

УДК 006.065:677

doi:10.20998/2413-4295.2021.04.14

СТАНДАРТИЗАЦІЯ РЕЖИМІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ (COVID-19) МЕТОДОМ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

О. М. ЧЕРНЯК, Н. А. СОРОКОЛАТ, І. В. КАНИЦЬКА, І. О. БАГАЄВ, Л. Ю. ФАТЄЄВА

кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, УІПА, Харків, УКРАЇНА
*e-mail: olena-cheraniak@ukr.net

АНОТАЦІЯ Представлено методи стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19) та недоліки цих методів. Розглянуто ряд сучасних наукових робіт, пов'язаних зі стерилізацією текстильних матеріалів в умовах пандемії, які направлені на розробку технології стерилізації захисних медичних масок та медичних костюмів радіаційними методами із застосуванням гамма-випромінювання. В результаті проведеного аналізу було виявлено, що застосування гамма-випромінювання – це дуже небезпечний технологічний процес, так як застосовуються природні джерела - гамма-промені, радіаційні технології з гамма-випромінюванням складні при утилізації відпрацьованих джерел енергії та непрості при обслуговуванні. Для стерилізації текстильних матеріалів пропонується метод іонізуючого випромінювання. Сутність методу полягає в тому, що текстильний матеріал піддається стерилізації прискореними електронами. Визначено доцільність проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Встановлено, що основний критерій стерилізації текстильних матеріалів є поглинута доза. Поглинута доза визначається експериментальним шляхом, але така процедура витратна за часом та ресурсами і не завжди є можливість її проведення. Тому для розрахунку поглинутої дози пропонується застосовувати математичну формулу поглиненої дози медичних текстильних матеріалів в залежності від частоти проходження імпульсів пучка прискорених електронів, швидкості конвеєра і геометричних параметрів текстильних матеріалів, ця математична формула дозволить знайти оптимальні технологічні режими процесу стерилізації. За допомогою математичної моделі поглинутої дози випромінювання матеріалом, при запропонованій технології з урахуванням властивостей матеріалів, можна розрахувати режими опромінення різних текстильних матеріалів, які відрізняються розміром, формою і фізичними властивостями, що дозволить розробити систему нормативних режимів технології радіаційно-фізичної стерилізації та забезпечити законодавчі та нормативні вимоги гігієни в умовах пандемії.

Ключові слова: медичний текстильний матеріал; стерилізація; метод іонізуючого випромінювання; стандартизація режимів; COVID-19

STANDARDIZATION OF STERILIZATION REGIMES FOR TEXTILE MATERIALS UNDER PANDEMIC CONDITIONS (COVID-19) BY THE METHOD OF IONIZING RADIATION

O. CHERNIAK, N. SOROCOLAT, I. KANYTSKA, I. BAHAIIEV, L. FATIEIEVA

Department of automation, metrology and energy efficient technologies, UEPA, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Methods for sterilizing textile materials in a pandemic (COVID-19) and the disadvantages of these methods are presented. A number of modern scientific works related to the sterilization of textile materials in a pandemic are considered, aimed at developing a technology for sterilizing protective medical masks and medical suits by radiation methods using gamma radiation. As a result of the analysis, it was found that the use of gamma radiation is a very dangerous technological process since natural sources are used - gamma rays, radiation technologies with gamma radiation are difficult when disposing of spent energy sources and are not easy to maintain. For sterilization of textile materials, the method of ionizing radiation is proposed. The essence of the method is that the textile material is sterilized by accelerated electrons. The expediency of carrying out theoretical and experimental research has been determined. It was found that the main criterion for sterilization of textile materials is the absorbed dose. The absorbed dose is determined experimentally, but such a procedure is time-consuming and resource-intensive, and it is not always possible to carry it out. Therefore, to calculate the absorbed dose, it is proposed to apply the mathematical formula of the absorbed dose of medical textile materials, depending on the frequency of passage of pulses of the accelerated electron beam, conveyor speed and geometric parameters of textile materials, the mathematical formula will allow finding the optimal technological modes of the sterilization process. Using the mathematical model of the absorbed dose of radiation by the material with the proposed technology, taking into account the properties of materials, it is possible to calculate the modes of irradiation of various textile materials that differ in size, shape, and physical properties, which will make it possible to develop a system of normative modes for the technology of radiation-physical sterilization and to ensure the legislative and regulatory requirements of hygiene in conditions of a pandemic.

