

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему «РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ДЕЗИНФЕКЦІЇ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ»

«DEVELOPMENT OF THE COMPUTER-AIDED
INDOOR AIR DISINFECTION SYSTEM»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-519м
Спеціальності 172 Радіотехніка та
телекомунікації

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки

Тютюнник С.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фурманова Н.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Воскобойник В.О.

(прізвище та ініціали)

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіoeлектроніки

Факультет радіoeлектроніки та телекомунікацій

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки

(назва освітньої програми (спеціалізації))

 **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Шило Г.М.,

д-р техн. наук, доцент

« 15 » 12 2020 року

З А В Д А Н Н Я
 НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Тютюнника Святослава Костянтиновича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка автоматизованої системи дезінфекції повітря у приміщеннях

керівник проекту (роботи) Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» листопада 2020 року №325

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) електронні пристрої, дезінфекція повітря, кліматичне виконання УХЛ 4.1, 4.2

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Методи та засоби дезінфекції повітря; 2. Розробка системи УФ дезінфекції повітря у приміщеннях 3. Використання, перевірка та налаштування системи УФ дезінфекції повітря. 4. Економічне обґрунтування дипломної роботи 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 рисунків; 13 таблиць; презентація роботи.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

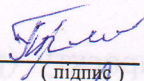
Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
Розділи 1-3	Фурманова Н.І., доц.	01.09	
Розділ з ОП і НС	Якімцов Ю.В., доц.	10.09	
Розділ з економіки	Левченко Н.М., проф.	10.09	
Нормоконтроль	Поспеева І.Є., ст. викладач	11.12	

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

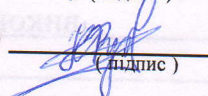
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Визначення тематики роботи	1 тиждень	Виконано
2	Огляд аналогів	2-3 тижні	Виконано
3	Постановка задачі дослідження	4 тиждень	Виконано
4	Розробка пристрою дезінфекції повітря	5-6 тижні	Виконано
5	Вибір та обґрунтування вибору елементної бази	7-8 тижні	Виконано
6	Розробка методики роботи системи	9-10 тижні	Виконано
7	Виконання організаційно-економічної частини	11 тиждень	Виконано
8	Розробка заходів з охорони праці та цивільної безпеки	12 тиждень	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	13 тиждень	Виконано
10	Оформлення супровідної документації	14 тиждень	Виконано
11	Нормоконтроль та рецензування	15 тиждень	Виконано
12	Захист роботи	16 тиждень	

Студент


(підпис)

Тютюнник С.К.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Фурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 91 с, 11 рис., 12 табл., 73 джерела.

Об'єктом дослідження в даній дипломній роботі є автоматизовані системи дезінфекції повітря.

Мета роботи – спроектувати системи дезінфекції повітря у приміщеннях із дотриманням вимог до безпечності використання, ефективності та економічності затрат електроенергії під час експлуатації.

Основними задачами дипломного проектування є:

- аналіз існуючих систем автоматизованої дезінфекції повітря;
- огляд фізичних принципів, на яких вони функціонують;
- проведення аналізу використовуваних систем щодо ефективності за безпечності використання;
- вибір типу автоматизованої системи дезінфекції;
- проектування системи дезінфекції повітря в приміщенні в цілому;
- вибір елементної бази;
- економічне обґрунтування роботи;
- розробка заходів із охорони праці.

Актуальність проведення дослідження обумовлена необхідністю зниження ризику зараження захворюваннями, що передаються повітряно-крапельним шляхом, в сучасних умовах.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДЕЗІНФЕКЦІЇ, УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ОПРОМІНЕННЯ, СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ, ПОВІТРОПРОВІД, ФІЛЬТРАЦІЯ ПОВІТРЯ, БАКТЕРИЦИДНА ЛАМПА

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ.....	9
1 Методи та засоби дезінфекції повітря	10
1.1 Історія застосування систем автоматизованої дезінфекції приміщень та повітря.....	10
1.1.1 Системи на основі аеролізованого пероксиду водню	12
1.1.2 Системи випаровування пероксиду водню	13
1.1.3 Ультрафіолетове випромінювання та імпульсно-ксенонове УФО14	
1.2 Сучасні технології дезінфекції повітря	16
1.2.1 Дезінфекція впливом ультрафіолетового опромінювання	16
1.2.2 Дезінфекція застосуванням бактеріальних фільтрів	21
1.2.3 Дезінфекція впливом аерозолів дезінфікуючих засобів	22
1.2.4 Дезінфекція впливом озону.....	24
1.3 Використання автоматизованих систем дезінфекції на основі УФО ..	25
1.4 Постановка задачі дослідження дипломної роботи.....	30
2 Розробка системи УФ дезінфекції повітря у приміщеннях	31
2.1 Загальні положення.....	31
2.2 Проектування комплексних УФ-С систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.....	33
2.2.1 Підстельові системи на основі опромінювання УФ-С.....	35
2.2.2 Системи дезінфекції в повітропроводах УФ-С: дезінфекція повітряного потоку.....	38
2.3 Розробка системи дезінфекції повітря	40
2.3.1 Каркас і панелі.....	40

2.3.2 Вентилятор і двигун.....	41
2.3.3 Котушки охолодження та опалення.....	41
2.3.4 Теплообмінники	41
2.3.5 Фільтри.....	42
2.3.6 Ультрафіолетова лампа	42
2.4 Розробка систем контролю і моніторингу	42
3 Використання, перевірка та налаштування системи УФ дезінфекції повітря	45
3.1 Обробка елементів системи ОВКП	45
3.2 Альтернативні та додаткові налаштування системи дезінфекції.....	47
3.3 Енергетичний та економічний аналіз.....	49
3.4 Установка, запуск та введення в експлуатацію	51
3.4.1 Підстельові системи УФ-С.....	51
3.4.2 Системи дезінфекції в повітропроводах.....	51
3.5 Рекомендації щодо урахування правил безпеки при проектуванні.....	52
4 Економічне обґрунтування дипломної роботи	54
4.1 Побудова мережевого графіка на підставі проведених робіт	54
4.1.1 Визначення трудомісткості і тривалості робіт	54
4.1.2 Побудова мережевого графіка	56
4.2 Розрахунок кошторису витрат на реалізацію проекту	59
4.2.1 Розрахунок вартості матеріалів	60
4.2.2 Спеціальне обладнання для реалізації проекту	61
4.2.3 Розрахунок заробітної плати.....	62
4.2.4 Єдиний соціальний внесок.....	63
4.2.5 Загальновиробничі витрати.....	63

4.2.6 Бальна оцінка економічної ефективності науково-дослідницької роботи	64
4.3 Висновки	65
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	66
5.1 Аналіз потенційних небезпек	66
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	67
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	70
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	78
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки	78
5.4.2 Заходи з цивільного захисту	79
Висновки	83
Перелік посилань.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

UVC (УФ-С)	ультрафіолетове світло С-діапазону
АСД	Автоматизовані системи дезінфекції
ОВКП (HVAC)	Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря
УФ	ультрафіолет
УФО (UVGI - Ultraviolet germicidal irradiation)	Ультрафіолетове опромінювання

ВСТУП

У 2020 році весь світ зіткнувся з COVID-19. Скупчення людей у будівлях виявляється основним фактором ризику зараження, з чим пов'язані ряд обмежень, що вводять різні країни з метою захисту громадян. І хоча зараз найбільша увага приділяється вірусу SARS-CoV-2, існує ряд інших збудників (віруси, бактерії, грибки тощо), які можуть передаватися по повітрю. Часто ці патогени чутливі до ультрафіолетового випромінювання, тому постає задача проектування систем з технічними параметрами, адаптованими до умов експлуатації системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Використовуючи бактерицидні джерела для дезінфекції повітря, можна інактивувати понад 90% вірусу SARS-CoV-2, понад 97% вірусу грипу типу А [1]. Використання випромінювачів УФ-С для знезараження повітря дозволяє використовувати циркуляцію та рекуперацію. Тому це ефективний засіб забезпечення безпеки здоров'я та енергоефективності на майбутнє.

Можливість точного прогнозування продуктивності систем УФО створює нові можливості та можливості для інженерів та науковців, що працюють у галузі охорони здоров'я або в галузі якості повітря в приміщеннях. Це також дозволяє зменшити витрати на системи, оскільки їх проектування стає швидшим, а експлуатація - надійнішою. Наслідки цих нових методів проектування включають зниження споживання енергії та збільшення доступності системи для тих, хто їх найбільше потребує.

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПОВІТРЯ

1.1 Історія застосування систем автоматизованої дезінфекції приміщень та повітря

Інфекції з аерозольним механізмом передачі визначають 90% інфекційної захворюваності в світі. Тільки від гострих респіраторних вірусних інфекцій захворюваність і економічні втрати більше, ніж від інших інфекційних захворювань. Знезараження повітря - профілактичний захід, який допомагає запобігти поширенню інфекційних захворювань з аерозольним механізмом передачі (туберкульоз, кір, дифтерія, вітряна віспа, краснуха, ГРВІ, включаючи грип, і т. п.).

Оскільки роль забруднених поверхонь та повітря у передачі збудників є дуже важливою, тому у ряді робіт зроблено акцент на важливості ефективного очищення та дезінфекції [2, 3]. У цьому розділі розглядається традиційні та сучасні автоматизовані системи дезінфекції приміщень (АСД).

Традиційно в медичних закладах, що найчастіше застосовують дезінфекцію повітря, використовують АСД чотирьох класів:

- системи на основі аерозолізованого перексиду водню;
- випаровуючі системи перексиду водню;
- системи, що застосовують ультрафіолетове світло С-діапазону (УФ-С);
- імпульсні ксенонові системи.

Описано відмінності між цими системами з точки зору їх технологічних аспектів, мікробіологічної ефективності, доказів клінічного впливу та практичних можливостей, а також короткий огляд інших систем та врахування їх порівняльної ефективності та вартості. На основі цих відмінностей детально обговорюються сценарії, в яких можуть бути вказані різні АСД.

Раніше вважалося, що забруднені поверхні незначно сприяють ендемічній передачі патогенних мікроорганізмів у лікарнях [4,5]. Однак останні дані

вказують на те, що забруднені поверхні роблять важливий внесок у передачу певних внутрішньолікарняних патогенів [6]. Дослідження доводять, що допуск до кімнати, яку раніше займав пацієнт, інфікований певними патогенами, збільшує ризик наступних мешканців придбати ці патогени приблизно в два рази [7]. В залежності від виду бактерій та вірусів, це підвищення може відрізнятись.

Поліпшення дезінфекції приміщень зменшує або усуває цей підвищений ризик [8,9,10]. Таким чином, поточне очищення та дезінфекція приміщень, де перебувають багато людей, в тому числі – лікарень, є недостатніми і потребує вдосконалення. Поява більш вірулентних та епідемічних штамів грипу (наприклад, А-Н1N1, коронавірус), є додатковими причинами для покращення знезараження навколишнього середовища.

Ефективність звичайного очищення та дезінфекції може бути обмежена кількома факторами. Ключовим обмеженням є залежність від людини-оператора, щоб правильно вибрати та підготувати відповідний агент, а потім розподілити його на всі цільові поверхні протягом необхідного часу контакту. Удосконалення цих традиційних методів вимагає модифікації поведінки людини, чого важко досягти та підтримати. Застосування автоматизованих систем дезінфекції приміщень забезпечує додатковий підхід, який усуває або зменшує залежність від оператора, що виконує дезінфекцію [11].

Автоматизовані системи дезінфекції широко застосовуються, в першу чергу, в сфері охорони здоров'я, щоб зменшити залежність від операторів та зменшити ймовірність людських помилок, у якості прикладу можна навести роботизовану хірургію [12]. Визнаючи ці потенційні переваги, публікації про АСД різко зросли за останні роки.

