

Азархов О. Ю., Яворський О. В., Сілі І. І., Єфременко Б. В.

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОЇ ДЕЗІНФЕКЦІЇ КЕРОВАНА МІКРОКОНТРОЛЕРОМ

Ультрафіолетова дезінфекція – ефективний метод знищення мікроорганізмів за допомогою УФ-випромінювання. Цей процес стає все більш популярним у багатьох галузях, включаючи медицину. Особливість методу в тому, що знищуючи ДНК мікроорганізмів, він завдає шкоди всьому їхньому життєвому циклу. Розвиток ультрафіолетової дезінфекції охоплює вдосконалення технологій, збільшення потужності ультрафіолетових джерел, вдосконалення системи безпеки та автоматизації. Інновації включають в себе мобільні пристрої, розроблені для дезінфекції поверхонь у громадських місцях, а також ультрафіолетові системи для очищення повітря. Бактерицидні бокси вважаються інноваційними пристроями, які використовують ультрафіолетове випромінювання для дезінфекції різноманітних предметів та поверхонь. Бактерії та віруси, які можуть бути присутні на предметах, попадають під вплив ультрафіолетового світла і знищуються. Ці бокси ефективно борються з патогенами, забезпечуючи безпечне середовище для користувачів. В даній роботі розроблено та запропоновано пристрій бактерицидної ультрафіолетової дії який складається з трубчастої ультрафіолетової лампи, що випромінює ультрафіолетове випромінювання типу UVC у діапазоні 253 нм протягом 25 хвилин. Процес дезінфекції управляється мікроконтролером Arduino Uno. Запроектовано блок живлення пристрою, до складу якого входять понижуючий трансформатор напруги, випрямляч, ємнісні фільтри, регулятори напруги 12В та 5В. За допомогою цієї системи було досягнуто ефективного і безпечного знищення патогенних мікроорганізмів. Результати дослідження свідчать про перспективність використання інтегрованої системи ультрафіолетової дезінфекції, як ефективного та надійного інструменту для забезпечення безпеки та гігієни в різних галузях.

Ключові слова: : ультрафіолетове випромінювання, бактерицидна лампа, дезінфекція, Ардуіно, регулятор напруги, понижуючий трансформатор, діодний міст, ємнісний фільтр, прототип.

Постановка проблеми. Антисептик - це речовина, який знищує або дезактивує небезпечні патогени (такі як віруси, бактерії, гриби, водорості, і т.д.). Антисептики на основі хімічних речовин, такі як санітайзери, широко використовуються для дезінфекції мікробів. Зазвичай санітайзери містять спирт та використовуються лише для особистої гігієни.

Ультрафіолетові (УФ) стерилізаційні бокси можуть бути використані для стерилізації різних предметів, наприклад контактних лінз або окулярів. Для цих типів стерилізаторів, як правило, використовується лише одне джерело випромінювання, тому на об'єкті, який потрібно стерилізувати, часто є області, які захищені від УФ-випромінювання, що генерується з одного джерела. Крім того, під час процесу стерилізації часто необхідно поміщати стерилізований об'єкт на підставку, яка вже не є прозорою для УФ-випромінювання. В даному випадку підставка також допомагає захистити предмети, які потрібно дезінфікувати, від УФ-випромінювання.

Використовуються різноманітні методи для дезінфекції поверхонь за допомогою УФ-світла. Один із прикладів - це метод мобільного стерилізаційного пристрою, описаний для стерилізації перегородок і стелі кімнати [1]. Бактерицидна лампа розміщується близько до стіни та/або стелі для дезінфекції обраної поверхні. Ще один метод описує дезінфекцію

повітря за допомогою УФ-випромінювання [2]. Деякі інші технології пропонують візок з колесами, який дозволяє оператору переміщати обладнання по підлозі для стерилізації [3].

Раніше бактерицидні бокси на основі ультрафіолету використовувалися лише в мікробіологічних лабораторіях для знищення мікробів. При досить високій ефективності знищення мікроорганізмів, час дезінфекції таких пристроїв становить більше 4 хвилин. Широке розповсюдження та спалах пандемії COVID-19, призвів до збільшення поверхонь вкритих небезпечними вірусами, в результаті здорова людина, яка контактує з поверхнею, має високу ймовірність заразитися. Тому, наряду з особистою гігієною, санітарна обробка поверхонь стає більш актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. УФ-промені - це один із типів електромагнітного випромінювання, довжина хвилі яких коротша, ніж видиме світло, і довша, ніж рентгенівські промені. УФ-промені було відкрито в фіолетовому частині видимого світла. Загалом, природне ультрафіолетове світло походить від сонячної енергії. УФ-промені поділяються на UVA, UVB та UVC [4]. Тоді як UVA випромінювання має довші хвилі та вони не поглинаються шарами атмосфери Землі, 95% UVB-променів і всі UVC-промені не доходять до земної поверхні.

