

10. Сергиенко, О. Основы теории эко-эффективности: монография [Текст] / О. Сергиенко, Х. Рон. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. – 223 с.
11. Риттхофф, М. Вычисления MIPS: ресурсная продуктивность продукции и услуг [Текст] / М. Риттхофф; под науч. ред. О. Сергиенко, Х. Рона. – Основы теории эко-эффективност. СПб, 2004. – 246 с.
12. Wernick, I. K. Material Flows Accounts—A Tool for Making Environmental Policy, WRI Report [Text] / I. K. Wernick, F. H. Irwin. – World Resource Institute: Washington, DC, USA, 2005. –246 p.
13. Wiesen, K. Calculating the material input per service unit using the ecoinvent database [Text] / K. Wiesen, M. Saurat, M. Lettenmeier // International journal of performativity engineering. – 2014. – Vol. 10, №. 4. – P. 357–366.
14. Сокорнова Т. В. Выбор и использование показателей экологической эффективности: практика ЕС [Текст] / Т. В. Сокорнова // Экология производства. – 2005. – № 7. – С. 32–44.
15. Козуля, Т. В. Система підтримки прийняття екологічного рішення в умовах концепції КЕС і новітніх технологій екологічного аналізу [Текст] / Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – № 2 (38). – С. 285–293.
16. Бойко, Т. В. Оцінка ризику промислового підприємства на стадії проектування в рамках стратегії сталого розвитку [Текст] / Т. В. Бойко, В. І Бендюг, Б. М. Комариста // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 2, 14 (56). – С. 13–17.
17. Солоха, М. О. Методологія оцінки впливу стихійних звалищ на екологічний стан (на прикладі Дергачівського району Харківської області) [Текст] / М. О. Солоха, Е. О. Кочанов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Сер.: Екологія. – 2011. – № 944, Вип. 6 – С. 73–76
18. Лико, Д. В. Проблемні питання щодо поводження з відходами та їх утилізації в Рівненській області [Текст] / Д. В. Лико, І. В. Гуцук // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 47–49

В роботі представлені результати дослідження бактерицидного знезараження повітря ультрафіолетовим випромінюванням. На основі проведених досліджень запропоновано пристрій для знезараження повітря в присутності людей. З метою ефективності бактерицидного знезараження рекомендується враховувати поверхневу дозу опромінення, що не залежить від геометричних розмірів камери опромінення. Проведені розрахунки і вимірювання необхідної дози інактивації бактерій

Ключові слова: УФ-випромінювання, УФ-пристрої, бактерицидне знезараження, ультрафіолетові лампи, опромінювачі, бактерицидний потік

В работе представлены результаты исследования бактерицидного обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением. На основе проведенных исследований предложено устройство для обеззараживания воздуха в присутствии людей. В целях эффективности бактерицидного обеззараживания рекомендуется учитывать поверхностную дозу облучения, что не зависит от геометрических размеров камеры облучения. Проведенные расчеты и измерения необходимой дозы инактивации бактерий

Ключевые слова: УФ-излучение, УФ-устройства, бактерицидное обеззараживание, ультрафиолетовые лампы, облучатели, бактерицидный поток

УДК 621.327

ПРИСТРОЇ ДЛЯ БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

А. О. Семенов

Кандидат фізико-математичних наук, доцент*

E-mail: a-semenov@li.ru

Г. М. Кожушко

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: tovarovedkafedra@mail.ru

*Кафедра товарознавства

непродовольчих товарів

Полтавський університет економіки і торгівлі

вул. Коваля, 3, м. Полтава, Україна, 36000

1. Вступ

В світовій практиці визнано, що ультрафіолетове (УФ) бактерицидне випромінювання є дієвим профілактичним санітарно-епідеміологічним засобом, що

подавляє життєздатність мікроорганізмів у повітряному та водному середовищах [1–4].

Ультрафіолетова компонента сонячного світла є головною причиною загибелі мікроорганізмів в оточуючому повітрі. Енергія ультрафіолетової компоненти

сонячного світла викликає пошкодження мікроорганізмів на клітинному та генетичному рівнях, той же самий збиток завдається людям, але він обмежений шкірою та очима. Спори і деякі види бактерій навколишнього середовища мають стійкість до впливу сонячного світла і можуть переносити тривале опромінення світлом без особливої шкоди своєму організму. Поява штучних джерел ультрафіолетового випромінювання дала можливість вирішити питання бактерицидного знезараження повітря, поверхонь і т. д., оскільки вони використовують більш концентровані рівні випромінювання, ніж ті, що представлені в звичайному сонячному світлі.