Незважаючи на інтерес протягом останніх років, концепція АСД не є новою. Перші системи дезінфекції базувалися на спалюванні сірки та інших хімічних сумішей, використанні газоподібного формальдегіду [13]. У 60-х роках формальдегід замінили аерозолізованими хімічними речовинами, такими як сполуки четвертинного амонію та фенольні сполуки. Однак занепокоєння щодо ефективності та безпеки призвело до того, що з 1970-х років Центри США з

контролю та профілактики захворювань (CDC) порадили, що дезінфекцію із використанням випаровувань та газів не слід регулярно виконувати в зонах догляду за пацієнтами [14]. Зростання визнання важливості забруднення навколишнього середовища спонукало до розробки декількох нових АСД на основі перекису водню, або ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Покращена ефективність та безпека цих систем у порівнянні з дезінфікуючими аерозолізаторами 1960-х та 1970-х років спричинили повторну оцінку рекомендації CDC.

1.1.1 Системи на основі аеролізованого перекису водню

Системи дезінфекції на основі аеролізованого перекису водню (рис. 1.1) є простим у використанні та відносно недорогим у порівнянні з системами випаровування H_2O_2 та УФО.

У таких системах зазвичай використовується розчин, що містить 5% –6% перекису водню та <50 ppm срібла.



а – Steris Biogienie; б – Oxypharm Nocospray

Рисунок 1.1 – Системи дезінфекції на основі аеролізованого перекису водню

Аерозолізовані краплі вводяться в корпус через односпрямоване сопло. Розмір частинок залежить від виробника, і може бути від 0,5 мкм до 10 мкм [15]. Доза, яка зазвичай рекомендується для кімнат, становить 6 мл на м³. Після впливу аерозоль зазвичай залишається для природного розкладання, без активної аерації в більшості систем, хоча деякі з них мають активну систему аерації для зменшення часу циклу. Потенціал окремих пристроїв для знезараження площ, більших за однокімнатні, обмежений [16].

Перед застосуванням двері та вентиляційні отвори приміщення слід герметично закрити, забезпечити відсутність витоків під час циклів знезараження та перевірити, що концентрація перекису водню нижче гранично допустимих концентрацій, щоб уникнути шкідливого впливу на здоров'я [17]. Час циклу зазвичай становить 3-4 год., однак за необхідності тривалість циклу в однокімнатних приміщення може бути значно більшою. Деякі дослідження свідчать про те, що однорідного розподілу активного агента не досягається [18], можливо тому, що аеролізований пероксид водню вводиться через односпрямоване сопло і на частинки впливає сила тяжіння. На сьогодні недостатньо досліджень, що підтверджують сумісність систем аеролізованого пероксиду водню матеріалами та пристроями, включаючи чутливу електроніку. Також важливо відмітити, що декілька досліджень відзначали проблеми з надійністю обладнання [19].

1.1.2 Системи випаровування пероксиду водню

Системи випаровування H₂O₂ доставляють теплогенеровану пару перекису водню через високошвидкісний повітряний потік для досягнення однорідного розподілу у закритій зоні [20]. Дві системи, що використовують пари H₂O₂, Bioquell та Steris, представлені на рис. 1.2. Подібні системи включають генератор для виробництва пари, модуль для вимірювання концентрації пероксиду водню, температури та відносної вологості у приміщенні, та блок аерації для каталізації розпаду парів пероксиду водню на кисень та водяну пару. Системи мають можливість дистанційного управління.



а

б

а – Bioquell hydrogen peroxide vapor. (B) Steris vaporized hydrogen peroxide

Рисунок 1.2 – Випаровуючі системи пероксиду водню

Випаровуючі системи H_2O_2 використовуються для знезараження приміщень [21], багатокімнатних відсіків [22] та цілих блоків [23]. Однак системи випаровування H_2O_2 більш складні, ніж системи УФО та аеролізованого пероксиду водню, оскільки для однієї кімнати потрібні два пристрої (генератор та блок аерації).

Перед застосуванням таких систем дверні та вентиляційні отвори потрібно герметизувати. Як і у випадку із застосуванням аеролізованого пероксиду водню, контроль охорони праці повинен гарантувати, що під час циклів не відбувається витоків і що концентрація пероксиду водню всередині корпусу не перевищує межі впливу на здоров'я та безпеку (1 ppm) перед повторним входом. Таким чином, вимоги до підготовки персоналу для використання систем перекису водню вищі, ніж для УФО-систем. Повідомлений час циклу наразі становить 1,5–2,5 год для однокімнатного приміщення. Сумісність парових систем пероксиду водню із матеріалами та пристроями добре відома [24].

1.1.3 Ультрафіолетове випромінювання та імпульсно-ксенонове УФО

Системи УФ-С для дезактивації приміщень доставляють конкретні дози випромінювання на одиницю площі в залежності від типу дезінфекції (наприклад, 12000 мкВт/см² для вегетативних бактерій та 22000–36000 мкВт/см² для спор)

більші за окремі кімнати. Довгостроковий вплив УФ на матеріали та пристрої не досліджений. Системи УФО є відносно дорогими порівняно з іншими системами автоматизованої дезінфекції [27].

Імпульсно-ксенонові системи випромінюють УФ широкого спектру за короткі імпульси (рис. 1.3, б) [28]. Можуть розміщуватись в кількох приміщеннях і мають відносно короткий час циклу. Такі системи мають подібні практичні міркування до систем УФ-С, включаючи необхідність використання кількох приміщень кімнати для вирішення проблем прямої видимості, термін використання ламп, що впливає на інтенсивність імпульсу та обмежену здатність знезаражувати зони, більші за одиничні кімнати. Крім того, система працює, використовуючи серію яскравих "спалахів", які можуть заважати людям поза приміщенням.

1.2 Сучасні технології дезінфекції повітря

1.2.1 Дезінфекція впливом ультрафіолетового опромінювання

Ультрафіолетове бактерицидне опромінення (УФО) повітряного середовища приміщень – традиційний і найбільш поширений санітарно-протиепідемічний (профілактичний) захід, спрямований на зниження кількості мікроорганізмів в повітрі медичних організацій та профілактику інфекційних захворювань [29].

УФ-промені є частиною спектра електромагнітних хвиль оптичного діапазону. Вони надають шкідливу дію на ДНК мікроорганізмів, що призводить до загибелі мікробної клітини в першому або наступних поколіннях. Спектральний склад УФ-випромінювання, що викликає бактерицидну дію, лежить в інтервалі довжин хвиль 205-315 нм.

Віруси і бактерії в вегетативній формі більш чутливі до впливу УФ-випромінювання, ніж цвілеві і дріжджові гриби, спорові форми бактерій.

Ефективність бактерицидного знезараження повітря приміщень за допомогою УФ-випромінювання залежить:

- від видової приналежності мікроорганізмів, що знаходяться в повітрі;
- спектрального складу УФ-випромінювання;
- інтенсивності імпульсу, що видається джерелом УФ-променів;
- експозиції;
- обсягу оброблюваного приміщення;
- відстані від джерела, кута падіння УФ-променів («не працюють» в затінених місцях приміщення);
- стану повітряного середовища приміщення: температури, вологості, рівня запиленості, швидкості потоків повітря.

Виділяють 3 способи застосування УФ-випромінювання: пряме, непряме та закрите.

Пряме опромінення проводиться за відсутності людей (перед початком роботи, в перервах між виконанням певних маніпуляцій, прийому пацієнтів) за допомогою бактерицидних ламп, закріплених на стінах або стелі або на спеціальних штативах, що стоять на підлозі.

Непряме опромінення (відбитими променями) здійснюється з використанням випромінювачів, підвішених на висоті 1,8-2 м від підлоги з рефлектором, зверненим вгору таким чином, щоб потік променів потрапляв в верхню зону приміщення; при цьому нижня зона приміщення захищена від прямих променів рефлектором лампи. Повітря, що проходить через верхню зону приміщення, фактично піддається прямому опроміненню.

Закрите опромінення застосовується в системах вентиляції і автономних рециркуляційних пристроях, допустиме в присутності людей. Повітря, що проходить через бактерицидні лампи, що знаходяться всередині корпусу рециркулятора, піддається прямому опроміненню і потрапляє знову в приміщення вже знезараженим.

Технічні засоби для УФ-знезараження, можна поділити на:

- бактерицидні лампи;
- бактерицидні опромінювачі.

1.2.1.1 Бактерицидні лампи

В останні роки для знезараження повітря стали використовуватися ксенонові імпульсні лампи.

Ртутні лампи низького тиску конструктивно і за електричними параметрами практично не відрізняються від звичайних освітлювальних люмінесцентних ламп, за винятком того, що їх колба виконана зі спеціального кварцового або увіолевого скла (скло, що володіє підвищеним пропусканням ультрафіолетового випромінювання з довжинами хвиль менше 400 нм) з високим коефіцієнтом пропускання УФ-випромінювання, на її внутрішню поверхню не нанесено шар люмінофора. Основна перевага ртутних ламп низького тиску полягає в тому, що понад 60% випромінювання припадає на довжину хвилі 254 нм, що забезпечує найбільшу бактерицидну дію. Вони мають великий термін служби (5000-10 000 год.) і миттєву здатність до роботи після запалювання.

У ртутно-кварцових ламп високого тиску інше конструктивне рішення (їх колба виконана з кварцового скла), і тому при невеликих розмірах вони мають велику одиничну потужність (100-1000 Вт), що дозволяє зменшити кількість ламп в приміщенні. Однак ці лампи мають низьку бактерицидну віддачу і малий термін служби (500-1000 год.). Крім того, мікробіцидний ефект настає через 5-10 хв. після початку роботи. Істотним недоліком ртутних ламп є небезпека забруднення парами ртуті приміщень і навколишнього середовища в разі руйнування та необхідності проведення демеркуризації. Тому після закінчення термінів служби лампи підлягають централізованій утилізації в умовах, що забезпечують екологічну безпеку.

В останні роки з'явилося нове покоління випромінювачів - ксенонові короткоімпульсні лампи, що володіють набагато більшою біоцидною активністю. Принцип їх дії заснований на високоінтенсивному імпульсному опроміненні повітря і поверхонь УФ-випромінюванням суцільного спектра. Перевага ксенонових імпульсних ламп обумовлено більш високою бактерицидною активністю і меншим часом експозиції. Перевагою ксенонових ламп є також те, що при випадковому їх руйнуванні довкілля не забруднюється парами ртуті.

Основні недоліки цих ламп, які стримують їх широке застосування, - необхідність використання для їх роботи високовольтної, складної і дорогої апаратури, а також обмежений ресурс випромінювача (в середньому 1-1,5 року).

Бактерицидні лампи поділяються на озонові і безозонові.

У озонових ламп в спектрі випромінювання присутня спектральна лінія з довжиною хвилі 185 нм, яка в результаті взаємодії з молекулами кисню утворює озон в повітряному середовищі. Високі концентрації озону можуть мати несприятливий вплив на здоров'я людей. Використання цих ламп вимагає контролю вмісту озону в повітряному середовищі, бездоганної роботи вентиляційної системи, регулярного ретельного провітрювання приміщення.

Щоб виключити можливість генерації озону, розроблені так звані бактерицидні безозонові лампи. У таких ламп за рахунок виготовлення колби зі спеціального матеріалу (кварцове скло з покриттям) виключається вихід випромінювання порядку 185 нм.

1.2.1.2 Бактерицидні опромінювачі

Бактерицидний опромінювач - це електротехнічний пристрій, до складу якого входять: бактерицидна лампа, відбивач і інші допоміжні елементи, а також пристосування для кріплення. Бактерицидні опромінювачі перерозподіляють потік випромінювання, згенерованого лампою, в навколишній простір в заданому напрямку. Все бактерицидні опромінювачі поділяються на дві групи - відкриті і закриті.