Було помічено, що сонячне світло проявляє бактерицидні властивості [4]. Пізніше було виявлено, що короткі довжини хвиль УФ-променів мають схильність дезінфікувати мікроорганізми, такі як бактерії [5]. Крім того, було доведено, що короткі довжини хвиль УФ-променів можуть безпосередньо руйнувати ДНК мікробів [6]. Серед трьох типів ультрафіолетового випромінювання антимікробну активність найчастіше спостерігають в діапазоні UVC при 253,7 нм [7] (максимальне поглинання нуклеїнових кислот при 265 нм), яке зазвичай отримується за допомогою бактерицидних ламп. Однак виявлені ризики для здоров'я, пов'язані з впливом цих ламп, передусім пошкодженням очей та шкіри [8]. Тим не менш, недавні дані свідчать, що UVC при 222 нм теж проявляє бактерицидну активність [9], але не завдає шкоди очам та шкірі мишей [10]. Ці дані є попередніми, і для визначення безпеки ультрафіолетового випромінювання при 222 нм, особливо його можливих довгострокових впливів на здоров'я людини, потрібні подальші дослідження. Для потреб медицини була винайдена та знайшла своє застосування УФ-лампа з електричною розрядною частиною для лікування деяких захворювань [11]. При використанні даних ламп при поточному рівні ефективної дози (3 мДж/см²/год), UVC випромінювання може інактивувати приблизно 90% вірусів за 8 хвилин, 95% - за 11 хвилин та 99,9% - за 25 хвилин [4]. Пізніше була введена система очищення води на основі УФ для очищення забрудненої питної води шляхом вбивання до 99% мікробів. Паралельно з індустріальною революцією, багато водних ресурсів продовжують забруднюватися, і захворювання які передаються водним шляхом щороку зростають. Згідно з наявною статистикою, близько 2,3 мільярда людей по всьому світу страждають від різних захворювань, і близько 2,2 мільйонів людей помирають щороку від вживання забрудненої води [12]. Серед них досить великий відсоток дітей до 7 років. Крім того, обробка води методом оберненої осмоси сама по собі повільна і не ефективна у видаленні небезпечних речовин.

Отже, для підвищення ефективності дезінфекції патогенів потрібна нова інтегрована система на основі UVC випромінювання. Вплив ультрафіолетового бактерицидного опромінення зможе дезінфікувати повітря від наявних шкідливих мікроорганізмів. Найбільш широко використовуються розрядні люмінесцентні лампи з низьким ртутним тиском, які випромінюють короткі хвилі з довжиною хвиль між 100 і 280 нм [7]. Хоча UVC може бути використане для дезінфекції повітря, воно має певні обмеження. Для подолання цих обмежень потрібне додаткове світопоглинальне захисне обладнання, на відміну від звичайного УФ-випромінювання типу UVA.

Мета дослідження. Мета наукової статті полягає у розробці прототипу та дослідженні ефективності інтегрованої системи ультрафіолетової дезінфекції, що використовує мікроконтролер для керування та моніторингу процесу. Основними завданнями дослідження є розробка апаратного забезпечення для мікроконтролера, яке забезпечить точне регулювання параметрів ультрафіолетового випромінювання, а також безпеку та автоматизацію процесу. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних параметрів роботи системи з метою максимальної ефективності ультрафіолетової дезінфекції при мінімальному використанні ресурсів.

Основний матеріал дослідження. Пропонований пристрій бактерицидної ультрафіолетової дії складається з трубчастої ультрафіолетової лампи TUV, що випромінює ультрафіолетове випромінювання типу UVC у діапазоні 253 нм протягом 25 хвилин [4]. Мікроконтролерний ультрафіолетовий бактерицидний пристрій включає в себе блок живлення, до складу якого входить понижуючий трансформатор напруги для зниження напруги з 230В до 12В змінного струму (рис.1). Далі, вихід 12В змінного струму підключений до випрямляючого мосту на 4-х діодах для перетворення 12В змінного струму в 12В постійного струму. За допомогою інтегральної мікросхеми регулятора напруги типу 7812 забезпечено живлення 12В постійного струму (рис. 2) для лампи, а також 5В постійного струму за допомогою інтегральної мікросхеми регулятора напруги типу 7805 для живлення мікроконтролера, електромагнітного реле та 16x2 ЖК-дисплея з інтерфейсом I2C. В пристрої запропоновано використати мікроконтролер Arduino Uno, оскільки він найбільше підходить для поставлених в роботі задач [10].