Keywords: medical textile material; sterilization; method of ionizing radiation; standardization of modes; COVID-19

Вступ

При пандемії небезпечних вірусів, до яких відноситься COVID-19 виникає ряд проблем, пов'язаних з протоколами боротьби та зменшення їх

розповсюдження. До таких проблем відноситься технологія стерилізації заражених медичних приміщень, обладнання та матеріали. Існують такі матеріали, стерилізацію до яких важко або неможливо застосувати традиційні методи дезінфекції та

стерилізації (механічні, хімічні, температурні), особливо у великих обсягах. До таких матеріалів в медицині відносяться текстильні матеріали, такі як засоби індивідуального захисту, постільні речі (подушки, матраци, ковдри). Для стерилізації текстильних матеріалів від небезпечних бактерій та вірусів в умовах пандемії (COVID-19) пропонується технологія застосування методу іонізуючого випромінювання. Сутність методу полягає у наступному: спеціальне обладнання (прискорювач електронів) генерує та прискорює електрони, які пронизують матеріал, при цьому іонізують віруси та знешкоджують їх. Такий метод стерилізації високотехнологічний, енергоефективний і безпечний для людей і довкілля. Технологія передбачає вибір технологічного обладнання (прискорювача електронів), обладнання для транспортування в зону іонізуючого випромінювання та оптимальні режими іонізуючого випромінювання (інтенсивність, потужність, час).

Для розроблення технологічного процесу стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії COVID-19 необхідно провести ряд наукових досліджень, а саме розробити математичну модель повної стерилізації в залежності від впливових чинників та визначити оптимальні режими технологічного процесу стерилізації в залежності від текстильного матеріалу, обладнання та об'єму матеріалів. Зважаючи на те, що технологія стерилізації методом іонізуючого випромінювання нова та мало вивчена в частині застосування в побутових умовах, то необхідно уніфікувати технологічний процес та визначити оптимальні технологічні режими обробки. Для ефективного та безпечного застосування такої технології необхідно розробити нормативний документ, який би регламентував технологічні режими процесу стерилізації текстильних матеріалів, в залежності від ряду чинників.

Мета роботи

Отримати нормативні режими технологічного процесу дезінфекції медичних текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні два роки, в період пандемії (COVID-19), людство знаходить технології та можливості боротьби з епідемією. В науковій літературі є ряд публікацій, пов'язаних з технологіями стерилізації в умовах пандемії, тобто в умовах, коли заражених об'єктів багато. В таких умовах технологічні процеси стерилізації не ефективні, тому розглядаються можливості розробки більш ефективних технологій, повторного використання та утилізації небезпечних текстильних матеріалів. В [1] розглядаються та порівнюються різні технології стерилізації засобів

індивідуального захисту (ЗІЗ), при цьому запропоновано їх аналіз та визначено переваги та недоліки, в залежності від матеріалу та обсягів стерилізації.

Один з найбільш розповсюджених методів стерилізації – хімічний метод, суть якого в обробці поверхонь хімічними речовинами. Основні хімічні речовини, які застосовують для стерилізації у медичній практиці це перекис водню, формальдегід та глутаральдегід. Фізична сутність впливу цих речовин на віруси представлено в [2,3]. Недоліки методу стерилізації у тому, що пари вказаних хімічних речовин негативно впливають на здоров'я людей та викликають респираторні захворювання та алергію, характерні різкими запахами. Крім того, ці речовини не застосовуються для целюлози [4].

В роботі [5] представлені дослідження, пов'язані з технологіями стерилізації ЗІЗ методами високих температур, а саме, зміни стабільності вірусів при різних температурах. Дослідження показали, що вірус має найбільшу стабільність при температурі 4 °С. При температурі 70 °С вірус був дезактивований за 5 хвилин. Таким чином залежність активації вірусу від температури дозволяє пропонувати технології стерилізації ЗІЗ. Але такі технології мають недоліки, основним з яких те, що не всі матеріали витримують високі температури та втрачають свої фізико-хімічні характеристики. А застосування гарячого пару потребує застосування технології сушки.

У статтях [6-8] вивчають застосування ультрафіолетових (УФ) променів з метою дезінфекції приміщень, обладнання та постільних речей. Ефективність застосування УФ променів для стерилізації залежить від довжини хвилі і відомо, що найбільша ефективність досягається при довжині хвилі 260 нм. Недоліком такого методу стерилізації те, що він ефективний тільки на поверхні матеріалів і промені ультрафіолету не потрапляють в середину матеріалу. Крім того УФ промені шкідливі для здоров'я людей, тому мають обмеження при застосуванні.