Бактерицидна дія УФ-випромінювання широко використовується для знезараження повітря на протязі 70 років, оскільки повітря часто стає джерелом і розповсюджувачем хвороботворних мікроорганізмів [5]. Одним із способів вирішення бактерицидної безпеки населення є впровадження УФ-опромінювачів [6], як в побуті, так і в різних сферах діяльності людства, особливо в харчовій промисловості. За цей час розроблені різні системи знезараження повітря бактерицидним УФ-випромінюванням або його комбінацією з іншими методами знезараження, а саме з фільтруванням.

Метод УФ-випромінювання має ряд переваг: висока ефективність знезараження по відношенню до мікроорганізмів, в тому числі стійких до хлоромістких дезинфектив; відсутність впливу на фізико-хімічні та органолептичні властивості повітря, не утворюючи побічних продуктів; велика швидкість знезараження; компактність УФ-обладнання і простота експлуатації.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Закрите бактерицидне опромінення активно застосовується для бактерицидної обробки повітря в приміщеннях [1–3]. Закриті опромінювачі останнім часом набувають все більшої популярності, крім того, їх використання в промисловості не заважає технологічному процесу при виробництві продукції. Повітря, що проходить через камеру опромінювання піддається прямому УФ-опроміненню бактерицидними лампами і потрапляє знову у приміщення знезараженим.

Відомі пристрої для бактерицидного знезараження повітря, що містять корпус із вхідними та вихідними вікнами, в якому розміщуються джерело ультрафіолетового випромінювання та вентилятор [7]. В якості джерела ультрафіолетового випромінювання використовуються бактерицидні розрядні ртутно-кварцові лампи низького тиску [1].

Недоліками цього технічного рішення є те, що вказані конструктивні особливості не забезпечують достатньої ефективності знезараження приміщень в силу нерівномірної обробки циркулюючого повітряного потоку і не допускають, як правило, знаходження людей в приміщеннях із-за наявності в повітрі озону, що утворюється під дією ультрафіолетового випромінювання кварцової бактерицидної лампи.

Відомий також пристрій для знезараження повітря [8], що містить корпус із вхідними і вихідними вікнами, в якому встановлений вентилятор з джерелом ультрафіолетового випромінювання. Корпус з обох боків

обладнаний екранами у вигляді лабіринтно розташованих перегородок, стінки корпусу з внутрішньої сторони мають комбіноване покриття із звукопоглинаючого шару, і відбиваючого екрану із алюмінієвої фольги. Джерелом ультрафіолетового випромінювання виступають одна або декілька поздовжньо встановлених «безозонових» ртутних ламп низького тиску з внутрішнім покриттям, яке поглинає озонний спектр 150–185 нм.

Недоліком даного технічного рішення є зниження бактерицидної ефективності за рахунок розміщених поперечно повітряному потоку лабіринтних перегородок, а також неефективності використання бактерицидного потоку завдяки розміщенню джерел ультрафіолетового опромінювання вздовж стінок камери опромінювання.

Основною метою створення нових технічних рішень є підвищення ефективності бактерицидного знезараження повітря за рахунок оптимальної УФ-дозы інактивації бактерій [4, 5] та відсутність утворення озону для забезпечення сприятливих умов перебування в приміщеннях. Проте досягнення цієї мети супроводжується, як правило, ускладненням конструкції запропонованого пристрою без отримання бажаного ступеня і ефективності бактерицидного знезараження.

3. Мета і задачі дослідження

Провести дослідження УФ-методів бактерицидного знезараження повітря. Встановити особливості використання УФ-випромінювання в пристроях закритого типу з експериментальним проведенням необхідних досліджень та розрахунків. На основі отриманих результатів запропонувати конструкцію пристрою для УФ-знезараження повітря закритого типу.

Метою запропонованого технічного рішення є створення конструкції УФ-пристрою закритого типу для бактерицидного знезараження повітря, що забезпечує ультрафіолетове опромінення з необхідною бактерицидною дозою інактивації бактерій.