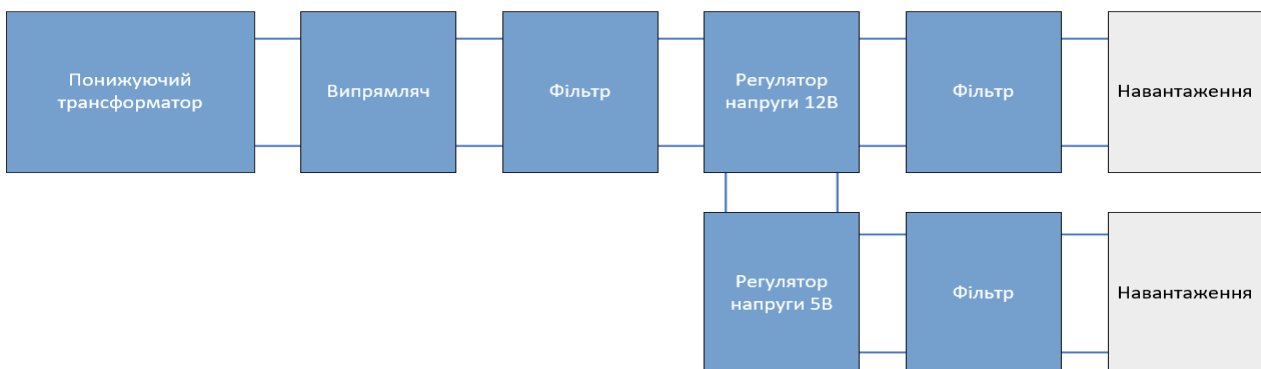


Рисунок 1 – Блок-схема випрямлення та зниження напруги 230В/12В/5В

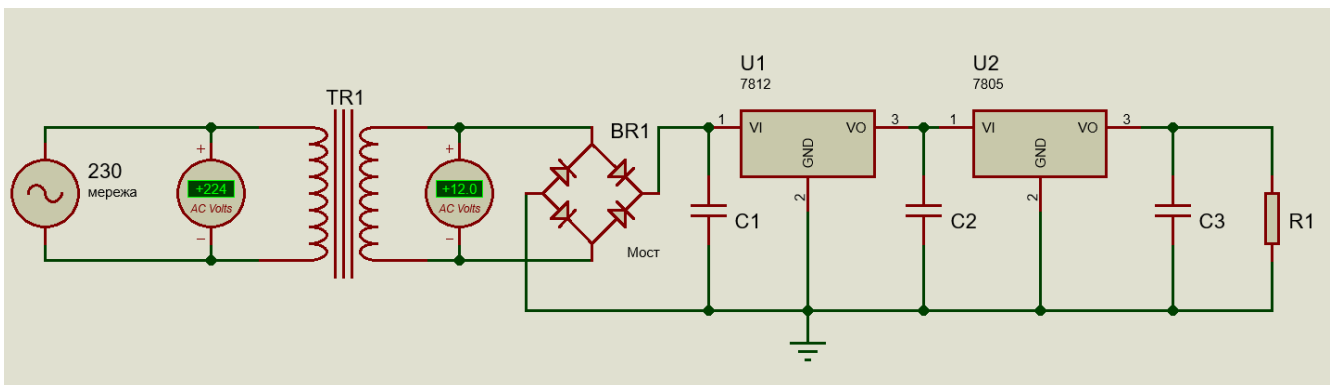


Рисунок 2 – Принципова електрична схема блоку живлення УФ бактерицидного пристрою розроблена в програмному середовищі Proteus

Понижуючий трансформатор 230В на 12В є ключовим компонентом в електричних системах, що використовується для забезпечення безпечного живлення низьковольтних пристроїв. Цей пристрій здатен знизити стандартну мережеву напругу 230 Вольт (рис.3) до значення 12 Вольт, що є ідеальним для живлення різноманітних електронних пристроїв, наприклад таких як бактерицидні лампи. Понижуючі трансформатори забезпечують стабільну та безпечну роботу пристроїв, зменшуючи ризик пошкодження через високу напругу. Використання понижуючих трансформаторів сприяє стабільності роботи пристроїв та їх безпеці.