У роботі [9] аналізують технологію застосування високоенергетичних рентгенівських променів гамма-променів. Досліджено, що саме гамма-промені на 90 % руйнують ДНК клітин, тому можуть бути застосовані для руйнування вірусів. Перевагами такого методу стерилізації є те, що гамма-промені проникають в середину матеріалу. Їх проникливість залежить від його об'єму та щільності. Головним завданням при застосування гамма-променів для стерилізації являється оптимальні режими опромінення. Недоліком такого методу є підвищені вимоги до безпеки для здоров'я людей.

Проведені дослідження стерилізації ЗІЗ після їх виробництва дозволяють зробити висновок про можливість їх повторної стерилізації після застосування [10,11]. Доказано, що прості хірургічні лицьові маски витримують опромінення електронним пучком променів до 25 кГр без зміни їх фізико-

хімічних характеристик. В роботі [12] дослідженнями доказано, що застосування гамма-променів погіршило ефективність фільтрації масок, тому про можливість застосування такої технології є запитання. В роботах [13-16] підтверджують недоліки застосування гамма-променів для стерилізації медичних масок через погіршення їх функціональних характеристик. Ряд публікацій, пов'язані з дослідженнями радіаційної обробки спеціального одягу, серед яких [17-21].

Публікації, які пов'язані зі стерилізацією текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19), направлені на розробку технології стерилізації захисних медичних масок та медичних костюмів радіаційними методами із застосуванням гамма випромінювання. Застосування гамма випромінювання дуже небезпечний технологічний процес, так як застосовується природні джерела гамма променів. Радіаційні технології з гамма випромінювання складні в обслуговуванні та утилізації відпрацьованих джерел енергії.

Для досягнення мети пропонується розрахувати режими процесу обробки текстильних матеріалів методом іонізуючого випромінювання в залежності від виду текстильних матеріалів та їх об'ємів, а також отримати нормативні режими технології стерилізації у вигляді залежностей поглинутої дози для різних текстильних матеріалів.

Викладення основного матеріалу

Існуючі промислові радіаційні технології являють собою процеси обробки різних виробів і матеріалів з спрямованим впливом іонізуючого випромінювання, які призводять до корисної зміни їх фізичних, хімічних або біологічних характеристик, а також зменшують вплив виробництва на довкілля. Пучки прискорених електронів, гальмівне випромінювання, що генерується пучками електронів, і гамма-випромінювання від радіонуклідів є основними джерелами іонізуючого випромінювання, яке використовується в промислових радіаційних технологіях. Вибір джерела випромінювання зазвичай залежить від практичних вимог процесу опромінення, таких як величина поглиненої дози, неоднорідність поглиненої дози, товщина оброблюваного матеріалу, щільність і конфігурація виробів, продуктивність процесу обробки, капітальні та експлуатаційні витрати.

Для стерилізації текстильних матеріалів пропонується застосовувати електронні прискорювачі. Вони широко застосовуються для радіаційного модифікування матеріалів, радіаційної полімеризації, стерилізації медичних виробів, обробки харчових продуктів, в радіаційно-фізичних технологіях, а також в екології для очищення стічних вод, викидних газів і обробки твердих відходів.

Для проведення наукових досліджень, а саме розробки технології стерилізації текстильних матеріалів у великих кількостях (в умовах пандемії)

необхідно провести ряд теоретичних та експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження будуть направлені на розроблення математичної моделі поглинутої дози випромінювання матеріалом при запропонованій технології з урахуванням властивостей матеріалів. Експериментальні дослідження стосуватимуться проведення ряду експериментів з метою оптимізації режимів обробки в залежності від щільності матеріалу та його об'єму.

Для визначення режимів технологічного процесу стерилізації текстильних матеріалів визначимо геометричні та фізичні характеристики матеріалу. Пропонується обробляти матеріал – ватин, який погружено на конвеєр, що рухається з постійною швидкістю. Будемо вважати, що ширина та висота шару матеріалу має геометричні розміри 50x50 см. Такі геометричні характеристики пов'язані з характеристиками прискорювача. В якості прискорювача пропонується використовувати стандартну технологічну установку ЛУ-10, яка включає прискорювач електронів з системою сканування пучка. На ділянці радіаційної обробки рухається конвеєр для транспортування зразків в зону опромінення. Текстильний матеріал, який спрямовується на радіаційну стерилізацію, пакується в картонну тару, розмір і маса яких попередньо погоджуються для забезпечення необхідного режиму обробки. Опромінення здійснюється з двох сторін. Технологічна установка ЛУ-10 має такі характеристики випромінювання:

