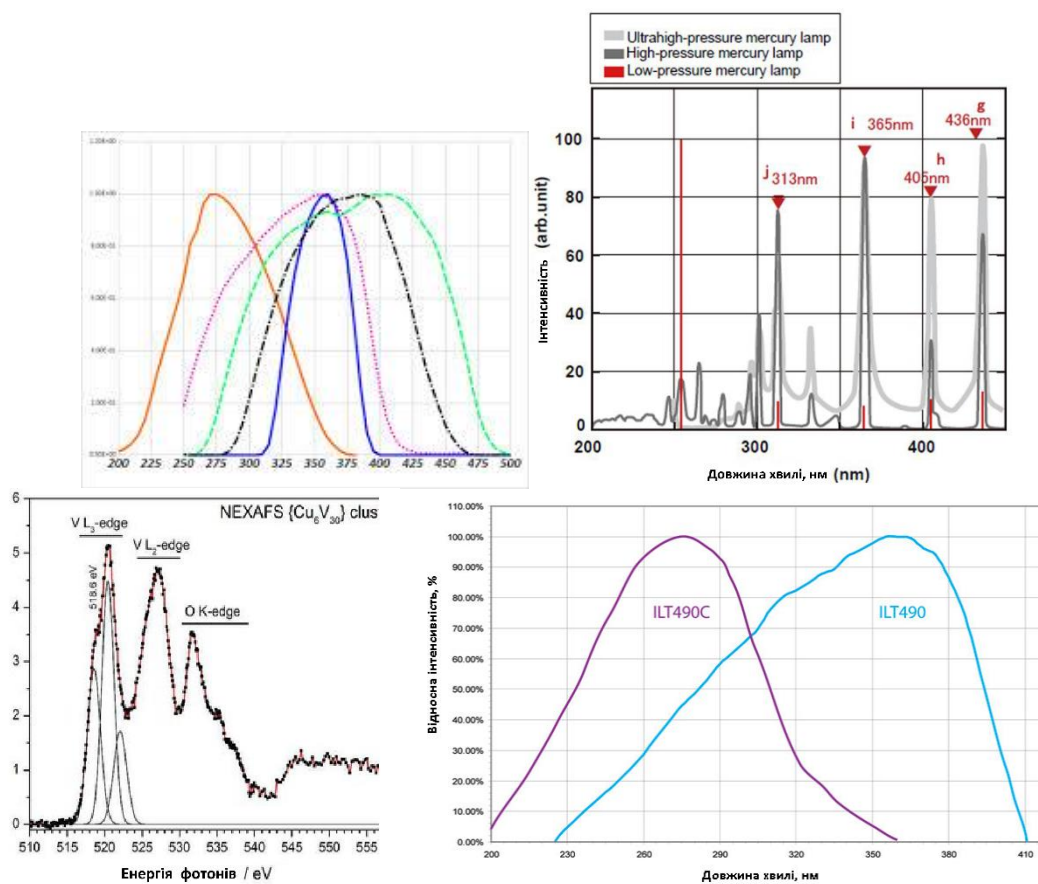


Рисунок 7. – Різні спектри UV – діапазону та їх ефективність для знезаражування

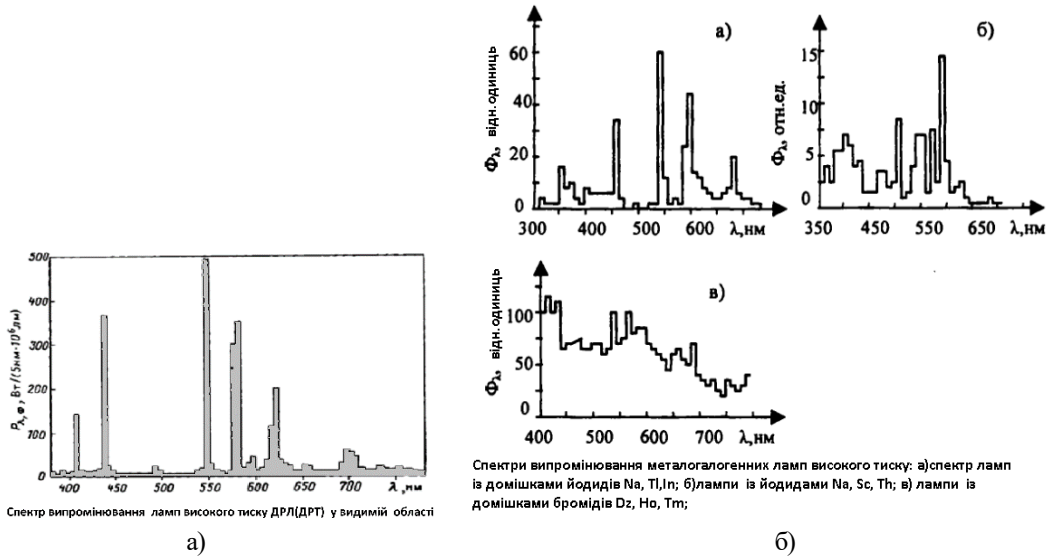


Рисунок 8. – Використання спектрів CUV діапазону та їх придатність у різних газорозрядних джерелах світла високого тиску (дугових ртутних лампах і ртутних лампах низького тиску): а) спектри ртутних ламп; б) спектри метало-галогенних ламп

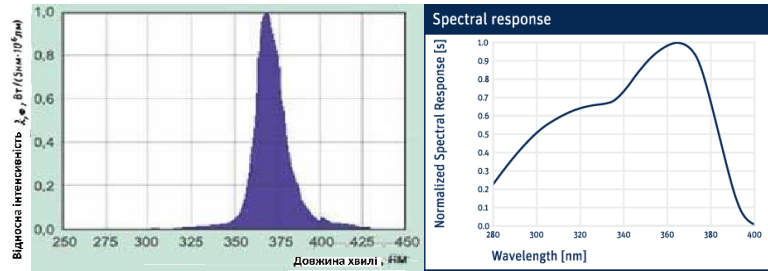


Рисунок 9. – Спектри CUV діапазону із орієнтацією на deep-UV саме в газорозрядних джерелах – ртутних лампах низького тиску

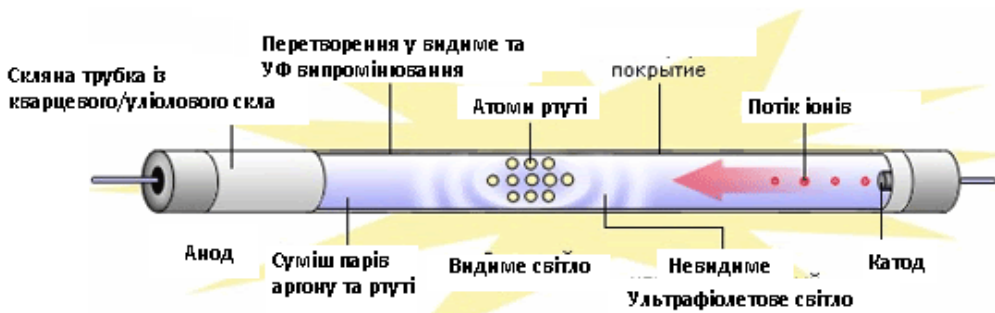


Рисунок 10. – Конструкція портативних HG UV-ртутних ламп низького тиску діапазону deep-UV для ефективного вірусного і бактеріологічного очищення (знезаражування)

Саме умови і конструкція портативних HG UV – ртутних ламп низького тиску дозволяють генерувати випромінювання у діапазоні deep-UV (поблизу точки ($\lambda_c=222-225\text{nm}$), що оптимально підходить для максимально ефективного вірусного і бактеріологічного очищення (знезаражування). Спектри цих джерел максимально-ефективної області знезараження вірусної інфекції також мають портативнів HG UV – ртутні лампи низького тиску , які працюють у діапазоні deep-UV в околі точки 222nm.