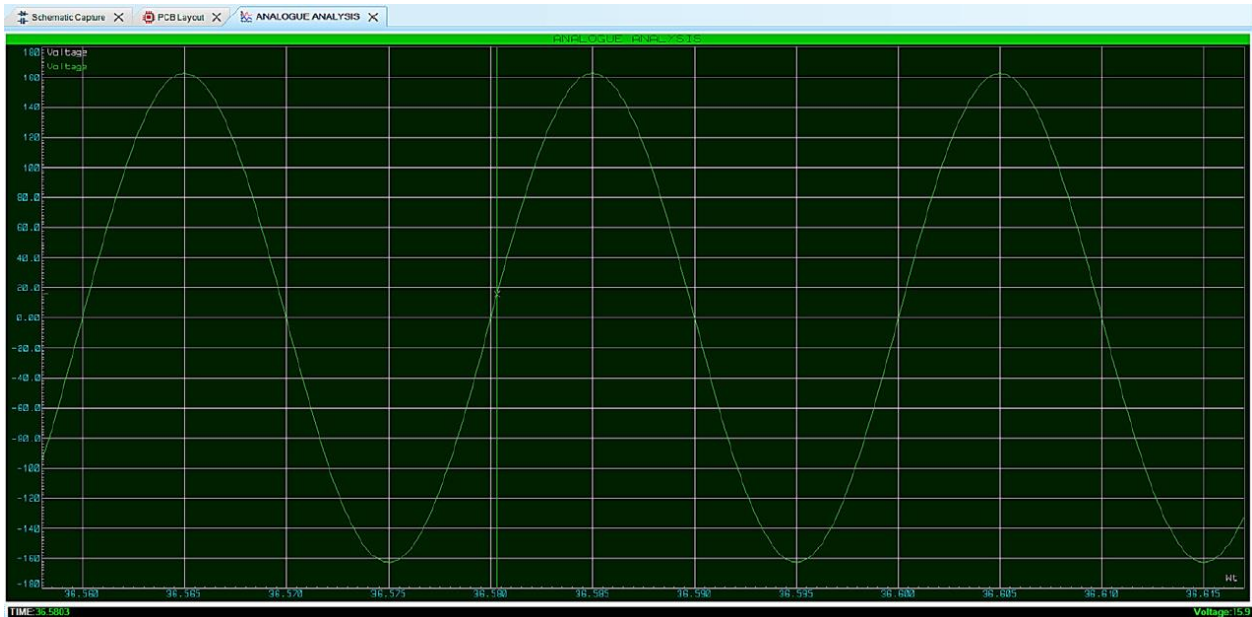


Рисунок 3 – Осцилограма вхідної напруги поданої на понижувальний трансформатор

$$V_{\max} = 325 \text{ B}, V_{\text{rms}} = 325 / \sqrt{2}, V_{\text{rms}} = 220 \text{ B}$$

Для випрямлення змінного струму (рис.4) нами було обрано діодний міст типу KBU1010

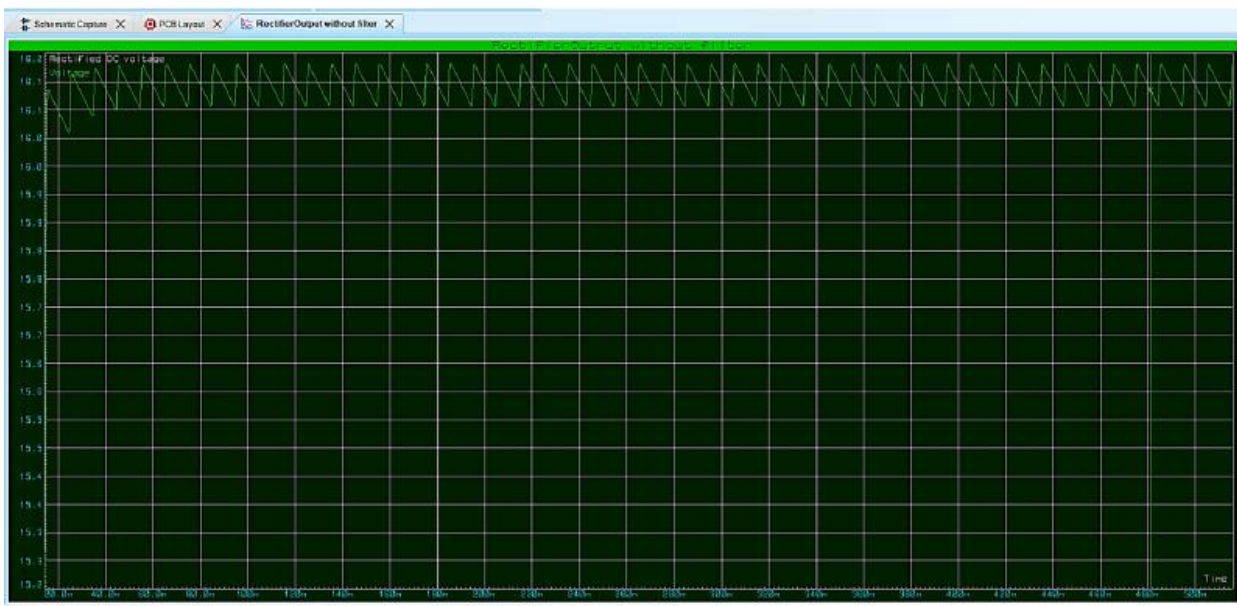


Рисунок 4 – Осцилограма випрямленої напруги без застосування ємнісних фільтрів

для живлення бактерицидного пристрою з кількох причин. По-перше, діодний міст є ефективним та надійним методом перетворення змінного струму на постійний. По-друге, діодні мости мають високу ефективність випрямлення, що дозволяє зменшити втрати енергії під час конвертації напруги. Крім того, вони мають компактну конструкцію, що робить їх ідеальними для використання в пристроях з обмеженими розмірами. Діодні мости також забезпечують стабільний вихідний струм, що є важливим для правильної роботи бактерицидного пристрою.