- Електронне випромінювання:
 - енергія електронів – 8...18 MeV;
 - номінальне значення енергії електронів - 10 MeV;
 - тривалість імпульсу – 3,5 мкс;
 - частота проходження імпульсів пучка – 12,5...300 Гц;
 - струм пучка (середнє значення) - до 1000 мкА;
 - частота сканування пучка – 3 Гц;
 - геометричні розміри пучка (на випускному вікні) – 2×30 см;
 - нерівномірність лінійної щільності потоку електронів - ± 3%;
 - потужність поглиненої дози електронного випромінювання – до $1 \cdot 10^3$ Гр/с.
- Гальмівне випромінювання:
 - потік енергії (потужність) гальмівного випромінювання (ГВ), кВт – до 1,6;
 - геометричні розміри потоку ГВ (на конвертері) – 3×35 см;
 - потужність поглиненої дози ГВ – до 1,0 Гр/с.

Одним з основних критеріїв радіаційної обробки є поглинена доза. Доза в будь-якій точці тари залежить від енергії електронів, середнього струму, ширини розгортки, швидкості конвеєра, товщини і щільності об'єкта, а також самого матеріалу, який знаходиться між вікном виведення пучка, і цією точкою. На дозу також може впливати наявність

неоднорідностей в матеріалі який стерилізується, внаслідок розсіювання електронів.

Технологічна установка працює з такими режимами:

- частота проходження імпульсів пучка – 100 Гц;
- частота сканування пучка – 3 Гц;
- потужність пучка – 10 кВт;
- енергія – 10 МеВ;
- струм пучка складе - 1 мА, що відповідає $N_0 = 6,24 \cdot 10^{15}$ електронів в імпульсі;

- відстань між випускним вікном і об'єктом, що опромінюється – близько 1 м;

- матеріал - целюлоза, так як ватин складається з целюлози на 99,5%;

- щільність матеріалу – 1,5 г/см³.

На ділянці радіаційної обробки використовуються два типи дозиметрів: Harwell RedPerspex 4034 і дозиметрична плівка RISO В-3. Дозиметр Harwell RedPerspex 4034 виготовлений з добавкою радіаційно чутливого барвника у вигляді пластинок розміром 30x11 мм і товщиною 3 ± 0.4 мм. Діапазон вимірювання дози становить 5-50 кГр, похибка $\pm 5\%$. Для цього визначається оптична густина дозиметра на довжині хвилі 640 нм.

Одним з основних критеріїв радіаційної обробки є поглинена доза. Доза в будь-якій точці тари з текстильним матеріалом залежить від енергії електронів, середнього струму, ширини розгортки, швидкості конвеєра, товщини і щільності об'єкта, а також самого матеріалу, який знаходиться між вікном виведення пучка, і цією точкою. На дозу також може впливати наявність неоднорідностей в оброблюваному матеріалі внаслідок розсіювання електронів.

Як відомо, формула поглиненої дози рухомого об'єкта, що опромінюється має наступний вигляд:

$$D_c = 1,6 \cdot 10^{-13} N_0 \frac{e^{-\mu x}}{v \cdot t \cdot l} \cdot \frac{S_{col}}{\rho} \quad (1)$$

Так як щільність повітря вкрай мала в порівнянні з опромінюваним об'єктом і становить 0,00129 г/см³, для шару повітря в 1 м величина в розмірності осі ординат дорівнюватиме 0,129 г/см² величину у формулі 1 приймемо рівної 0,9 [22]. А для заданої енергії 10 МеВ гальмівна здатність целюлози дорівнює 1,859 МеВ см²/г.

Беручи до уваги перераховані вище параметри можна розрахувати порядок обчислення параметрів, що залишилися у формулі (1), а саме. За одну секунду пучок сканується три рази при цьому випускається 100 імпульсів пучків електронів і за цей час конвеєр проходить v сантиметрів. Площа пучка становить 0,7854 см². За 1 секунду загальна довжина опроміненого виробу складе 300 см. Приймемо швидкість конвеєра дорівнює 1 см/с. За 1 с прискорювач зробить 100 імпульсів електронів і беручи до уваги, що діаметр пучка - 1 см і ширина поверхні, що обробляється - 50 см, то на кожен сантиметр доведеться по 2 імпульсу, таким чином N_0

у формулі (1) подвоюється. Узагальнюючи вищевикладені викладки формула (1) набуває такого вигляду з урахуванням частоти проходження імпульсів пучка, швидкості конвеєра і довжини об'єкта, який стерилізується (крайовими ефектами нехтуємо і припускаємо, що обробляється об'єкт не довше ширини конвеєра):

$$D_c = 1,6 \cdot 10^{-13} \eta \cdot N_0 \frac{v \cdot d}{v \cdot l} \cdot \frac{S_{col}}{\rho} \quad (2)$$

де η - коефіцієнт ослаблення при проходженні пучка прискорених електронів; N_0 - кількість електронів в імпульсі; v - частота проходження імпульсів пучка, Гц; d - діаметр пучка, см; v - швидкість конвеєра, см/с; l - ширина об'єкта, що оброблюється, см; $\frac{S_{col}}{\rho}$ - гальмівна здатність речовини, МеВ·см²/г.