4. Результати дослідження проектування УФ-пристроїв та їх конструктивні особливості

При проектуванні рециркуляторів для бактерицидного знезараження повітря потрібно вирішити ряд технічних задач [9, 10]. Від виходу УФ-випромінювання в навколишнє середовище використовують різні пристрої, що блокують його (спеціальні решітки, жалюзі і т. д.), що приводить до збільшення втрат потоку повітря і потребує використання більш потужних вентиляторів, які ускладнюють рішення завдання боротьби з шумом.

При проектуванні любых проточних систем знезараження повітря (як і будь-яких відкритих опромінювачів) важливо правильно вибрати джерело УФ-випромінювання (потужність, ККД, кількість допустимих включень, ресурс, можливість працювати в потоці повітря в широкому діапазоні швидкості і температури без зміни характеристик, відсутність появи озону).

Для підвищення ефективності знезараження, оскільки повітря є для бактерицидного УФ-випромінювання прозорим середовищем, в опромінювачах, особливо закритого типу слід використовувати високоефективні відбивачі УФ-випромінювання, які підвищують ефективність знезараження за рахунок багатократних відбивань [11].

При розробці і проектуванні УФ-пристроїв для знезараження повітря необхідно враховувати ряд чинників, які знижують ефективність процесу в реальних умовах експлуатації: коливання напруги мережі, коливання температури оточуючого середовища, зниження бактерицидного потоку лампи на протязі терміну служби, вплив відносної вологості і запиленості повітряного середовища. Для цього потрібно вводити відповідні коефіцієнти запасу.

Моделі і підходи для розрахунку величин інактивації бактерицидного знезараження для різних мікроорганізмів, величин ефективної УФ-дозы і інших параметрів рециркуляторів достатньо складні, і потребують багаточисельних розрахунків. Один з таких підходів, яким користуються, викладений в роботах [12, 13].

Інший метод розрахунку запропонований в роботах [5, 6]. Автори ввели поняття об'ємної енергетичної експозиції H_V (Дж/м³), що дозволило розробити для УФ-реакторів з невеликою кількістю ламп достатньо практичну методику розрахунку УФ-пристроїв для знезараження повітря (опромінювачі, рециркулятори).

Вітчизняними і закордонними компаніями випускається достатньо великий асортимент УФ-рециркуляторів. Вони різняться сферами використання, функціональними можливостями, потужністю, розмірами (камери опромінювання), типами джерел УФ-випромінювання і матеріалами з яких вони виготовлені, якістю, ціною. Більш дорогі моделі рециркуляторів мають систему контролю часу напрацювання ламп і можливість автоматичного включення – виключення по заданій програмі.

При проектуванні УФ-пристроїв, крім вище перерахованих чинників, враховують наступні: компактність, ергономічність, простота в експлуатації і обслуговуванні.

Перспективним напрямком використання пристроїв УФ-знезараження рециркулятивної дії є встановлення фільтрів для попереднього фільтрування повітря, тобто бактерицидне знезараження відбувається в два послідовних етапи, які доповнюють один одного. Ці два етапи, що представляють собою фізичні методи, можна назвати компліментарними, так як фільтрування успішно видаляє із повітря мікроорганізми, що є найбільш стійкими до дії УФ-випромінювання (спори, бактерії і плісень), а УФ-знезараження ефективно інактивує віруси, які можуть проходити скрізь фільтри навіть високої ефективності (аеродинамічний діаметр більшості вірусів не перевищує 0,1 мкм). Сумарна ефективність знезараження таких систем буде більш продуктивною, чим ефективність кожного із методів, і може бути виражена простим співвідношенням:

$$E_{\text{зар}} = (1 - (1 - E_1) \cdot (1 - E_2)), \quad (1)$$

де $E_{\text{зар}}$ – ефективність знезараження комбінованої системи; E_1 – ефективність знезараження фільтра; E_2 –

ефективність УФ – знезараження. При ефективності фільтрування 70 % і ефективності УФ-знезараження 90 % сумарна ефективність рециркулятора складатиме 97 %.

Такий підхід (це стосується не тільки рециркуляторів, але і систем знезараження повітря в цілому) на думку багатьох спеціалістів дозволяє забезпечити високу ефективність знезараження мікроорганізмів [5, 11].