На першому етапі фільтрації, використовується електролітичний конденсатор ємністю 1000 мФ і напругою 25 В підключеного на вихід випрямляча. На другому етапі фільтрації, на виходах від регуляторів напруги 7812 та 7805 використовуються електролітичні конденсатори ємністю 100 мФ і напругою 25 В для усунення непотрібних коливань.

Конденсатори використані для фільтрації випрямленої пониженої напруги живлення бактерицидного пристрою з кількох причин. Конденсатори відмінно поглинають високочастотний шум та сприяють згладжуванню вхідного напругового сигналу, що допомагає забезпечити стабільне живлення пристрою; допомагають уникнути коливань вихідного струму, що особливо важливо для бактерицидного пристрою, оскільки він може вимагати постійної та стабільної напруги для ефективної роботи. Крім того, конденсатори допомагають захистити пристрій від перешкод та сприяють підвищенню його надійності та тривалості служби. Їх легко встановлювати та підтримувати, а також вони є відносно недорогими, що робить їх ефективним вибором для фільтрації напруги в бактерицидних пристроях.

Для забезпечення стабільної постійної напруги живлення 12В використовується мікросхема 7812IC (рис. 5). Мінімальна вхідна напруга до мікросхеми становить +14В, щоб забезпечити необхідні 12В на виході. Мікросхема має можливість налаштування вихідної напруги за допомогою двох зовнішніх резисторів. 7812IC має захист від перевантажень та короткого замикання, що забезпечує надійну роботу під час експлуатації.

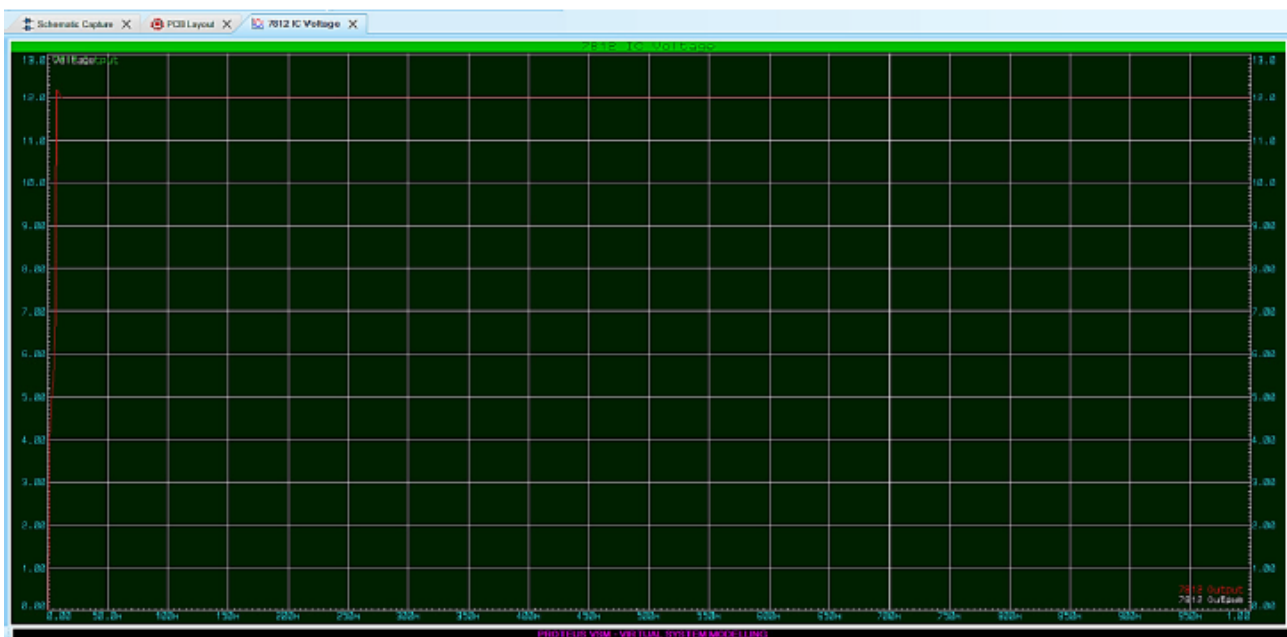


Рисунок 5 – Осцилограма випрямленої фіксованої вихідної напруги 12В від мікросхеми 7812 з ємнісним фільтром

Стабілізатор напруги LM7805 - це інтегральна мікросхема, призначена для забезпечення стабільної вихідної напруги 5В постійного струму. Вона працює на принципі автоматичного регулювання вихідної напруги незалежно від змін вхідної напруги або навантаження. LM7805 забезпечує захист від перевантажень та коротких замикань, що робить його надійним компонентом для живлення бактерицидного пристрою (рис. 6). Ця мікросхема широко використовується у різних застосуваннях, де потрібна стабільна постійна напруга 5В, наприклад для мікроконтролерів.