Отже, застосовуючи формулу (2), можна змінювати швидкість та геометричні параметри тари з текстильним матеріалом і отримувати величину поглиненої дози. Або можна вирішувати обернену задачу, а саме, знаючи величину поглиненої дози можна визначити швидкість конвеєра або визначити оптимальну ширину тари. Використовуючи формулу (2) можна отримати стандартизовані режими стерилізації текстильних матеріалів методом іонізуючого випромінювання. Тобто можна розробити систему нормативних режимів, які будуть сприяти створенню стандарту для застосування даної технології до процесу стерилізації медичних текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19), або в умовах масового виробництва.

На рис. 1 представлений графік залежності поглиненої дози текстильного матеріалу від частоти проходження імпульсів пучка для швидкості конвеєра 0,5 см/с.

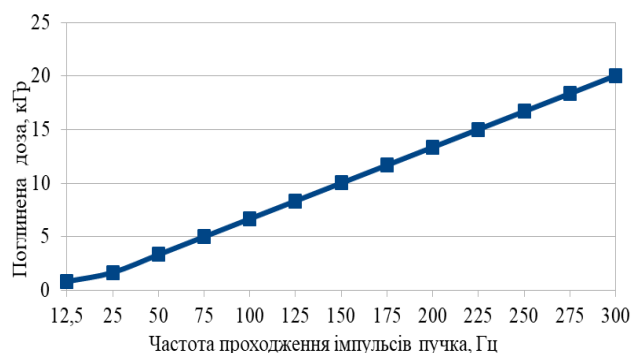


Рис. 1. Залежність поглиненої дози текстильного матеріалу від частоти проходження імпульсів пучка для швидкості конвеєра 0,5 см/с

Отже, використовуючи формулу (2) можна розрахувати режими опромінювання різних текстильних матеріалів, які відрізняються розміром, формою і

фізичними властивостями, що дозволить розробити систему нормативних режимів технології радіаційно-фізичної дезінфекції та забезпечити законодавчі та нормативні вимоги гігієни в умовах пандемії.

Висновки

Отримана формула поглиненої дози медичних текстильних матеріалів в залежності від частоти проходження імпульсів пучка прискорених електронів, швидкості конвеєра і геометричних параметрів об'єкта дозволить знайти оптимальні технологічні режими процесу стерилізації.

Експериментальні дослідження дозволять визначити оптимальну частоту проходження імпульсів пучка електронів, швидкості конвеєра, в залежності від щільності матеріалів та їх об'ємів, при яких всі шкідливі бактерії та віруси знищуються.

Окрім результатів, отриманих за допомогою проведення експериментальних досліджень для стерилізації текстильних матеріалів можуть бути отримані додаткові корисні результати, такі як вплив заряджених електронів на фізико-хімічні властивості різних матеріалів. Такі результати можуть бути корисними для інших технологій з застосуванням методу іонізуючого випромінювання.