Увагу приділимо також комбінованим пересувним опромінювачам-рециркуляторам. Основною перевагою таких пристроїв є поєднання функцій УФ-рециркуляторів і пересувного відкритого УФ-опромінювача. Відкритий пересувний рециркулятор володіє технічними особливостями стаціонарного рециркулятора, але має переваги, оскільки він за своєї мобільності може бути вмонтований в будь-яку конфігурацію повітряних потоків приміщення, а також при їх зміні (при використанні пересувних перегородок та інших способів трансформації приміщення) дає можливість створити повітряну завісу. З іншої сторони можливість використання цього пристрою в якості відкритого опромінювача в відсутності людей для знезараження повітря і поверхонь набагато розширює рамки його використання. Також слід відмітити, що ці пристрої призначені для використання при знезараженні повітря не тільки в лікарнях так і в інших приміщеннях, де виникає необхідність знезараження повітря і поверхонь.

Не меншою увагою користуються вбудовані системи, які розміщуються в системах вентиляції, для бактерицидного знезараження повітря, що подається в будівлю або групу приміщень. В перше чергу це пояснюється економічними міркуваннями. Для будівлі з великою кількістю приміщень не завжди оправдано розміщувати рециркулятор в кожному із них, якщо можливо використати одну систему знезараження для обробки всього об'єму повітря, який потім направляється в кожне із приміщень.

Необхідність використання таких систем УФ-знезараження ще більше зростає при використанні в системах підготовки повітря с частковим рециклом.

При розробці або виборі таких систем необхідно враховувати ряд додаткових вимог. Лампи, що використовуються в таких системах повинні працювати без переохолодження в оптимальному режимі при високих швидкостях потоку повітря (до кількох метрів за секунду), що забезпечується спеціальними заходами по їх термостабілізації (наприклад, використання кварцових чохлаів). При використанні стандартних ламп низького тиску, які в пристроях для бактерицидного знезараження повітря будуть розміщені в повітряному потоці з температурою 20 °С і швидкістю обтікання 3–4 м/с, то через зниження температури лампи інтенсивність бактерицидного потоку впаде в 4–5 разів, що зменшить ефективність знезараження в пропорційній залежності.

Для забезпечення високої продуктивності, при малих втратах швидкості потоку повітря, необхідно використовувати невелику кількість ламп достатньо великої потужності з вище перерахованими властивостями. Можливість широкого використання цих систем з'явилася останнім часом завдяки розробці нового покоління потужних і компактних джерел УФ-випромінювання [14].

На основі детального аналізу пристроїв і підходів, що використані при розробці і проектуванні пристроїв для УФ-випромінювання, можна стверджувати, що основною метою нових технічних рішень є підвищення ефективності бактерицидного знезараження повітря для забезпечення сприятливих умов перебування в приміщенні з врахуванням технології виробництва харчової промисловості. Проте досягнення цієї мети супроводжується, як правило, ускладненням конструкції без отримання ефективності знезараження.

Коллективом вчених науково-технічного центру (НТЦ) Полтавського університету економіки і торгівлі (ПУЕТ) запропоновано пристрій бактерицидного знезараження повітря, конструкція якого схематично представлена на рис. 1. Продуктивність пристрою для бактерицидного знезараження повітря 400 м³/год при потужності – 150 Вт.

Пристрій УФ-випромінювання містить циліндричний корпус із входним і вихідним отворами, в якому встановлений вентилятор. Утворена таким чином камера опромінювання повітря на вході і виході комплектується екранами, виконаними у вигляді жалюзів, які екранують приміщення від ультрафіолетових променів, при цьому суттєво не збільшують опір повітря. В камері опромінювання вісьсиметрично розміщується джерело ультрафіолетового випромінювання – «безозонова» ртутна лампа низького тиску. Внутрішня стінка камери і екрани покриті плівкою з високим коефіцієнтом відбивання, наприклад із алмазакерованого алюмінію з коефіцієнтом відбивання не менше 0,95, що дає можливість підвищити коефіцієнт використання бактерицидного потоку за рахунок багаторазових відбивань.

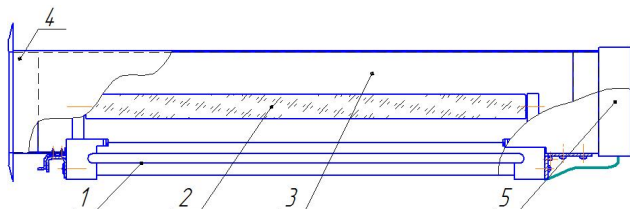


Рис. 1. Установа бактерицидного знезараження повітря рециркулятивного типу УБЗПР: 1 – світильник; 2 – бактерицидна лампа; 3 - камера опромінювання; 4 – екран; 5 – вентилятор

Принцип дії запропонованого пристрою для бактерицидного знезараження повітря полягає в наступному: повітря, що забирається з приміщення, через входний отвір подається вентилятором в камеру, де під дією ультрафіолетового опромінювання знезаражується і через вихідний отвір поступає в приміщення, забезпечуючи при цьому постійну рециркуляцію.