На рисунку 7 зображена лампа TUV потужністю 16 Вт. Ультрафіолетові лампи TUV – це низькотискові ртутні розрядні лампи, які використовуються в професійних системах очищення повітря та води. Трубчасте скляне тіло використовується для випромінювання коротких довжин хвиль UVC діапазону приблизно на рівні 253 – 254 нм, коли через два електроди пропускається електричний струм, що збуджує ртутний філамент, який в свою чергу генерує випромінювання енергії.

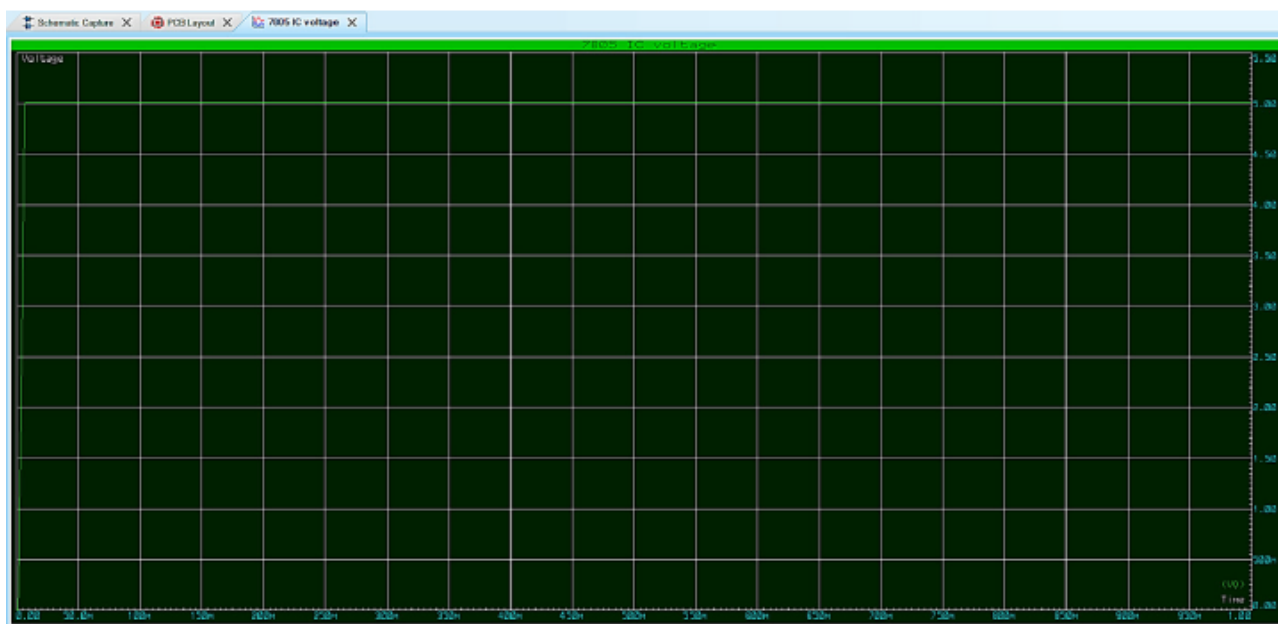


Рисунок 6 – Осцилограма випрямленої фіксованої вихідної напруги 5В від мікросхеми 7805 з ємнісним фільтром

Використання цієї лампи в пропонованому пристрої полягає у генерації ультрафіолетового опромінення UVC для бактерицидної дії. Ці лампи TUV оснащені двосторонньою базовою кришкою (G5) з матеріалу, стійкого до високих температур та УФ-випромінювання. У цій базовій кришці є два електроди (штифти), один з яких є анодом, а інший - катодом.



Рисунок 7 – Ультрафіолетова лампа TUV TL 16

Проектований пристрій працює наступним чином (рис. 8):

Біомедична інженерія

- Етап 1: Об'єкт для дезінфекції поміщається всередину бактерицидного пристрою (камери). Після ввімкнення живлення, замок постійного струму 12 В за допомогою попередньо встановленого таймера, налаштованого на мікроконтролері Ардуіно, закриває дверцята з акрилу.
- Етап 2: Вмонтована лампа TUV (для генерації ультрафіолетового опромінювання UVC) та аксіальний вентилятор (для відведення очищеного повітря) вмикаються за допомогою електромагнітного реле.
- Етап 3: Повітря всмоктується всередину пристрою через мікроскопічні отвори, розташовані безпосередньо під аксіальним вентилятором.
- Етап 4: Внутрішня поверхня камери вкрита алюмінієвою фольгою, завдяки якій ультрафіолетове світло UVC відбивається всередині камери та не потрапляє назовні.
- Етап 5: Таймер починає відлік часу та відображає його на ЖК-дисплеї для відслідковування часу дезінфекції (25 хв).
- Етап 6: Після того, як обчислювальний таймер досягне нуля, замок постійного струму вимикається автоматично, і дверцята готові для відкривання вручну; дезінфікований об'єкт витягають з камери.