Список літератури

1. Jinia J. et al. Review of Sterilization Techniques for Medical and Personal Protective Equipment Contaminated With SARS-CoV-2. *IEEE Access* 8. 2020. № 8. P. 111347-111354. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002886.
2. Fadaei A. Viral Inactivation with Emphasis on SARS-CoV-2 Using Physical and Chemical Disinfectants. *Scientific World Journal*. 2021. Oct 25. P. 1-6. doi: 10.1155/2021/9342748.
3. Centers for Disease Control and Prevention. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. 2019. P. 55-56. URL: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/disinfection-guidelines-H.pdf>. (дата звернення: 29.11.2021).
4. Rutala W. A., Weber D. J. Disinfection and sterilization: An overview. *American Journal of Infection Control*. 2013. № 41 (5). P. S2-S5. doi: 10.1016/j.ajic.2012.11.005.
5. Chin A. J. et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*. 2020. № 1(1). P. e10. doi: 10.1016/S2666-5247(20)30003-3.
6. Rastogi R. P., Richa, Kumar A., Tyagi M. B., Sinha R. P. Molecular mechanisms of ultraviolet radiation-induced DNA damage and repair. *Journal of Nucleic Acids*. 2010. № 2010. P. 1-32. doi: 10.4061/2010/592980.
7. Anderson J. G., Rowan N. J., MacGregor S. J., Fouracre R. A., Farish O. Inactivation of food-borne enteropathogenic bacteria and spoilage fungi using pulsed-light. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2000. № 28 (1). P. 83-88. doi: 10.1109/27.842870.
8. Radiation: Ultraviolet (UV) radiation. *World Health Organization*. 2016. URL: <https://www.who.int/uv/faq/what-is-uv/en/index2.html> (дата звернення 29.11.2021).
9. Radiation Effective in Sterilizing Personal Protective Equipment Except For Respiratory Masks—IAEA. Accessed. *IAEA*. 2020. URL: <https://www.iaea.org/newscent>er/pressreleases/radiationeffective-in-sterilizing-personal-protective-equipment-except-for-respiratory-masks-iaea (дата звернення: 29.11.2021).
10. Flakiewicz P. et al. Effects of electron-beam irradiation on the structure and selected properties of melt-blown polypropylene unwoven fabric used in simple, surgical-type protective face masks. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*. 2020. P. 79-187.
11. Yun J. M. et al. A report for sterilizing personal protective equipment by ionizing radiation. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*. 2020. P. 72-78.
12. Gouzman I. et al. The feasibility of sterilization for reuse of disposable medical equipment: Gamma irradiation of medical masks and medical protective clothing. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*. 2020. P. 48-71.
13. Cortella L. et al. Feasibility of gamma or e-beam irradiation as a Treatment for reuse of medical masks after a first use. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*. 2020. P. 29-47.
14. Vasquez P. A. S. et al. Development of methodologies for decontamination, reuse and improvement of the Properties of respiratory protective equipment using ionizing radiation - preliminary results. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*. 2020. P. 17-28.
15. Рябухин О. В., Фадеева А. С. Радиационная обработка изделий культурного наследия. *Наука. Информатизация. Технологии. Образование. Материалы XIII Международной научно-практической конференции*. 2020. С. 682-689.
16. Брязгин А. А. и др. Стерилизация медицинских изделий на ускорителях серии ИЛУ. *Медицинская физика*. 2017. С. 57-60.
17. Моргунов В. В., Диденко Н. В., Трищ Р. М. Выбор и использование математических методов для определения технологических параметров радиационно - защитных материалов. *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. 2016. №12 (1184). С. 56-61. doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.
18. Моргунов В.В., Диденко Н.В., Трищ Р.М. Метод расчета поглощенной (эквивалентной) дозы и мощности поглощенной (эквивалентной) дозы ионизирующего излучения. *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. 2016. №18 (1190). С. 101-106. doi:10.20998/2413-4295.2016.18.15.
19. Моргунов В. В., Диденко Н. В., Трищ Р. М. Численный расчет эффективности радиационной защитной одежды при помощи метода Монте - Карло. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2016. № 25 (1197). С. 119-124. doi:10.20998/2413-4295.2016.25.18.
20. Черняк О. М., Трищ Р. М., Моргунов В. В. Методика розрахунку поглинутої дози рухомого об'єкта, що опромінюється прискореними електронами. *Машинобудування. Збірник наукових праць*. 2018. № 22. С. 142-147. doi:10.32820/2079-1747-2018-22-142-147.

21. Черняк Е. Н., Моргунов В. В., Трищ Р. М.. Применение метода Монте-Карло для определения технологических параметров радиационной обработки ускоренными электронами. *Машинобудування. Збірник наукових праць*. 2017. № 20. С. 162-168.
22. Медведев В. П., Очкин А. В., Семенов М. А. *Физические основы радиохимии*. Москва: Издательство НИЯУ МИФИ, 2011. 195 с.