У відкритих опромінювачах використовується прямий бактерицидний потік від ламп і відбивача (або без нього), який охоплює певний простір навколо них. Такі опромінювачі встановлюються на стелі, стіни або в дверних отворах, можливі мобільні (пересувні) варіанти опромінювачів.

Особливе місце займають відкриті комбіновані опромінювачі. У цих опромінювач за рахунок поворотного екрану бактерицидний потік від ламп можна направляти як в верхню, так і нижню зону простору. Однак ефективність таких пристроїв значно нижче через зміну довжини хвилі при відбитті. При

використанні комбінованих опромінювачів бактерицидний потік від екранованих ламп повинен направлятися в верхню зону приміщення таким чином, щоб виключити вихід прямого потоку від лампи або відбивача в нижню зону.

У закритих випромінювачів (рециркуляторів) бактерицидний потік розподіляється в обмеженому замкнутому просторі і не має виходу назовні, при цьому знезараження повітря здійснюється в процесі його прокачування через вентиляційні отвори рециркулятора.

Опромінювачі закритого типу (рециркулятори) повинні розміщуватися в приміщенні на стінах по ходу основних потоків повітря (зокрема, поблизу опалювальних приладів) на висоті не менше 2 м від підлоги. Рециркулятори на пересувний опорі розміщують в центрі приміщення або також по периметру. Швидкість повітряного потоку забезпечується або природною конвекцією, або примусово за допомогою вентилятора.

При використанні бактерицидних ламп в припливно-витяжної вентиляції їх розміщують у вихідній камері. У приміщенні краще установка опромінювачів поблизу вентиляційних каналів (не під витяжкою) і вікон.

Недоліки дезінфекції повітря методом УФО наступні:

- при використанні відкритих опромінювачів потрібні засоби індивідуального захисту, забороняється застосування в присутності людей;
- ефективність опромінення знижується при підвищеній вологості, запиленості, низьких температурах;
- не видаляються запахи і органічні забруднення;
- ртутні лампи не діють на плісняві гриби;
- використання озонових ламп вимагає регулярних замірів озону;
- бактерицидний потік змінюється в ході експлуатації, необхідний його контроль;
- підвищені вимоги до експлуатації та утилізації опромінювачів, які містять ртуть;

– висока вартість установки і складне технічне обслуговування імпульсних ксенонових ламп.

1.2.2 Дезінфекція застосуванням бактеріальних фільтрів

1.2.2.1 Механічні фільтри

Фільтри використовують такий спосіб очищення, при якому забруднене повітря проходить через волокнисті матеріали і осідає на них.

Підбір фільтрів і порядок їх використання залежить від того, яка чистота повітря повинна бути забезпечена в тому чи іншому приміщенні. Так, повітря, що подається в приміщення чистоти класів А (операційні, реанімаційні і т.д.) і Б (післяпологові палати, палати для опікових хворих і т. д.), піддається очищенню і знезараженню пристроями, які забезпечують ефективність інактивації мікроорганізмів на виході з установки не менше ніж на 99% для класу А і 95% для класу Б, а також ефективність фільтрації, відповідної фільтрам високої ефективності.

1.2.2.2 Іонні електростатичні очищувачі повітря

Принцип дії таких очищувачів повітря полягає в тому, що частинки забруднення розміром від 0,01 до 100 мкм, проходячи через іонізаційні камеру, набувають заряд і осідають на протилежно заряджених пластинах.

1.2.2.3 Фотокаталітичні очищувачі повітря

Працюють за принципом фотокаталізу. Таке обладнання для дезінфекції приміщень також є ефективним в плані очищення повітря від мікроорганізмів, але на відміну від бактерицидних ламп, вони борються і з летючими сполуками. Фотокаталітичні прилади забезпечують знезараження повітря в будь-якому приміщенні, вони безпечні, і їх можна використовувати в приміщеннях з людьми так само, як і в порожніх. Принцип їх дії полягає в окисненні різних летючих з'єднань. Процес відбувається на поверхні фотокаталізатора, в умовах кімнатної температури. Такі знезаражувачі повітря впливають дуже м'яко, отримані оксиди на фільтрах не осідають і руйнуються до безпечних компонентів. За допомогою

цих установок інактивуються: хвороботворні мікроорганізми; вихлопні гази; чадний газ; аміак; сірководень; феноли і інші леткі токсичні речовини.

За допомогою цих приладів вдається ефективно нейтралізувати неприємні запахи, дим, алергени і токсичні сполуки. Фотокаталітичні установки використовують у багатьох громадських місцях, в офісах, адміністративних будівлях, навчальних закладах, в тому числі школах, подібні бактерицидні установки для знезараження повітря все частіше встановлюються в медустановах.

При використанні фотокаталітичних очищувачів повітря відбувається розкладання і окислення мікроорганізмів і хімічних речовин на поверхні фотокаталізатора під дією ультрафіолетових променів.

Недоліки дезінфекції бактеріальними фільтрами, наступні:

- не діє на мікроорганізми, розміщені на поверхнях;
- знижує вологість повітря приміщень;
- необхідність регулярного технічного обслуговування і своєчасної заміни фільтруючих елементів.

1.2.3 Дезінфекція впливом аерозолів дезінфікуючих засобів

Може здійснюватися двома способами:

- випаровування частинок аерозолію і конденсація його парів на бактеріальному субстраті;
- випадання невиварених частинок на поверхні і утворення бактерицидної плівки.

Залежно від розмірів частинок аерозолів дезінфікуючих засобів розрізняють:

- «сухий» туман - розмір часток 3,5-10 мкм;
- «зволожений» туман - розмір часток 10-30 мкм;
- «вологий» туман - розмір часток 30-100 мкм.

Переваги даного методу дезінфекції:

- висока ефективність при обробці приміщень великих обсягів, в т. ч. важкодоступних і віддалених місць;
- одночасне знезаражування повітря, поверхонь в приміщеннях, систем вентиляції і кондиціонування повітря;
- можливість вибору найбільш адекватного режиму застосування за рахунок варіювання режимів роботи генератора - дисперсності, тривалості циклів обробки, норми витрат, енергії частинок;
- економічність (низька норма витрати і зменшення трудовитрат);
- екологічність (за рахунок підвищення ефективності дезінфекції аерозольним методом знижується концентрація діючих речовин і витрати дезінфікуючих речовин, тим самим знижується навантаження на навколишнє середовище);
- мінімізація шкоди для об'єктів обробки (зниження концентрації і норм витрати зберігає обладнання від пошкодження).

Дана технологія обробки повітря і поверхонь рекомендується в якості основного / допоміжного або альтернативного методу для знезараження повітря і поверхонь при проведенні заключної дезінфекції, генеральних прибирань, перед знесенням і перепрофілюванням медичних організацій; при різних типах прибирання; для знезараження систем вентиляції та кондиціонування повітря при проведенні профілактичної дезінфекції, дезінфекції за епідеміологічними показниками і осередкової заключної дезінфекції.

Недоліки дезінфекції аерозолями:

- необхідні додаткові засоби індивідуального захисту;
- тривале провітрювання приміщень після застосування аерозолів;
- застосування тільки в відсутність пацієнтів;
- непридатність для поточної дезінфекції.

1.2.4 Дезінфекція впливом озону

Озон - це хімічна речовина, молекула якого складається з трьох атомів кисню. Молекула озону нестабільна. При взаємодії з іншими речовинами озон легко втрачає атоми кисню, і тому озон є одним з найбільш сильних окиснювачів, набагато перевершуючи двухатомарний кисень повітря (поступається тільки фтору і нестабільним радикалам). Він окисляє майже всі елементи, за винятком золота і платини.

Озон активно вступає в хімічні реакції з багатьма органічними сполуками. Цим пояснюється його виражена бактерицидна дія. Озон вступає у взаємодію зі всіма структурами клітини, частіше викликаючи порушення проникності або руйнування клітинної мембрани. Також озон володіє дезодоруючою дією.

У той же час озон є газом, негативний вплив якого на організм людини перевищує вплив чадного газу.

За токсичними властивостями озон належить до першого класу небезпеки і вимагає надзвичайно обережного поводження з ним. У приміщеннях, де працюють люди, не можна допускати витоку озону. Під його впливом можуть утворюватися токсичні речовини.

Через високу хімічну активність озон завдає сильного корозійного впливу на конструкційні матеріали.

Недоліки дезінфекції озоном наступні:

- небезпека шкідливого хімічного впливу на персонал і пацієнтів;
- підвищені вимоги безпеки при роботі; при дезінфекції в концентрації озону може досягати 3-10 мг/м³, тому обробка проводиться під час відсутності людей;
- озон може поширюватися на сусідні приміщення при негерметичності оброблюваних приміщень, неправильній роботі вентиляційних систем або загальних повітропроводів;
- корозійна дія на вироби з металу;
- озон непридатний для поточної дезінфекції;

– тривалий час (120 хв.) саморозкладу озону після застосування в приміщеннях, що вимагають асептичності.

1.3 Використання автоматизованих систем дезінфекції на основі УФО

Ультрафіолетове світло успішно застосовується для знезараження води та обладнання з кінця 1800-х років. Застосування для дезінфекції повітряного потоку розпочалося в 1930-х роках, але мало успішність була непостійною. До цього часу проектування систем знезараження повітря ультрафіолетовим випромінюванням залишалося складною задачею. Проблема полягала у відсутності цілеспрямованих досліджень та аналізу, достатньо детальних для встановлення фундаментальних математичних взаємозв'язків між УФО-лампами, відбиваючими кожухами та мікробною реакцією на проходження через область із інтенсивним випромінюванням.

Доступна на сьогоднішній день проектна інформація не гарантує передбачуваних характеристик систем знезараження повітря УФО. Деякі з сучасних методів проектування можуть призвести до загального редизайну системи, що призводить до непомірних витрат та високого споживання енергії. Інші методи проектування призводять до створення низькоефективних систем.

Хоча перша система знезараження води УФО була впроваджена в 1909 році [30], перші системи УФО, призначені для дезінфекції повітряного потоку, були впроваджені лише в 1930-х роках [31]. Виходячи з обмежених лабораторних даних та використовуючи лампи УФО, які незадовго до цього стали доступними, ці системи були розмірені без переваг існуючих критеріїв. Для визначення їх ефективності використовувались спеціальні тести для взятих проб повітря. Деякі з цих систем мали великий успіх; зокрема використовувались для боротьби з кором у школах і або для усунення туберкульозних паличок із витяжного повітря лікарняної палати [32].

Інші конструкції виявились неефективними. Було видано рекомендації, які санкціонували використання УФО лише в поєднанні з НЕРА-фільтрами (High

Efficiency Particulate Air). Окрім вдосконалення конструкції ламп, технологія дезінфекції повітряного потоку залишається майже незмінною протягом десятиліть.

Перші принципи проектування систем знезараження повітряного потоку УФО були розроблені в 1940-х роках [33, 34]. Версії з'явилися в каталогах, які продовжують відтворюватися і використовуватися сьогодні. Ці рекомендації пропонують процедури, схеми та таблиці для розміру ламп та відбивних поверхонь, щоб отримати бажану швидкість дезінфекції.

Ці методи, хоч і добре деталізовані для цього періоду, мають ряд недоліків:

- вони не можуть визначити поле інтенсивності, натомість просто використовують номінальну потужність лампи або, спираються на фотометричні дані для середніх точок лампи;
- не враховують місця розташування або тип лампи;
- корекційний коефіцієнт для прямокутних каналів ігнорує зміни поля інтенсивності внаслідок відбиття поверхні;
- корекційні коефіцієнти відбивної здатності ігнорують розміри та довжини каналів;
- таблиця корекції температури базується на одній моделі світильника і не застосовується до ламп інших виробників.