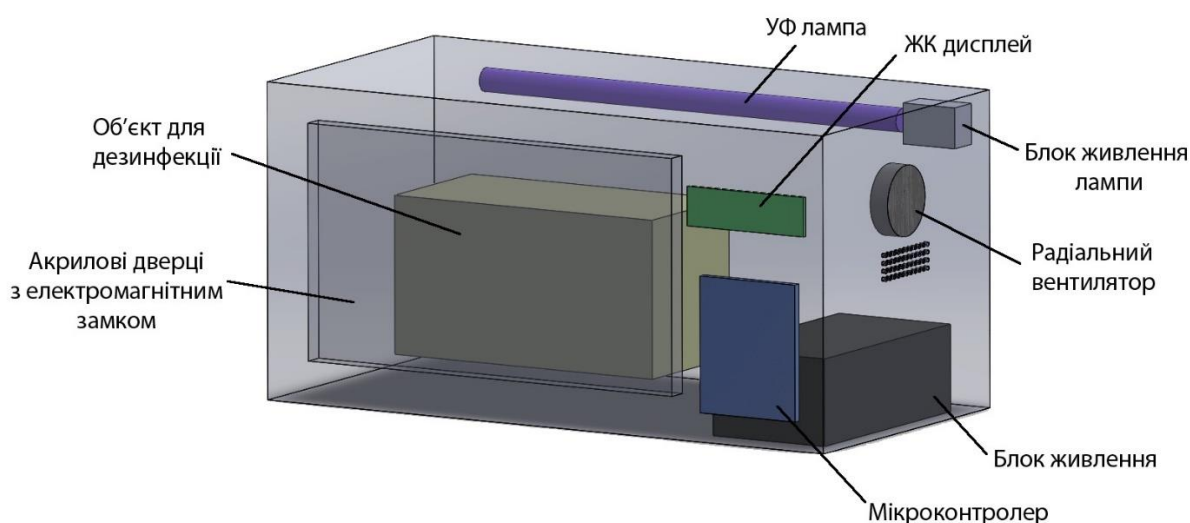


Рисунок 8 – Загальний вигляд 3Д моделі пропонованого бактерицидного ультрафіолетового пристрою дезінфікуючої дії

Пристрій використовує ультрафіолетове випромінювання для усунення бактерій, вірусів, грибків та інших патогенних мікроорганізмів. УФ промені здатні ефективно знищувати мікроорганізми на поверхнях та у повітрі, що робить пристрій ефективним засобом дезінфекції. Процес дезінфекції ультрафіолетовим світлом відбувається швидко, що дозволяє швидко очищувати приміщення або поверхні від шкідливих мікроорганізмів. УФ промені, які використовуються в пристрої, зазвичай не випромінюються на людину під час роботи за рахунок фольгєвої обкладинки, що робить його безпечним для використання в присутності людей. Пристрій не вимагає використання хімічних засобів дезінфекції, тому є екологічно чистим способом боротьби зі шкідливими мікроорганізмами. Бактерицидні пристрої УФ дезінфекції можуть бути використані в різних сферах, не тільки в медицині, а і у громадських місцях, продуктових закладах, готелях, офісах тощо.

ВИСНОВКИ

У даній науковій статті розглянуто та розроблено прототип інтегрованої системи ультрафіолетової дезінфекції, керованої мікроконтролером Arduino Uno. За допомогою цієї системи досягнуто ефективного і безпечного знищення патогенних мікроорганізмів за допомогою ультрафіолетового випромінювання в діапазоні 253 нм. Використання мікроконтролера дозволило автоматизувати процес управління дезінфекційними процедурами та задати час опромінення на рівні необхідних 25 хвилин. Це призвело до підвищення точності та надійності процесу дезінфекції. Система продемонструвала добру енергоефективність, що робить її економічно вигідною для застосування в різних галузях, включаючи медицину. Інтегрована система ультрафіолетової дезінфекції, керована мікроконтролером, має значний потенціал для використання в умовах, де вимагається високий рівень гігієни та безпеки. Результати дослідження свідчать про перспективність використання інтегрованої системи ультрафіолетової дезінфекції, як ефективного та надійного інструменту для забезпечення безпеки та гігієни в різних галузях.