У відомих конструкціях установок продуктивність і розміри опромінювальної камери розраховуються по стандартним методикам [5] з використанням експериментально визначених об'ємних доз для інактивації різних видів мікроорганізмів N_v . Недоліком такого підходу є те, що об'ємна доза N_v залежить від геометрії камери і ступеня однорідності потоків повітря в процесі опромінювання. В даному випадку шари повітря, які знаходяться ближче до УФ-лампи-опромінювача, будуть отримувати «надлишкову» дозу, а шари пові-

тря, що знаходяться біля стінок камери – недоотримують необхідної дози (при достатньому середньому значенні N_v). Даний недолік пропонується ліквідувати шляхом використання при розрахунках поверхневої бактерицидної експозиції N_s [15], яка не залежить від геометричних розмірів камери, а є функцією виду мікроорганізму та ступеню його інактивації. Розміри камери установки (діаметр та довжина) пропонується вибирати із умов, при яких мінімальна опроміненість E_{min} для найменш опромінювальних ділянок камери була б достатньою для створення поверхневої дози N_s , необхідної для інактивації мікроорганізмів. Інші ділянки будуть отримувати «надлишкове» опромінення, що тільки підвищує надійність бактерицидного знезараження.

Розрахунок опромінювальної установки зводиться до визначення такої зони опромінювального простору, яка піддається мінімальній бактерицидній опроміненості E_{min} . Продуктивність установки Q може визначатися із виразу:

$$Q \approx \frac{E_{min} \cdot l \cdot \pi \cdot R_1^2}{H_s \cdot R_2^2} \cdot (R_2^2 - R_1^2), \tag{2}$$

де l – довжина розрядного стовпа бактерицидної лампи; E_{min} – опроміненість на циліндричній поверхні радіусом R_2 (радіус опромінювальної порожнини); R_1 – радіус джерела випромінювання.

Доза УФ-опромінювання, яку отримує повітря в процесі проходження через пристрій бактерицидного знезараження повітря визначається наступною формулою:

$$H_s = E_{min} \cdot t, \tag{3}$$

де t – час перебування повітря в камері.

Повітря, що проходить через камеру знезараження має отримувати необхідну поверхневу дозу опромінювання не менше 60 Дж/м².

Енергетична освітленість E_{omin} зовнішньої поверхні лампи визначалася експериментально за допомогою УФ радіометра за методикою [5, 9].

5. Особливості конструкції запропонованого пристрою

Конструкція запропонованого пристрою бактерицидного знезараження повітря, з метою ефективного використання бактерицидного потоку, виготовлена у вигляді циліндра, в якому джерело бактерицидного випромінювання (лампа) розміщується вісьсиметрично в циліндричній камері. Найменша опроміненість внутрішньої поверхні запропонованого пристрою розраховується із умов забезпечення необхідної поверхневої дози при заданому об'ємі проходження повітря

через камеру $H_s \geq 60 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$. При таких умовах, навіть

в разі ламінарної течії (коли шари повітря не перемішуються), віддалені від лампи шари повітря в камері опромінювання будуть отримувати необхідну для інактивації дозу опромінювання. Внутрішня поверхня камери виготовлена із матеріалу (наприклад, полірований алюміній, алмазакерований алюміній), який забезпечує коефіцієнт відбивання не менше 0,95.

Особливістю даної конструкції запропонованого пристрою є те, що продуктивність знезараження визначається із умов при яких мінімальна опроміненість E_{\min} для найменш опромінювальних ділянок камери була б достатньою для створення поверхневої дози H_s необхідної для інактивації. Продуктивність

$$Q \text{ визначається із виразу } Q \leq \frac{V \cdot E_{\min}}{H_s} = \frac{E_{\min} \cdot l \cdot \pi \cdot R_2^2}{H_s},$$

де V - об'єм камери.

6. Висновки

На основі запропонованого технічного рішення НТЦ ПУЕТ створено пристрій (рис. 1.) УФ-опромі-

нення повітря (рециркулятор), що використовується підприємствами харчової промисловості України. Пропускна здатність пристрою бактерицидного знезараження повітря забезпечується конструктивними особливостями під час проектування, враховуючи концентрацію та вид шкідливих мікроорганізмів, бажаний ступінь знезараження і визначається теоретично-дослідним шляхом за результатами мікробіологічного аналізу.