Інші виробники визначають розміри систем за емпіричними правилами, наприклад, за заповненням наявного перерізу максимально можливою кількістю ламп, або проєктують конструкції відповідно до власних випробувань. Ряд джерел посиляються на зворотноквадратичний закон для визначення поля інтенсивності ламп УФО, але ця модель може бути недостатньо точною для проектування системи і може призвести до систем, що спроектовані або недостатньо якісно (наприклад, мають понаднормові витрати енергії), або потребують занадто багато часу на проектування. На сьогодні не представлено суворої методології проектування та прогнозування швидкості дезінфекції повітряного потоку систем УФО.

Результат різних неточностей проектування, описаних вище, загалом може призвести до негабаритних систем дезінфекції повітря. Ігнорування розміщення ламп може призвести до того, що системи будуть мати велику загальної потужності та недостатню ефективність. Економія енергії може бути досягнута за рахунок вдосконалення методологій проектування, а також зниження перших витрат електроенергії.

Системи автоматизованої дезінфекції повітря сьогодні широко використовуються в галузі охорони здоров'я та соціальних секторах, як показано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Застосування систем УФО

Область застосування	Пункт призначення	Вид дезінфекції
1	2	3
Заклади охорони здоров'я	Операційні	Повітря та поверхні
	Ізоляційні палати та кімнати	Повітря
	Загальні лікарняні площі	Повітря
	Кімнати невідкладної допомоги	Повітря та поверхні
	Дезінфекція обладнання	Поверхні
Заклади загального користування	Біозахист	Повітря
	Контроль росту цвілі	Поверхні
	Контроль за захворюваннями органів дихання	Повітря
	Дезінфекція пошти	Поверхні
	Санація будівлі	Поверхні
Житлові приміщення, готелі	Контроль за алергенами та патогенами	Повітря
	Контроль росту цвілі	Поверхні
Школи, літаки	Контроль за захворюваннями органів дихання	Повітря та поверхні

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Кораблі	Контроль захворювань	Повітря та поверхні
Лабораторії	Контроль біологічної небезпеки	Повітря та поверхні
Бібліотеки, музеї	Контроль росту цвілі	Поверхні
	Контроль за алергенами	Повітря
Очисні споруди та каналізація	Контроль біологічної небезпеки	Повітря та поверхні
Харчова промисловість	Контроль біозабруднення	Повітря та поверхні
Сільськогосподарська галузь	Контроль біологічної небезпеки	Повітря та поверхні
Промислові об'єкти	Контроль біологічної небезпеки	Повітря та поверхні
Тюрми та в'язниці, притулки для бездомних	Контроль біологічної небезпеки	Повітря та поверхні

Таким чином, можна розділити системи дезінфекції УФ на два типи: дезінфекція повітря та поверхонь (рис.1.4).

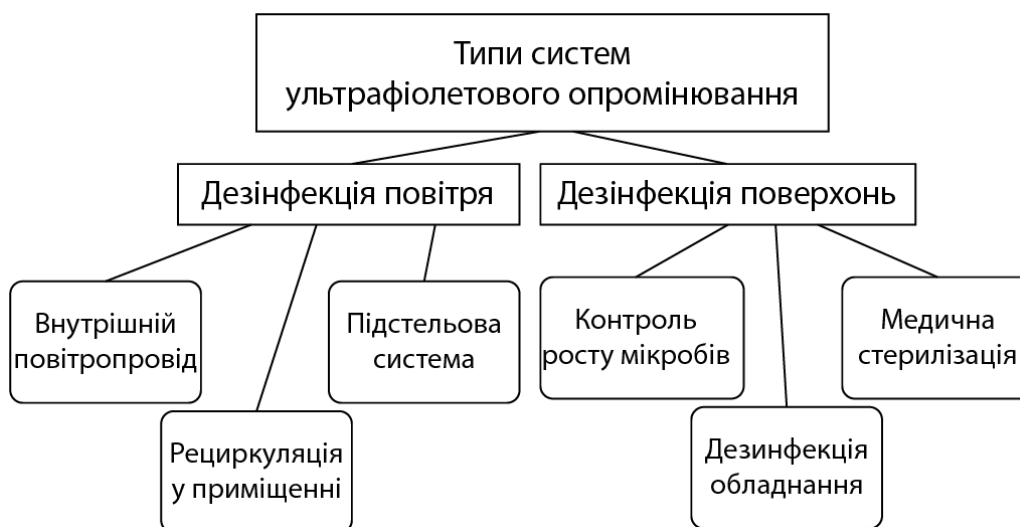


Рисунок 1.4 – Класифікація систем ультрафіолетового опромінювання

Контроль за ростом мікробів останнім часом проходить багато досліджень і користується успіхом у практичних застосуваннях [35, 36]. У Європі контроль за ростом мікробів практикується принаймні з 1985 р. на пивоварнях, де грибок може спричинити псування продукції. Рекомендується розміщувати лампи потужністю 15 Вт на відстані 1 м від поверхні охолоджуючих котушок або стін, де може виникнути конденсат [37].

Ріст мікробів на поверхнях може складатися з грибків, бактерій або водоростей, але не вірусів, які є внутрішньоклітинними паразитами. Постійний прямий вплив УФО може стерилізувати будь-яку поверхню за умови достатнього часу стерилізації.

Системи знезараження повітря УФО рідко функціонують ізольовано, але, як правило, вони пов'язані з системами фільтрації повітря та вентиляцією будівель. Ефект фільтрації в поєднанні з УФО є доповнюючим, оскільки фільтрація, як правило, видаляє з повітряного потоку великі мікроби, які часто стійкі до УФО.

Також існують методи оцінки будівельних систем очищення повітря, і ці ефекти, як правило, є адитивними або доповнюючими у поєднанні з УФО [38].

Можна навести наступні приклади використання комплексних технологій:

- останні моделі закритих УФ-опромінювачів-рециркуляторів, які спочатку пропускають повітря через фільтри, а потім знезаражують його всередині робочої камери за допомогою УФ-променів;
- різні моделі фотокаталітичних очищувачів повітря, де перед фотокаталізом повітря проходить через механічні фільтри.

У спеціалізованих організаціях можна реалізувати кілька технологій, як паралельно, так і послідовно (наприклад, очищати припливне повітря через фільтри в системі вентиляції і потім використовувати рециркулятор, щоб підтримувати асептичність).

Система протицвілевої обробки включає первинну обробку повітря і поверхонь аерозольними генераторами і подальше включення фотокаталітичних знезаражувачів.

Кожна з технологій знезараження повітря має свої переваги і недоліки, знати які необхідно як при виборі обладнання для профілактики інфекцій, так і при його експлуатації.

1.4 Постановка задачі дослідження дипломної роботи

Враховуючи ситуацію пандемії, яка охопила світ в цьому році, та наявність великої кількості інших захворювань, що розповсюджуються повітряно-крапельним шляхом, тема є актуальною. Основною метою дипломної роботи є проектування системи дезінфекції повітря у приміщеннях із дотриманням вимог до безпечності використання, ефективності та економічності затрат електроенергії під час експлуатації.

Проведений аналіз існуючих систем дезінфекції повітря показав, що найбільш безпечним та ефективним водночас є метод дезінфекції використанням опромінення світлом діапазону УФ-С. Тому в наступних розділах необхідно вирішити такі задачі:

- проектування системи дезінфекції повітря в приміщенні в цілому;
- вибір елементної бази;
- економічне обґрунтування роботи;
- розробка заходів із охорони праці.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УФ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ

2.1 Загальні положення

Ультрафіолетова енергія - це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі коротшою, ніж у видимого світла, і довшою, ніж рентгенівські промені (рис. 2.1).

Міжнародна комісія з освітлення [39] визначає УФ-частину електромагнітного спектра як випромінювання з довжиною хвилі від 100 нм до 400 нм. УФ-спектр додатково ділиться на УФ-А (довжини хвиль від 400 нм до 315 нм), УФ-В (від 315 до 280 нм), УФ-С (від 280 нм до 200 нм) та вакуумний УФ (від 200 нм до 100 нм) [40]. Як показали дослідження, оптимальна довжина хвилі для інактивуючих мікроорганізмів становить 265 нм, а бактерицидний ефект швидко зменшується, якщо довжина хвилі не є оптимальною. Ультрафіолетова енергія застосовується для інактивації вірусних, бактеріальних і грибкових організмів, після чого вони не здатні розмножуватися і потенційно спричиняють захворювання. УФ енергія порушує дезоксирибонуклеїнову кислоту широкого кола мікроорганізмів, роблячи їх нешкідливими [41].

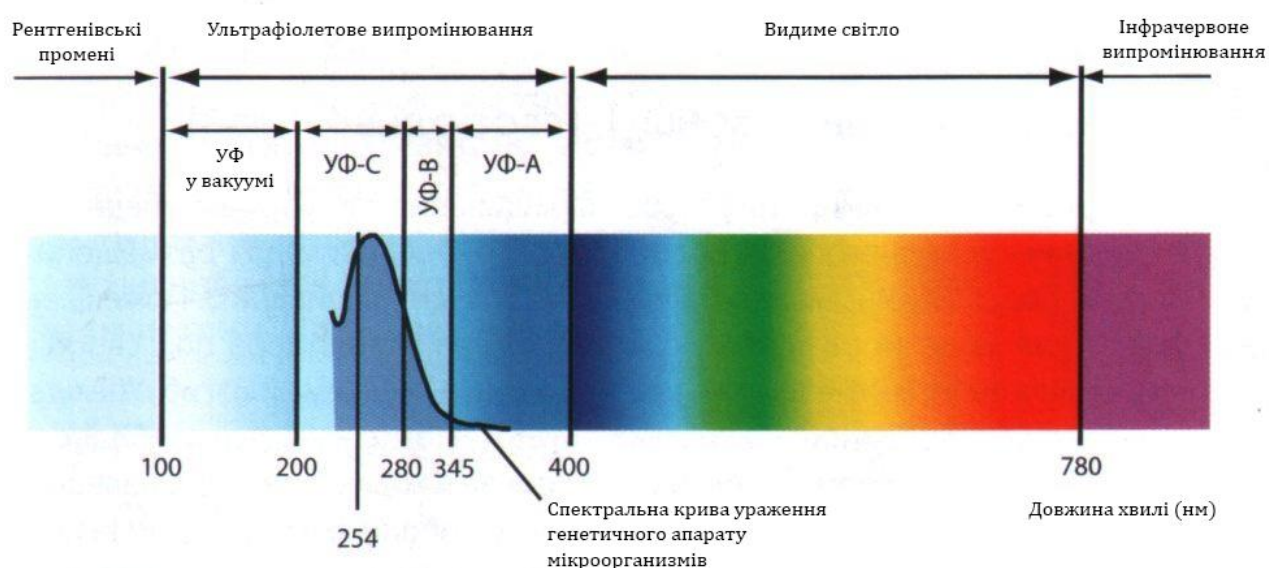


Рисунок 2.1 – Частотний розподіл електромагнітного випромінювання

Зараз ультрафіолетові системи дезінфекції (УФСД) використовується як інженерний контроль для переривання передачі патогенних організмів, таких як мікобактерії туберкульозу, віруси грипу, цвіль та потенційні агенти біотероризму [42, 43].

Стандартним джерелом ультрафіолетового випромінювання (УВХ) в системах є ртутні лампи низького тиску, які випромінюють в основному УФВ майже з оптимальною довжиною хвилі 253,7 нм. Використання бактерицидних ультрафіолетових ламп та систем для дезінфекції повітря в приміщенні та повітряних потоків датується приблизно 1900 р. [44]. Застосування ультрафіолетових систем дезінфекції стає все більш частим, оскільки побоювання щодо якості повітря в приміщенні зростають.