Список використаних джерел

1. Fairand, B. P. Radiation sterilization for health care products: X-ray, gamma, and electron beam. / Fairand, B. P. // CRC Press. 2001. 160 p. <https://doi.org/10.1201/9781482286205>.
2. Rutala, W. A. Infection control: The role of disinfection and sterilization. / Rutala, W. A., Weber, D. J. // Journal of Hospital Infection, 43(1), S43eS55. 2009. [https://doi.org/10.1016/S0195-6701\(99\)90065-8](https://doi.org/10.1016/S0195-6701(99)90065-8).
3. Han Z. Environmental cleaning and disinfection of hospital rooms: A nationwide survey. / Z. Han, E. Pappas, A. Simmons, J. Fox, C. J. Donskey, A. Deshpande // American Journal of Infection Control. Volume 49, Issue 1, January 2021, Pages 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.08.008>.
4. Hadi J. Control measures for SARS-COV-2: a review on light-based inactivation of single-stranded rna viruses / J. Hadi, M. Dunowska, S. Wu, G. Brightwell // Pathogens, 9 (9). 2020. pp. 1-30, <https://www.mdpi.com/2076-0817/9/9/737>.
5. Thurston-Enriquez J.A. Inactivation of feline calicivirus and adenovirus type 40 by UV radiation / J.A. Thurston-Enriquez, C.N. Haas, J. Jacangelo, K. Riley, C.P. Gerba // Appl. Environ. Microbiol., 69 (1). 2003. pp. 577-582, <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.69.1.577-582.2003>.
6. Rastogi R.P. Molecular mechanisms of ultraviolet radiation-induced DNA damage and repair / R.P. Rastogi, A.K. Richa, M.B. Tyagi, R.P. Sinha // J. Nucl. Acids. 2010. <https://www.hindawi.com/journals/jna/2010/592980/>.
7. Buonanno M. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses / M. Buonanno, D. Welch, I. Shuryak, D.J. Brenner // Sci. Rep., 10 (1). 2020. pp. 1-21, <https://www.researchsquare.com/article/rs-25728/v1>.
8. Zaffina, S. Accidental exposure to UV radiation produced by germicidal lamp: Case report and risk assessment. / Zaffina, S.; Camisa, V.; Lembo, M.; Vinci, M.R.; Tucci, M.G.; Borra, M.; Napolitano, A.; Cannatà, V. // Photochem. Photobiol. 2012, 88, 1001–1004. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-1097.2012.01151.x>.
9. Welch, D. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. / Welch, D.; Buonanno, M.; Grilj, V.; Shuryak, I.; Crickmore, C.; Bigelow, A.W.; Randers-Pehrson, G.; Johnson, G.W.; Brenner, D.J. // Sci. Rep. 2018, 8, 1–7. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-21058-w>.
10. Narita, K. Chronic irradiation with 222-nm UVC light induces neither DNA damage nor epidermal lesions in mouse skin, even at high doses. / Narita, K.; Asano, K.; Morimoto, Y.; Igarashi,

T.; Nakane, A. // PLoS ONE 2018, 13, e0201259. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0201259>.

11. Grimes D. R. Ultraviolet radiation therapy and UVR dose models. / Grimes D. R. // Medical Physics, 42(1), 440e455. 2015. <https://doi.org/10.1118/1.4903963>.

12. Khan, S. T. Engineered nanomaterials for water decontamination and purification: From lab to products. / Khan, S. T., Malik, A. // Journal of Hazardous Materials, 363, 295e308. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.091>.

13. Сілі І.І. Аналіз сучасних мікроконтролерів для вирішення біоінженерних задач та використанням інтернету речей / Сілі І.І., Азархов О.Ю., Єфременко Б.В. // Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 26 / ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро, ПДТУ, 2023. – 79 – 87 с. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990262023294299>.

Azarkhov O. Yu., Yavorsky O.V., Sili I. I., Efremneko B. V.

INTEGRATED ULTRAVIOLET DISINFECTION SYSTEM CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

Ultraviolet disinfection is an effective method of eliminating microorganisms using UV radiation. This process is becoming increasingly popular in various fields, including medicine. The uniqueness of the method lies in its ability to damage the DNA of microorganisms, thereby disrupting their entire life cycle. The development of ultraviolet disinfection involves improving technologies, increasing the power of ultraviolet sources, and enhancing safety and automation systems. Innovations include mobile devices designed for surface disinfection in public places, as well as ultraviolet air purification systems. Bactericidal boxes are considered innovative devices that utilize ultraviolet radiation for disinfecting various objects and surfaces. Bacteria and viruses present on objects are exposed to ultraviolet light and destroyed. These boxes effectively combat pathogens, providing a safe environment for users. This paper presents the development and proposal of a bactericidal ultraviolet device consisting of a tubular ultraviolet lamp emitting UVC ultraviolet radiation at 253 nm for 25 minutes. The disinfection process is controlled by Arduino Uno microcontroller. A power supply unit for the device has been designed, including a step-down voltage transformer, rectifier, capacitive filters, and 12V and 5V voltage regulators. This system has achieved effective and safe destruction of pathogenic microorganisms. Research results indicate the potential of using the integrated ultraviolet disinfection system as an effective and reliable tool for ensuring safety and hygiene in various fields.

Keywords: ultraviolet radiation, bactericidal lamp, disinfection, Arduino, voltage regulator, step-down transformer, diode bridge, capacitive filter, prototype.

Стаття надійшла 14.03.2024 р.