References (transliterated)

1. Jinia J. et al. Review of Sterilization Techniques for Medical and Personal Protective Equipment Contaminated With SARS-CoV-2. *IEEE Access* 8, 2020, Vol. 8, pp. 111347-111354, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002886.
2. Fadaei A. Viral Inactivation with Emphasis on SARS-CoV-2 Using Physical and Chemical Disinfectants. *Scientific World Journal*, 2021, Oct 25, pp. 1-6, doi: 10.1155/2021/9342748.
3. Centers for Disease Control and Prevention. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities, 2019, pp. 55-56. Available at: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/disinfection-guidelines-H.pdf>. (accessed 29.11.2021).
4. Rutala W. A., Weber D. J. Disinfection and sterilization: An overview. *American Journal of Infection Control*, 2013, 41 (5), pp. S2-S5, doi: 10.1016/j.ajic.2012.11.005.
5. Chin A. J. et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*, 2020, Vol. 1 no. 1, pp. e10, doi: 10.1016/S2666-5247(20)30003-3.
6. Rastogi R. P., Richa, Kumar A., Tyagi M. B., Sinha R. P. Molecular mechanisms of ultraviolet radiation-induced DNA damage and repair. *Journal of Nucleic Acids*, 2010, Vol. 2010, pp. 1-32, doi: 10.4061/2010/592980.
7. Anderson J. G., Rowan N. J., MacGregor S. J., Fouracre R. A., Farish O. Inactivation of food-borne enteropathogenic bacteria and spoilage fungi using pulsed-light. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2000, Vol. 28, no.1, pp. 83-88, doi: 10.1109/27.842870.
8. Radiation: Ultraviolet (UV) radiation. *World Health Organization*, 2016, Available at: <https://www.who.int/uv/faq/whatisuv/en/index2.html> (accessed 29.11.2021).
9. Radiation Effective in Sterilizing Personal Protective Equipment Except For Respiratory Masks—IAEA. Accessed. *IAEA*, 2020, Available at: <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/radiationeffective-in-sterilizing-personal-protective-equipment-except-for-respiratory-masks-iaea> (accessed 29.11.2021).
10. Flakiewicz P. et al. Effects of electron-beam irradiation on the structure and selected properties of melt-blown polypropylene unwoven fabric used in simple, surgical-type protective face masks. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*, 2020, pp. 79-187.
11. Yun J. M. et al. A report for sterilizing personal protective equipment by ionizing radiation. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*, 2020, pp. 72-78.
12. Gouzman I. et al. The feasibility of sterilization for reuse of disposable medical equipment: Gamma irradiation of medical masks and medical protective clothing. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*, 2020, pp. 48-71.
13. Cortella L. et al. Feasibility of gamma or e-beam irradiation as a Treatment for reuse of medical masks after a first use. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*, 2020, pp. 29-47.
14. Vasquez P. A. S. et al. Development of methodologies for decontamination, reuse and improvement of the Properties of respiratory protective equipment using ionizing radiation - preliminary results. *IAEA Technical Report. Sterilization and reprocessing of personal protective equipment (PPE), including respiratory masks, by ionizing radiation*, 2020, pp. 17-28.
15. Riabukhin O., Fadeeva A. Radiatsionnaya obrabotka izdeliy kul'turnogo naslediya. [Radiation processing of culture heritage artifacts]. *The science. Informatization. Technologies. Education. Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference*. 2020, pp. 682-689.
16. Bryazgin A. A. et al. Sterilizatsiya meditsinskikh izdeliy na uskoritelyakh serii ILU. [Sterilization of medical devices in accelerators of ILU series]. *Medical physics*, 2017, pp. 57-60.
17. Morgunov, V., Didenko, N., Trishch, R. Choice and use of mathematical methods to determine the technological parameters of radiation-shielding materials. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, 2016, Vol. 12 (1184), pp. 56-61, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.
18. Morgunov V., Trishch R., Didenko N. Metod rascheta pogloshchennoy (ekvivalentnoy) dozy i moshchnosti pogloshchennoy (ekvivalentnoy) dozy ioniziruyushchego izlucheniya. [Calculation method of the absorbed (equivalent) dose and absorbed (equivalent) dose rate of the ionizing radiation]. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. 2016, Vol. 18 (1190), pp. 101-106, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.15.
19. Mogunov V., Didenko N., Trishch R. Chislennyy raschet effektivnosti radiatsionnoy zashchitnoy odezhdy pri pomoshchi metoda Monte-Karlo. [Numerical calculation of radiation protective clothing efficiency by using Monte Carlo method]. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. 2016, Vol. 25 (1197), pp. 119-124, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.18.
20. Cherniak O., Trishch R., Mogunov V. Metodyka rozrakhunku pohlynutoi dozy rukhomoho obiekta, shcho oprominiuetsia pryskorennyimi elektronami. [Method of calculating the absorbed dose of a moving object irradiated by accelerated electrons]. *Engineering*, 2018, Vol. 22, pp. 142-147, doi: 10.32820/2079-1747-2018-22-142-147.
21. Cherniak E., Morgunov V., Trishch R. Primeneniye metoda Monte-Karlo dlya opredeleniya tekhnologicheskikh parametrov radiatsionnoy obrabotki uskorennyimi elektronami [Application of the Monte-Carlo method for definitions of technological parameters of radiation processing by accelerated electrons]. *Engineering*, 2017, Vol. 20, pp. 162-168.
22. Medvedev V., Oчкин А., Семенов М. *Fizicheskiye osnovy radiokhimii. [Physical foundations of radiochemistry]*. Moscow, Izdatelstvo NIYAU MIFI, 2011. 195 p.