Проаналізувавши ряд досліджень, можна запропонувати наступну систему дезінфекції за допомогою ультрафіолетового випромінювання, поєднавши її із системою опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВКП) (рис. 2.2). Контроль біоаерозолів за допомогою УФВ може підвищити якість повітря в приміщенні і, отже, покращити стан здоров'я, комфорт і продуктивність мешканців [45, 46].

У визначених приміщеннях встановлюються підстельові пристрої для управління біоаерозолями (наприклад, вірусами, бактеріями, грибами, що містяться в крапель) у повітрі. Вбудовані системи потоку повітря встановлені в кондиціонерах для контролю біоаерозолів у рециркульованому повітрі, які можуть збиратися з багатьох приміщень, а також для контролю росту мікроорганізмів на охолоджуючих котушках та інших поверхнях. Запобігання утворенню біоплівки на котушках без накопичення може допомогти підвищити ефективність теплообмінника (отже, знижує енергію, необхідну для переміщення та кондиціонування повітря), а також усуває одне потенційне джерело забруднення повітря, яке може погіршити якість повітря в приміщенні. Система дезінфекції за допомогою УФ-С, як правило, поєднується із звичайними методами контролю якості повітря, включаючи розріджувальну вентиляцію та фільтрацію твердих частинок, для оптимізації витрат та використання енергії [47].

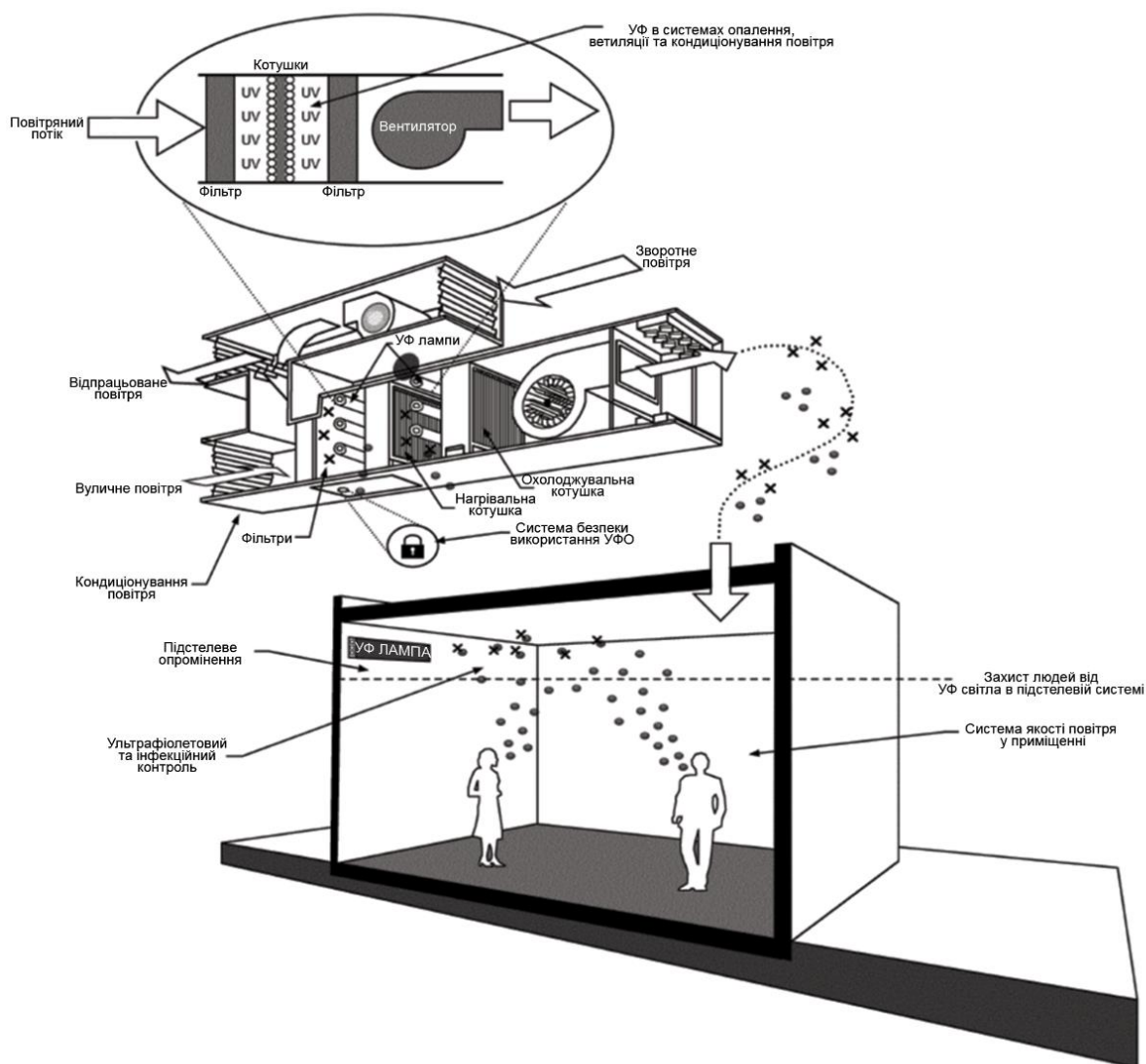


Рисунок 2.1 – Потенційне застосування систем на базі УФ-С випромінювання для контролю мікроорганізмів у повітрі та на поверхнях

2.2 Проектування комплексних УФ-С систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря

Сьогодні проектування систем УФ-С спирається на дані про продуктивність виробників ламп, стійкість приладів та досвід розробників систем. Багато виробників обладнання мають методи оцінки доставленої дози УФ, що може включати використання табличних таблиць даних, математичне моделювання та складні формули. Як і більшість ОВКП-компонентів, системи УФ-С часто мають

великі розміри для забезпечення продуктивності. Потенційно це може збільшити витрати на обладнання та комунальні послуги, а також може призвести до менш енергоефективних систем.

Незважаючи на те, що підтримка застосування технології на основі УФ-С зростає, і було встановлено багато успішних систем, найважливішими потребами в області УФО є галузеві стандарти оцінки пристроїв та установок, а також вказівки щодо встановлення та обслуговування [48]. Технічний комітет ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) був створений у 2003 році (спочатку як Робоча група, перетворений на Постійний Технічний Комітет у 2007 році), частково для усунення цих недоліків шляхом започаткування дослідницьких програм. Наразі розроблено два нові стандарти ASHRAE, що використовуються у всьому світі, які надають кінцевим споживачам оцінки продуктивності обладнання та допомагають розробникам систем УФ-С у виборі відповідних компонентів.

Стандарт ASHRAE 185.1 описує методики випробування ультрафіолетових ламп для використання в повітряних апаратах або повітропроводах для інактивації повітряно-розповсюджуваних мікроорганізмів, встановлює метод випробувань для оцінки ефективності УФ-ламп щодо їх здатності інактивувати повітряні мікроорганізми, що знаходяться всередині систем загальної вентиляції.

Стандарт ASHRAE 185.2, описує методики випробування ультрафіолетових ламп для використання в системах ОВКП або повітропроводах для інактивації мікроорганізмів на опромінених поверхнях, встановлює подібний метод випробування для вимірювання інтенсивності ультрафіолетових ламп на опромінених поверхнях в типових умовах експлуатації ОВКП-систем.

Для будь-якого застосування здатність УФ-С інактивувати мікроорганізми залежить від так званої дози. Доза - це тривалість часу впливу, помножена на опромінення, виміряне в мкВт/см^2 . Ключовою відмінністю між поверхневою дезактивацією та повітряною інактивацією організмів є час впливу, або витримки. У системі повітропроводів час витримки становить близько секунди або частки секунди через швидке переміщення повітря по повітропроводу. Отже,

опромінення має бути достатньо високим, щоб забезпечити дозу, необхідну для інактивації збудника за лічені секунди або частки секунди, залежно від конфігурації та характеристик системи УФ-С.

Як уже згадувалося раніше, віруси та бактерії відрізняються своєю сприйнятливістю до інактивації ультрафіолетом. Тому при проектуванні таких систем бажано мати інформацію щодо найбільш важливих аспектів дезінфекції, характерних для конкретного застосування розроблюваної системи.

2.2.1 Підстельові системи на основі опромінення УФ-С

Основною метою розміщення та використання УФ систем дезінфекції повітря є переривання передачі інфекційних патогенів, що переносяться повітрям, усередині приміщення.

Дослідження зараження від людини до людини вказують щонайменше на дві схеми передачі: зараження всередині приміщення від людини до людини, і передача вірусів та бактерій за межами кімнати через те, що повітря зі збудниками проходить через вентиляційні канали та циркулює по всій будівлі.

Системи, що застосовують УФ-С, використовуються в поєднанні з іншими засобами контролю навколишнього середовища для захисту мешканців будівель, що довело свою ефективність для боротьби із грипом, кором та туберкульозом [49].

Підстельові УФ-С-пристрої призначені для створення контрольованого УФ-С-поля над головами мешканців та мінімізації УФ-С в нижній, частині приміщення, де знаходяться люди. Пропонується опромінення УФ-С в той момент, коли повітря надходить до системи кондиціонування. При цьому лампи можуть бути встановлені так, щоб направлено опромінювати повітря на котушках охолодження/нагрівання. Такі системи є ефективними у приміщеннях, де є хоча б мінімальна вентиляція повітря, але навіть за її відсутності відповідно до законів теплообміну, нагріте повітря, що видихають люди, піднімається вгору, де відбувається опромінення УФ-С. Дослідження показують ефективність таких систем навіть при вільному переміщенні повітря.

Підстельові системи УФ-С призначені для опромінення лише повітря у верхній частині приміщення, тому ефективність таких систем залежить від конфігурації приміщення, розміщення ультрафіолетового приладу та достатності повітряних потоків для надходження забрудненого повітря у верхню зону УФ. Пристрої УФ-С слід розміщувати у відповідних відстанях для розміщення площі, форми та висоти простору, в якому потрібно дезінфікувати повітря.

У таких системах УФ-С, як правило, використовуються УФ-С-лампи низького тиску в трубчастій і компактній формі різної електричної потужності та напруги. Кріплення УФ-С вибирається залежно від висоти від підлоги до стелі. Висота стель понад 3 м може забезпечити більш відкриті світильники, що може бути більш ефективним, оскільки вони можуть забезпечити більшу зону опромінення. Для приміщень з низькою стелею (менше 3 м), застосовують різні жалюзійні пристрої для ультрафіолетового опромінення (настінний, підвісний та кутовий), одиночні і в комбінаціях. Вони встановлюються на відстані не менше 2,1 м від підлоги до нижньої частини кріплення. Системи УФ-С слід монтувати так, щоб його УФ-енергія розподілялася паралельно площині стелі. Конструкція та розміщення пристрою запобігають надмірній ультрафіолетовій енергії, що могла б бути шкідливою для людей в приміщенні. На рис. 2.3 показано типове розташування системи ультрафіолетового опромінення, на рис. 2.4 - типовий розподіл енергії УФО у приміщенні.