ВИСНОВКИ

В статті було розглянуто матеріали окремих досліджень, як власних так і досвіду закордонних вчених і спеціалістів[1], які ґрунтуються на роботі із знезаражування поверхонь і особистих речей для забезпечення високого ступеню

вірус- і бактеріо- очищення (до 99,99%) та інших біологічних мікроорганізмів в т.ч. сучасного вірусу, в основі яких є використання нехімічних методів обробки поверхонь. Особливо актуально це відзначається в умовах сучасної пандемії корона вірусної інфекції для забезпечення одночасно екологічної і хімічної безпеки, а також реалізації принципів ресурсозбереження, хімічної «чистоти» і цілісності об'єктів незаражування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shurzak, David J. Brenner Far-UVC light efficiently and safety inactivates airborne human coronaviruses / Reseach Square(Reseach Article/Virology) . doi:10.21203/rs.3.rs-25728v1 (2020). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу World Wide Web: <https://www.resaechsquare.com/article/rs-25728/v1>.
2. Zohreh Sharifi , Fatemeh Yari .The Effects of Ultraviolet Light and Riboflavin on Inactivation of Viruses and the Quality of Platelet Concentrates at Laboratory Scale / Hamideh Mirshafiee Zohreh Sharif, Syed Masoud Hosseini, Fatemeh Yari, Hamed Nikbakht and Hamid Latifi, Fatemeh Yari // Rearch Gate: Lorestan University of Medical Sciences / April 2019.- [Електронний ресурс], режим доступу WWW: <https://www.researchgate.net/publication/279727244>
3. Kowaiski, W.J. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. (New York: Springer, 2009).
4. Budowsky E.I., Bresler S.E. Friedman E.A. & Zeleznova N.V. Principles of selective inactivation of viral genome.I. UV-induced inactivation of influenza virus. Arch Virol 68, 239- 247 (1981).
5. Naunovic Z., Lim S., & Blatchley E.R., 3rd. investigation of microbial inactivation efficiency of a UV disinfection system employing an eximer lamp. Water Res 42, 4838-4846. doi:10.1016/j.watres.2008.09.001 (2008).

REFERENCES

1. Manuela Buonanno, David Welch, Igor Shurzak, David J. Brenner Far-UVC light efficiently and safety inactivates airborne human coronaviruses / Reseach Square(Reseach Article/Virology) . doi:10.21203/rs.3.rs-25728v1 (2020). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу World Wide Web: <https://www.resaechsquare.com/article/rs-25728/v1>.
2. Zohreh Sharifi , Fatemeh Yari .The Effects of Ultraviolet Light and Riboflavin on Inactivation of Viruses and the Quality of Platelet Concentrates at Laboratory Scale / Hamideh Mirshafiee Zohreh Sharif, Syed Masoud Hosseini, Fatemeh Yari, Hamed Nikbakht and Hamid Latifi, Fatemeh Yari // Rearch Gate: Lorestan University of Medical Sciences / April 2019.- [Електронний ресурс], режим доступу WWW: <https://www.researchgate.net/publication/279727244>
3. Kowaiski, W.J. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. (New York: Springer, 2009).
4. Budowsky E.I., Bresler S.E. Friedman E.A. & Zeleznova N.V. Principles of selective inactivation of viral genome.I. UV-induced inactivation of influenza virus. Arch Virol 68, 239- 247 (1981).
5. Naunovic Z., Lim S., & Blatchley E.R., 3rd. investigation of microbial inactivation efficiency of a UV disinfection system employing an eximer lamp. Water Res 42, 4838-4846. doi:10.1016/j.watres.2008.09.001 (2008).

МАЛІНОВСЬКИЙ ВАДИМ ІГОРЕВИЧ – к.т.н., доцент кафедри Захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.