Відомості про авторів (About authors)

Черняк Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, старший викладач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; e-mail: olena-cheraniak@ukr.net.

Olena Cherniak – Candidate of Technical Sciences, Docent, Senior Lecturer, Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6167-8809; e-mail: olena-cheraniak@ukr.net.

Сороколат Наталія Андріївна - Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0140-9364; e-mail: n.a.sorokolat@gmail.com.

Natalia Sorocolat - graduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0140-9364; e-mail: n.a.sorokolat@gmail.com.

Каницька Ірина Вікторівна – Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-7001-8340; e-mail: irinadovgopolaya@icloud.com.

Iryna Kanytska – graduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7001-8340; e-mail: irinadovgopolaya@icloud.com.

Багаєв Ігор Олександрович - Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9101-5114; e-mail: i.a.bagayev@gmail.com.

Ihor Bahaiev - graduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9101-5114; e-mail: i.a.bagayev@gmail.com.

Фатєєва Ліна Юріївна - Українська інженерно-педагогічна академія, аспірантка кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6460-0772; e-mail: linafat81@gmail.com.

Lina Fatieieva - graduate student Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6460-0772; e-mail: linafat81@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Черняк О. М., Сороколат Н. А., Каницька І. В., Багаєв І. О., Фатєєва Л. Ю. Стандартизація режимів стерилізації текстильних матеріалів в умовах пандемії (COVID-19) методом іонізуючого випромінювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 4 (10). С. 101-107. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.14.

Please cite this article as:

Cherniak O., Sorocolat N., Kanytska I., Bahaiev I., Fatieieva L. Standardization of sterilization regimes for textile materials under pandemic conditions (COVID-19) by the method of ionizing radiation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 4 (10), pp. 101-107, doi:10.20998/2413-4295.2021.04.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Черняк Е. Н., Сороколат Н. А., Каницькая И. В., Багаев И. А., Фатеева Л. Ю. Стандартизация режимов стерилизации текстильных материалов в условиях пандемии (COVID-19) методом ионизирующего излучения. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 4 (10). С. 101-107. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.14.

АННОТАЦІЯ Представлены методы стерилизации текстильных материалов в условиях пандемии (COVID-19) и недостатки этих методов. Рассмотрен ряд современных научных работ, связанных со стерилизацией текстильных материалов в условиях пандемии, направленных на разработку технологии стерилизации защитных медицинских масок и медицинских костюмов радиационными методами с применением гамма-излучения. В результате проведенного анализа было обнаружено, что применение гамма-излучения – это очень опасный технологический процесс, так как применяются природные источники – гамма-лучи, радиационные технологии с гамма-излучением сложны при утилизации отработанных источников энергии и непросты при обслуживании. Для стерилизации текстильных материалов предлагается метод ионизирующего излучения. Суцність методa состоит в том, что текстильный материал подвергается стерилизации ускоренными электронами. Определена целесообразность проведения теоретических и экспериментальных исследований. Установлено, что основным критерием стерилизации текстильных материалов является поглощенная доза. Поглощенная доза определяется экспериментальным путем, но такая процедура затратная по времени и ресурсам, и не всегда есть возможность ее проведения. Поэтому для расчета поглощенной дозы предлагается применить математическую формулу поглощенной дозы медицинских текстильных материалов в зависимости от частоты прохождения импульсов пучка ускоренных электронов, скорости конвейера и геометрических параметров текстильных материалов, математическая формула позволит найти оптимальные технологические режимы процесса стерилизации. С помощью математической модели поглощенной дозы излучения материалом при предложенной технологии с учетом свойств материалов можно рассчитать режимы облучения различных текстильных материалов, отличающиеся размером, формой и физическими свойствами, что позволит разработать систему нормативных режимов технологии радиационно-физической стерилизации и обеспечить законодательные и нормативные требования гигиены в условиях пандемии.

Ключевые слова: медицинский текстильный материал; стерилизация; метод ионизирующего излучения; стандартизация режимов; COVID-19

Надійшла (received) 08.11.2021