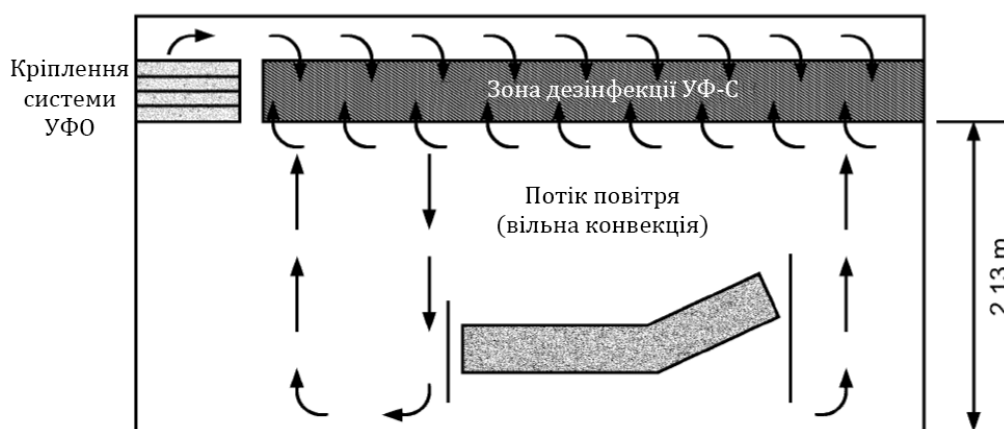


Рисунок 2.3 – Типове розташування підстельової системи ультрафіолетового опромінення

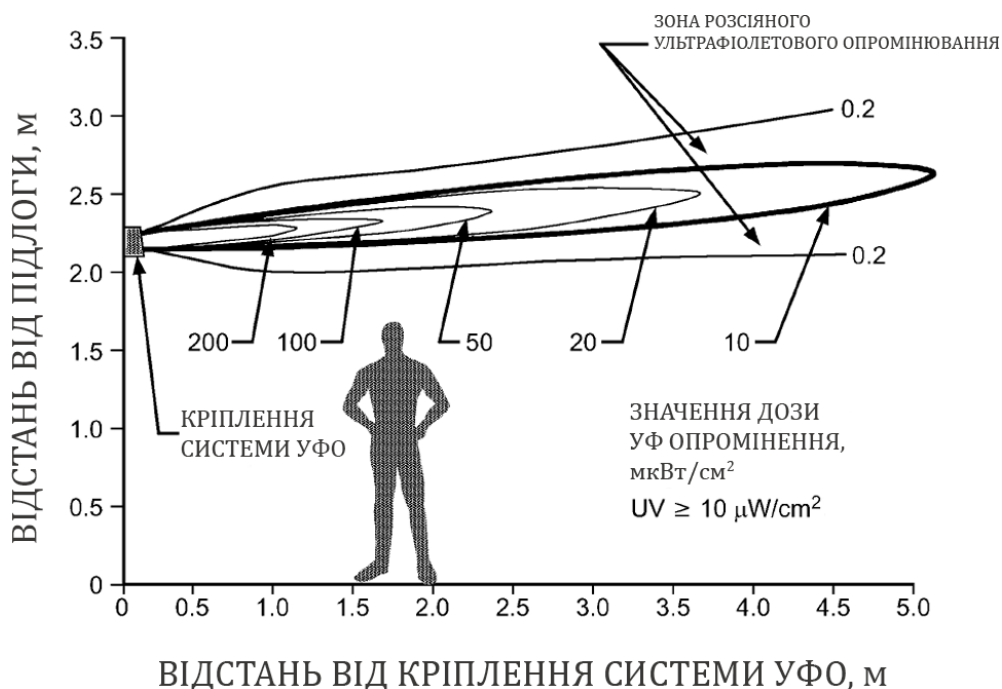


Рисунок 2.4 – Залежність розподілу енергії УФО у приміщенні від відстані до підстельової системи УФ-С

Загальна ефективність підстельових ультрафіолетових систем значно покращується, коли повітря в просторі може добре перемішуватися. Хоча конвекційні повітряні потоки, створені людьми та обладнанням, можуть забезпечити адекватну циркуляцію повітря в деяких умовах, більш переважними є системи механічної вентиляції, які максимально змішують повітря. Якщо механічна вентиляція неможлива, вентилятори можна розмістити в приміщенні для посилення змішування. Багато приладів включають захисний вимикач, який розриває електричне коло, коли системи з лампами відкриваються для обслуговування, і повинні містити перегородки або жалюзі, розташовані належним чином для прямого ультрафіолетового опромінення у верхній повітряний простір. Перегородки та жалюзі ні в якому разі не можна згинати або деформувати.

Залежно від цілей дезінфекції, режим роботи підстельових систем УФО може відрізнятися. Системи, призначені для зменшення або усунення розповсюдження повітряно-крапельних інфекційних захворювань у лікарняних установах, де ймовірність зараження дуже висока, повинні працювати 24 години

на добу, 7 днів на тиждень. Підстельові системи УФО, призначені для поліпшення якості повітря в приміщеннях нелікарняного призначення (торгові центри, заклади освіти, адміністративні будівлі) можуть працювати циклічно або вмикатись у години нормальної зайнятості будівель і вимикатись, коли приміщення порожнє. Це може забезпечити прийнятну якість повітря у приміщеннях у періоди зайнятості будівель, одночасно заощаджуючи енергію та вимагаючи рідшої заміни ламп. Однак циклічна робота повинна бути врахована в початковій конструкції системи, оскільки регулярне включення та вимкнення УФ-ламп може негативно вплинути на експлуатаційні характеристики лампи та їх термін служби.

2.2.2 Системи дезінфекції в повітропроводах УФ-С: дезінфекція повітряного потоку

Основною метою проектування системи дезінфекції повітря променями УФ-С в повітропроводах є рівномірний розподіл УФ енергії у всіх напрямках по всій довжині каналу або припливно-витяжної установки (ПВУ) для доставки відповідної дози УФ до повітря, що рухається через опромінену зону з мінімальною потужністю системи. Підвищення загальної відбивальної здатності внутрішньої частини повітропроводу може покращити ефективність роботи системи дезінфекції УФ-С, відбиваючи енергію УФ-С назад в зоні опромінення, збільшуючи тим самим ефективну дозу УФ. Використання таких матеріалів, як алюміній або інші високовідбиваючі матеріали, може збільшити відбивальну здатність. Правильно спроектовані ультрафіолетові системи дезінфекції повітря також здатні підтримувати чистоту охолоджуючих поверхонь котушок (змійовиків) та ємностей для конденсату посудин, коли УФ-лампи встановлені в безпосередній близькості від цього обладнання.

Необхідне середнє опромінення для типової повітропровідної системи становить близько $1000-10\,000 \text{ мкВт/см}^2$, але воно може бути вищим або меншим залежно від вимог до застосування.

Системи дезінфекції повітря в повітрі повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити бажаний рівень інактивації за один прохід за найгірших умов температури та швидкості повітря в зоні опромінення. Найгірші показники відображають сукупний ефект кількості / потужності УФ-С-приладів; час перебування в повітрі, який обернено пропорційний швидкості руху повітря; та характеристики лампи, включаючи ефект охолодження повітря та зношення системи. У більшості випадків найнижча максимальна швидкість у системі відбувається всередині припливно-витяжних установок. З цієї причини, і оскільки вона забезпечує можливість обробки повітря з багатьох приміщень і одночасного опромінення охолоджувальних котушок та ємностей для конденсату, це дуже поширений вибір, хоча системи можуть бути розташовані і в повітропровідних каналах.

Оскільки повітропроводи часто встановлюються в припливно-витяжних установках, більшість систем повітропроводів розроблені для швидкості повітря близько 2,5 м/с. При такій швидкості зона опромінення довжиною 2,5 м досягається витримкою протягом 1 с. Як правило, повітропровідні системи слід встановлювати в місці, яке може забезпечити мінімум 0,25 с впливу УФ; інакше витрати системи та споживання енергії будуть надмірними. Пристрої УФ-С найчастіше розташовані нижче за котушками обігріву/охолодження. Однак у деяких випадках кріплення перед котушкою може призвести до зниження температури в повітроводі, що призводить до більш оптимальної температури роботи лампи та більш економічної дезінфекції. Компроміс полягає у зменшенні ефективності дезінфекції охолоджуючої котушки та усуненні опромінення зливної піддону, яку забезпечують лампи, встановлені за котушкою.

Системи дезінфекції УФ-С в повітропроводах слід завжди використовувати у поєднанні з належною фільтрацією. Фільтри можуть захистити УФ-лампи від скупчення пилу та бруду, що з часом може зменшити вихід УФ, а фільтри покращують загальні можливості очищення повітря системою.

2.3 Розробка системи дезінфекції повітря

Виходячи із проведеного аналізу, розроблена в даній дипломній роботі система буде складатися із припливно-витяжної установки, укомплектованої УФ лампами для дезінфекції повітря. Її спрощена схема, на якій не вказані повітропроводи, наведена на рис. 2.6.

Короткий опис основних елементів розробленої системи дезінфекції наведено нижче.

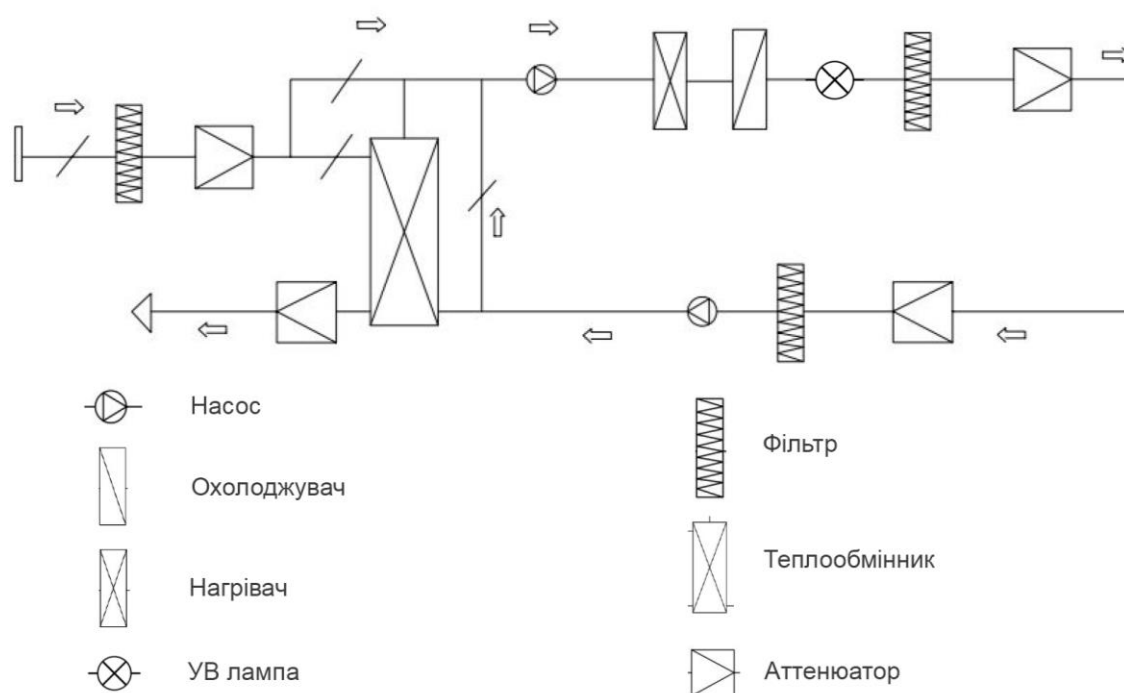


Рисунок 2.6 – Схема розробленої системи дезінфекції повітря

2.3.1 Каркас і панелі

Каркас для розробленої системи може бути виконаний із алюмінієвого сплаву або армованого пластику. Це пов'язано із необхідністю забезпечити обмеження ваги через установку під стелею. Такий вибір матеріалів забезпечує високу міцність і стійкість, які можна підвищити за допомогою використання антикорозійних покриттів.

В якості матеріалу панелей обрано алюмінієві пластини. Стандартна товщина панелі становить (50...90) мм з щільністю ізоляції 45 кг/м^3 , при цьому зовнішня частина панелі може мати облицювання відповідно до вимог замовника.

2.3.2 Вентилятор і двигун

Всі частини, на які впливає вібрація, мають статичну та динамічну збалансованість відповідно до стандартів ISO1940 та AMCA 204-G2.5.

Запропоновано використання підшипників радіального типу із глибокими канавками з перехідною втулкою або сферичні роликові підшипники, ущільнені з обох сторін. Двигуни повністю закриті вентиляторним охолодженням із ізоляцією класу F до захисту IP55.