Одним із напрямків подальших досліджень науково-технічного центру є дослідження і розробка пристроїв УФ-випромінювання відкритого і закритого типу для бактерицидного знезараження продуктів харчової промисловості без ускладнення технологічного процесу виробництва і без втрати якісних показників продукту.

Література

1. Keklik, N. M. Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light [Text] / N. M. Keklik, K. Krishnamurthy, A. Demirci // Microbial decontamination in the food industry. – 2012. – P. 344–369.
2. Stephen, B. Germicidal ultraviolet irradiation. Modern and effective methods to combat pathogenic microorganisms [Text] / B. Stephen, Jr. Martin, D. Chuck, James D. Freihaut, William P. Bahnfleth, Josephine Lau, Ana Nedeljkovic-Davidovic // ASHRAE JOURNAL. – 2008 – Vol. 50 (8). – P. 18–20.
3. Lee, B. Effects of installation location on performance and economics of in-duct ultraviolet germicidal irradiation systems for air disinfection [Text] / B. Lee, P. William P. Bahn eth // Building and Environment. – 2013 – Vol. 67. – P. 193-201.
4. Gray, N. F. Ultraviolet Disinfection [Text] / N. F. Gray. – Microbiology of Waterborne Diseases (Second Edition), 2014. – P. 617-630.
5. Вассерман, А. Л. Ультрафиолетовые бактерицидные установки для обеззараживания воздушной среды помещений [Текст] / А. Л. Вассерман. – М.: Изд-во дом света, 1999. – Вып. 8(20).
6. Вассерман, А. Л. Сравнительные характеристики бактерицидных облучателей с ксеноновыми импульсными лампами и с ртутными лампами НД [Текст] / А. Л. Вассерман // Светотехника. – 2011. – № 5. – С. 51–52.
7. Устройство для получения озона [Текст] : пат. 2080285 Рос. Федерация: МПК С 01 В 13/11 / Викторов А. И., Марунчак Н. М. – заявитель и патентообладатель Производственно-коммерческая и внедренческая компания "Альфа-Омега". – № 93038125/25 ; заявл. 26.07.1993; опубл. 27.05.1997.
8. Устройство для обеззараживания воздуха [Текст] : пат. 2153886 Рос. Федерация: МПК А 61 L 9/20 / Сизиков В. П. – заявитель и патентообладатель Сизиков Владимир Петрович.-№99106031/14; заявл. 29.03.2000; опубл. 10.08.2000.
9. Белявский, М. П. Методика контроля потока излучения бактерицидных ламп в процессе их эксплуатации [Текст] / М. П. Белявский, А. Л. Вассерман, П. В. Рубинштейн // Светотехника. – 2001. – № 1. – С. 6–8.
10. Сарычев, Г. С. К расчету бактерицидных установок [Текст] / Г. С. Сарычев // Светотехника. – 2005. – № 1. – С. 62–63.
11. Матвеев, А. Б. Электрические облучательные установки фотобиологического действия [Текст] / А. Б. Матвеев, С. М. Лебедева, В. И. Петров; Под ред. д.т.н. С.П. Решенова. – М.: МЭИ, 1989.
12. Kowalski, W. J. Mathematical Modeling of UVGI for Air Disinfection [Text] / W. J. Kowalski, W. Bahnfleth, D. L. Witham, B. F. Severin, T. S. Whittam. – Quantitative Microbiology 2, 2000. – P. 34–38.
13. Kowalski, W. J. Airborne respiratory diseases and mechanical system for control of microbes [Text] / W. J. Kowalski, W. Bahnfleth // HPAC Engineering. – 1988. – Vol. 70 (7). – P. 34–38.
14. Fridman, A. Decreasing operating room contamination of surfaces and air with pulsed xenon ultraviolet disinfection [Text] / A. Fridman, L. A. Bruno-Murtha, R. Osgood, J. McAllister // American Journal of Infection Control. – 2013. – Vol. 41 (6) – P. 36.
15. Semenov, A. A. Bactericidal irradiators for ultraviolet disinfection of indoor air [Text] / A. A. Semenov, G. M. Kozhushko // European Applied Sciences. – 2013. – Vol. 1 (13). – P. 226–228.