2.3.3 Котушки охолодження та опалення

Стандартні котушки побудовані з мідних трубок, механічно зв'язаних з алюмінієвими ребрами, з різьбовими мідними голівками, які містяться в оцинкованій сталевій рамі. Можливі наступні варіанти котушок:

- котушка з антикорозійним покриттям;
- котушки нагрівача розподільника пари;
- котушки випаровувача.

Нами було обрано котушки, що мають антикорозійне покриття. З урахуванням можливої появи конденсату таке покриття сприятиме підвищенню стійкості котушок до корозійних впливів.

2.3.4 Теплообмінники

Можуть бути поставлені наступні форми обладнання для рекуперації тепла:

- пластинчастий теплообмінник;
- теплове колесо;
- теплова труба;
- теплова котушка.

У якості теплообмінників обрано пластинчасту конструкцію, встановлену таким чином, щоб на неї потрапляли промені від УФ лампи.

2.3.5 Фільтри

Можуть поставлятися такі форми фільтра:

- пристрої попередньої фільтрації (високоєфективні компактні фільтри класу H10 до H13, закріплені за допомогою кронштейнів, гайок і болтів або затискачів на важкій оцинкованій сталевій прокладці;
- кінцеві фільтри;
- додаткові фільтри (встановлюються за необхідності додаткової фільтрації, наприклад, якщо система працює в умовах з підвищеним вмістом пилу у повітрі).

Нами було обрано застосувати у якості кінцевого фільтра комбінований вугільний НЕРА-фільтр, що утримує невидимі оку частинки, алергени, бактерії і віруси, а також різні шкідливі гази, включаючи формальдегіди.

2.3.6 Ультрафіолетова лампа

Ультрафіолетова лампа діє на бактерії на поверхні предмета, її можна використовувати для усунення бактерій на поверхні фільтра, зміювика та ємності для конденсату. Ультрафіолетова лампа діапазону 265 нм із хвильовою стрічкою з лампою з кварцового скла тривалого терміну служби. На дверцятах доступу ультрафіолетової лампи є один захисний вимикач, лампа вимикається, коли двері відкриті для безпеки.

2.4 Розробка систем контролю і моніторингу

З метою спрощення експлуатації та контролю технічних систем у будинках та забезпечення гнучкості їх використання була запропонована інтелектуальна централізована система управління.

Система управління пропонує можливість простого та зручного контролю внутрішніх параметрів навколишнього середовища в будівлі. Будь-яка людина без спеціальних технічних знань може керувати нею, просто встановлюючи параметри через контрольну точку (сенсорну панель або ПК).

Система управління реалізована з використанням технологій автоматизації будівель консорціуму KNX. Будучи загальновизнаним за протоколом автоматизації будівель, він пропонує широкий спектр постачальників обладнання, які можна оптимально поєднати з фінансової та функціональної точок зору. Крім того, системою KNX може керувати будь-який функціональний пристрій управління, від мікроконтролера до ПК, залежно від масштабу проекту [50]. Важливою перевагою є гнучкість системи KNX.

Архітектуру можна легко модифікувати, елементи можна додавати або видаляти, не впливаючи на всю систему. Це система низької напруги 30 В постійного струму та струму 25 мА. Шина управління прокладена паралельно ланцюгу живлення 230 В.

Входи та виходи системи управління включають:

- аналоговий вихід на вентиляторах та УФ лампі, який дає інформацію про те, чи працюють вентилятори та лампи чи ні;
- цифровий вихід і вхід вентиляторів, які повідомляють нам швидкість вентилятора, і він використовується для управління швидкістю обертання вентилятора шляхом змінної частоти подаваного струму. Поточне значення частоти обертання вала вимірюється потенціометром або датчиком Холла і подається як вихід вентиляторів.
- цифровий вихід панелей: він надає інформацію про те, що панелі закриті або відкриті;
- різницю тиску на обох сторонах фільтрів, що дозволяє вчасно визначити стан чистоти фільтрів, і вчасно очистити їх;
- різниця тиску між двома сторонами теплообмінника (аналогічно до фільтрів);

- аналоговий вхід для температури повітря до та після блоку теплообмінника, який використовується для регулювання потужності нагрівання або охолодження.

3 ВИКОРИСТАННЯ, ПЕРЕВІРКА ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ УФ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПОВІТРЯ

3.1 Обробка елементів системи ОВКП

Як і у всіх формах знезараження, перед застосуванням системи УФ-С їй самій потрібне очищення, щоб видалити органічні речовини, що знижують ефективність автоматизованих систем дезінфекції повітря [51].

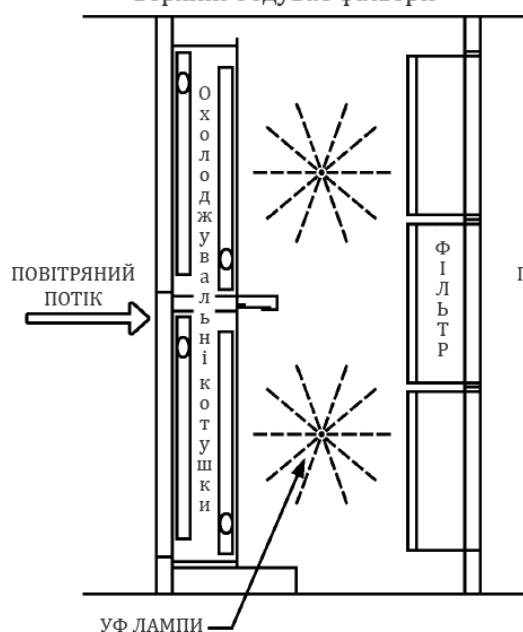
Умови в системі ОВКП можуть сприяти зростанню бактерій та біоплівки, що містять цвіль, на вологих або вологих поверхнях, таких як охолодження котушок, ємності для конденсату, стінки вентиляторів, теплообмінники та фільтри. Елементи секції охолоджувальної котушки та її потоків особливо чутливі через конденсацію та перенесення вологи з котушок. Забруднення котушок охолодження біоплівками може збільшити перепад тиску в котушках та зменшити потік повітря та ефективність теплообміну [52]. Фільтри захоплюють бактерії, цвіль і піл, що може призвести до збільшення мікробів у вологих фільтруючих середовищах. По мірі забруднення стійкість фільтра до потоку повітря може зростати. Це може призвести до необхідності заміни фільтра. Разом з погіршенням характеристик повітряного потоку знижується якість повітря в приміщеннях, де застосовується система ОВКП [53].

Звичайні методи підтримки комбінації повітря включають хімічне та механічне очищення, яке може бути дорогим, складним у виконанні та небезпечним для обслуговуючого персоналу та мешканців будівель. Пари від чистячих засобів можуть сприяти поганій якості повітря, хімічний стік сприяє забрудненню підземних вод, а механічне очищення може зменшити термін служби компонентів. Крім того, продуктивність системи може знову почати погіршуватися незабаром після очищення, оскільки ріст мікробів знову з'являється або активізується.

УФ-С може застосовуватися до систем вентиляції та кондиціонування повітря, як правило, для доповнення звичайних процедур технічного обслуговування системи. Було доведено ефективність такого підходу для зменшення перепаду тиску та збільшенні коефіцієнта тепловіддачі котушки охолодження [54]. Значної дози опромінення на нерухомій поверхні можна досягти навіть із низьким ультрафіолетовим опроміненням через, по суті, нескінченний час впливу, що дозволяє порівняно легко та економічно ефективно запобігти росту бактерій і цвілі на компонентах системи. На відміну від доз опромінення повітря для дезінфекції, які можуть перевищувати 1000 мкВт/см^2 , рівні опромінення поверхні котушки порядку 1 мкВт/см^2 можуть бути ефективними, хоча частіше застосовують $50\text{-}100 \text{ мкВт/см}^2$. Використання відбивачів для фокусування променів від лампи на поверхні котушок може зменшити потужність, необхідну для обробки поверхні, але за рахунок зменшення ефективності обробки повітря. Потенційні переваги обробки поверхні УФ-С включають постійне підтримання чистоти поверхонь, а не періодичне відновлення забруднених поверхонь, відсутність використання хімікатів, нижчі витрати на технічне обслуговування та потенційно кращі показники роботи системи ОВКП.

Лампи можна встановити для орієнтації на такі проблемні компоненти, як охолоджувальні котушки, ємності для конденсату або фільтри (рис. 3.1), або застосувати для широкого розподілу УФ енергії по всьому корпусу, де може спостерігатися активність мікробів. Як і обладнання для обробки повітря в повітропроводі, системи для обробки поверхні в кондиціонерах повинні бути спроектовані таким чином, щоб витримувати вологу та конденсат, і обрані для роботи в повному обсязі робочих умов системи.

360° охоплення - нижній потік обдуває котушки,
верхній обдуває фільтри



Направлене опромінення котушок

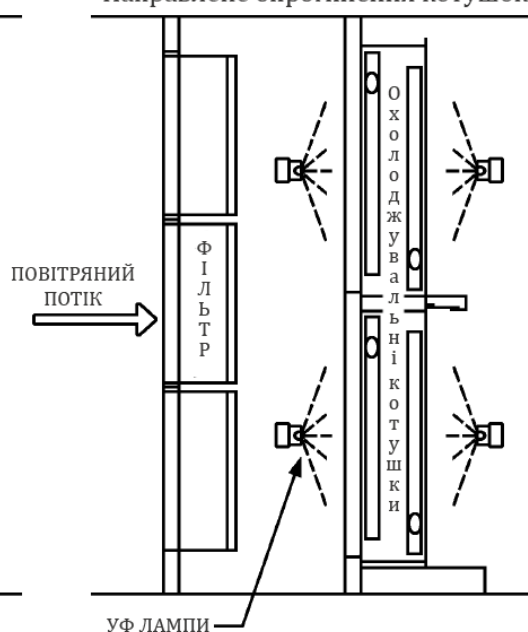


Рисунок 3.1 – Варіанти розташування УФ ламп для опромінення повітря у підстельових системах ОВКП

3.2 Альтернативні та додаткові налаштування системи дезінфекції

Можливі різні способи зменшення передачі інфекційних захворювань, що передаються повітряно-крапельним шляхом:

- опромінення променями УФ-С;
- вентиляція та розведення концентрації повітря із різних приміщень;
- регулювання потоку повітря в приміщенні;
- перепади тиску в приміщенні;
- фільтрація.

З одного боку, їх можна розглядати як різні, взаємовиключні альтернативи контролю за розповсюдженням інфекцій. Окремо як вентиляція, так і фільтрація або застосування УФ-С променів можуть забезпечити однаковий рівень контролю за певним джерелом забруднення. Однак, в більшості випадків, в одній і тій же системі використовуються кілька режимів контролю якості повітря, часто в результаті вимог стандартів. Наприклад, кодекси якості повітря для комерційних

будівель на основі стандарту ASHRAE 62.1 мінімально вимагають як вентиляції розведення, так і фільтрації твердих частинок на встановлених рівнях.

У поєднанні з іншими обов'язковими режимами обробки повітря УФ-С забезпечує додаткові переваги. Наприклад, якщо фільтр твердих частинок видаляє 85% даного агенту в потоці повітря, а послідовно з ним встановлюється система УФ-С з ефективністю в одному проході 85%, то комбінована ефективність захоплення та інактивації в один прохід становитиме приблизно 98% (тобто додаткова перевага додавання 85% ефективного пристрою становить лише 13%). Ситуації, що включають вентиляцію, фільтрацію та застосування УФ-С опромінення, можна оцінити кількісно, проаналізувавши всю систему.

Приклад такого типу аналізу наведений в роботі [55] Назаров і Wechsler (2009) для декількох типових механізмів очищення повітря у поєднанні з вентиляцією. Ефективність очищувача повітря, доданого до системи з вентиляцією, визначається з точки зору ефективності ε , що є різницею в концентрації забруднювачів у цікавому просторі, спричиненою додаванням очищувача повітря, та концентрації, яка існувала б без очищувача повітря:

$$\varepsilon = (C_{\text{baseline}} - C_{\text{control}}) / C_{\text{baseline}}$$

Де C_{baseline} — концентрація бактерій, вірусів тощо без очищувача повітря;

C_{control} — концентрація бактерій, вірусів тощо після додавання очищувача повітря.

Цей показник ефективності показав би, наприклад, що додавання УФ-С до системи з низькою швидкістю вентиляції мало б вищу ефективність (тобто більший вплив), ніж додавання того самого пристрою до тієї самої системи з більшою швидкістю вентиляції. Поширення цієї концепції на багатопросторові системи та впровадження декількох очищувачів повітря та типів очищувачів повітря є простим. Проектувальники систем можуть використовувати такі методи

для отримання більш точних оцінок витрат і вигод та для оптимізації характеристик та розміщення повітроочисників.

Навіть за відсутності обмежень, накладених будівельними нормами, проектувальник системи повинен врахувати потенційні переваги поєднання методів очищення повітря. Наприклад, вартість сажових фільтрів та їх негативний вплив на використання енергії вентилятора зростають у зворотному відношенні до розмірів частинок, що підлягають контролю (тобто, фільтри для дрібніших частинок, як правило, дорожчі ніж фільтри для більших частинок та більш уразливі до забруднення, що викликає перепад тиску). З іншого боку, багато великих мікроорганізмів, які можуть бути стійкими до дії УФХ, такі як деякі спори грибів, можна ефективно захопити фільтрами з помірно високою ефективністю. Крім того, використання УФ-С для придушення росту мікробів на фільтрах є потенційним додатковим використанням цих технологій. Рішення використовувати або не використовувати один із доступних, ефективних методів контролю мікробів має базуватися на повному аналізі, який враховує загальні цілі ефективності якості повітря, впливу на використання енергії та економічних факторів. Такий аналіз проілюстровано для типової системи знезараження повітря наведено в роботі [56].

3.3 Енергетичний та економічний аналіз

Основні витрати на володіння та експлуатацію системи УФ-С включають початкові витрати на обладнання та монтаж, витрати на технічне обслуговування (в першу чергу на заміну лампи) та витрати на енергію (прямі витрати на роботу лампи плюс вплив на споживання енергії нагрівання та охолодження). Для даної системи ці витрати досить просто оцінити. Переваги системи УФ-С не так легко визначити кількісно. Розгляд заходів з енергозбереження неминуче призводить до питання економічної ефективності. Тому доцільно обговорювати питання використання енергії у поєднанні з її економічним впливом.

Системи очищення повітря та системи дезінфекції поверхні приміщень мають на меті покращити безпеку, здоров'я та продуктивність мешканців будинків завдяки зменшенню частоти скарг на інфекційні захворювання та хворі будівлі. Незважаючи на те, що існує багато досліджень, що підтверджують твердження про ефективність УФ-С у цих додатках, важко виразити отримані вигоди економічно. Консервативний підхід до економічної оцінки полягає у порівнянні витрат на альтернативні підходи, такі як розбавляюча вентиляція повітрям із інших приміщень та фільтрація твердих частинок, які мають однакову ефективність.

Коли альтернативні системи порівнюються з УФ-С, усі пов'язані з цим витрати повинні бути ретельно оцінені. Підвищена вентиляція додає навантажень нагрівальних і охолоджувальних котушок і може також вплинути на використання енергії вентилятора. Системи фільтрації мають власні витрати на встановлення та обслуговування і можуть значно збільшити перепад тиску, а отже, і споживання енергії вентилятором.

Системи обробки охолоджувальної котушки мають подвійні цілі - підтримувати продуктивність котушки та мінімізувати споживання енергії за рахунок зменшення опору потоку на стороні повітря та збільшення загального коефіцієнта тепловіддачі щодо звичайно підтримуваної, механічно та хімічно очищеної котушки.

Щодо дезінфекції повітря у повітропроводах, можна відзначити наступне. Розташування системи УФ-С вище за ходом охолоджувальної котушки в звичайно теплішій частині змішаного повітря блоку кондиціонування повітря зменшило її необхідний розмір приблизно на 50% у порівнянні із розташування нижче за течією, якщо використовувати типові характеристики ламп у повітропроводах.

3.4 Установка, запуск та введення в експлуатацію

Для забезпечення належної роботи будь-якої системи УФО та УФ-С слід завжди дотримуватися інструкцій з експлуатації та порад розробників систем УФ-С та виробників ламп. Важливо експлуатувати будь-яку таку систему в межах діапазонів температури та відносної вологості, врахованих під час проектування системи. Наведемо загальні рекомендації щодо первинної перевірки та підтримання належної продуктивності системи.

3.4.1 Підстельові системи УФ-С

Відповідальні за процес введення в експлуатацію повинні перевірити розміщення приладів та вимірювання рівня опромінення рівня очей за допомогою селективного радіометра 254 нм. Рівні УФХ можна виміряти за допомогою УФ-радіометра у різних місцях кімнати, і кожен раз його слід визначати у визначених місцях. Вимірювання УФХ слід проводити на рівні очей (від 1,68 м до 1,83 м). Потрібно перевірити відбивні поверхні (наприклад, телевізори, монітори). Програмне забезпечення може бути використано для попереднього перегляду безпеки підстельових систем [57]. Значення на рівні очей не мають перевищувати 6 мкДж/см^2 , в іншому випадку УФ-системи повинні бути деактивовані доти, доки не вдасться зробити коригування або зв'язатися з виробником. Вимірювання слід проводити при початковій установці та кожного разу, коли встановлюються нові УФ-лампи (нові конструкції ламп можуть забезпечувати підвищене опромінення), а також коли проводяться модифікації УФ-пристрою або приміщення (наприклад, регулювання висоти кріплення, переміщення або перестановка жалюзі, додавання матеріалів з іншими характеристиками УФ-поглинання або відбиття, зміна розміру приміщення тощо).

3.4.2 Системи дезінфекції в повітропроводах

Установлення, запуск та введення в експлуатацію повітропровідних систем UVGI є простими. Відповідальні за монтаж повинні забезпечити встановлення

системи згідно із спроектованою схемою, і те, що всі елементи, зокрема, лампи, були затверджені у проекті. Необхідно подбати про те, щоб усі запобіжні блоки та порти огляду були встановлені у відповідних положеннях та функціонували. На жаль, хороших методів тестування продуктивності повітропровідної системи на місці не існує, тому треба покладатися на кінцеві конструктивні параметри для визначення остаточної продуктивності системи.

3.5 Рекомендації щодо урахування правил безпеки при проектуванні

Підстельові системи повинні мати вимикачі та електричний пристрій відключення на жалюзі. Якщо вимірювання ультрафіолетового випромінювання під час початкової установки перевищує рекомендовану межу впливу, усі високоотражаючі УФ матеріали слід видалити, замінити або покрити. Ультрафіолетові поглинаючі фарби, що містять оксид титану, можна використовувати на стелях і стінах для мінімізації відбивної здатності в займаному просторі.

На всіх ультрафіолетових приладах у повітрі повинні бути розміщені попереджувальні наклейки, щоб попередити персонал про потенційну небезпеку для очей та шкіри.

Системи дезінфекції у повітропроводах можуть сильно відрізнятися за коефіцієнтами корисної дії ламп, що оцінює ефективність випромінюваного УФХ із УФ лампи. Було розроблено протокол і проведено радіометричні вимірювання для приладів УФО, який зараз використовується для тестування загальної потужності приладу UVC [58, 59].

Системи повітропроводів повинні бути повністю закриті та герметичні, щоб запобігти витоку УФ-випромінювання на незахищених осіб або матеріали поза обладнанням ОВКП. Стандарт UL 1995, який введений у листопаді 2019 р., вимагає, щоб витік УФ-С не перевищував $0,1 \text{ мкВт/см}^2$, а пункти доступу до джерел УФ повинні бути оснащені блокувальним механізмом, що вимикає енергію джерела УФ. Усі панелі доступу, куди УФ-випромінювання може

проникати або відбиватися, повинні бути заблоковані та мати попереджувальні ярлики на відповідних мовах. Етикетки слід розміщувати на зовнішній стороні кожної панелі або дверей у видному місці, видному людям, що мають доступ до системи.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

4.1 Побудова мережевого графіка на підставі проведених робіт

4.1.1 Визначення трудомісткості і тривалості робіт

Планування розробки системи дезінфекції повітря здійснюється за допомогою методу мережевого планування і управління (МПУ), істотно знижує терміни розробки. В результаті цього етапу, визначаються тривалість і трудомісткість робіт з проектування системи [22].

Система МПУ включає:

- складання переліку етапів і визначення тривалості виконання робіт;
- побудова мережевого графіка;
- розрахунок основних параметрів мережного графіка.

Весь комплекс розробки проекту підрозділяється на етапи. По кожному з етапів розраховується трудомісткість, виконавці і тривалість робіт. Оскільки в процесі розрахунку трудомісткості робіт є елемент невизначеності, розрахунок ведеться за допомогою імовірнісної оцінки згідно з формулою:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

де $t_{ож}$ - очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи;

t_{min} - мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} - максимальні витрати часу на виконання роботи при несприятливих умовах.

Правильність визначення $t_{ож}$ перевіряється розрахунком дисперсії - розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу. Дисперсія являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \right)^2. \quad (4.2)$$

Якщо $\sigma^2(t) \leq 1$, то ступінь невизначеності оцінки часу робіт з даного етапу мала.

Розраховані відповідно до (4.1) - (4.2) характеристики робіт наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Тривалість етапів робіт

№	Найменування роботи	Тривалість			Дисперсія	Виконавці		Тривалість, днів
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$		Спеціальність	Кількість, чол.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Аналіз вимог до пристрою, що проектується	1	2	1,5	0,04	Інженер-конструктор, інженер-радіотехнік	2	1
2	Розробка і затвердження ТЗ	1	2	1,5	0,04	Інженер-конструктор, інженер-радіотехнік	2	1
3	Проектування загальної структури пристрою	1	3	2	0,16	Інженер-радіотехнік, інженер-конструктор	2	2
4	Розробка електричної принципової та структурної схем пристрою	2	5	3	0,36	Інженер-радіотехнік	1	3
5	Вибір деталей і матеріалів	1	2	1,5	0,04	Інженер-конструктор	1	1
6	Підготовка та перевірка схеми електричної принципової	1	3	2	0,16	Інженер-конструктор	1	1
7	Трасування та перевірка друкованої плати	7	11	9	0,64	Інженер-конструктор	1	8
8	Проведення розрахунків	1	2	1,5	0,04	Інженер-радіотехнік, інженер-конструктор	2	1
9	Розробка конструкції пристрою	2	4	3	0,16	Інженер-конструктор	1	2
10	Підготовка конструкторської документації	1	4	2	0,36	Інженер-конструктор	1	2

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Нормоконтроль	1	2	1,5	0,04	Конструктор-нормоконтролер	1	1
12	Усунення зауважень	1	2	1,5	0,04	Інженер-конструктор	1	1
13	Нормоконтроль	1	2	1,5	0,04	Конструктор-нормоконтролер	1	1
14	Виробництво пристрою	2	4	3	0,16	Робітники основного виробництва	3	2
15	Регулювання та тестування пристрою	1	2	1,5	0,04	Інженер-радіотехнік-регулювальник	1	1
16	Дослідна експлуатація	2	5	3	0,36	Інженер-радіотехнік-регулювальник	1	3
17	Впровадження у виробництво	1	3	2	0,16	Інженер-радіотехнік	1	1
	Всього	27	8	1	–	–	23	32

4.1.2 Побудова мережевого графіка

Мережевий графік являє собою інформаційно динамічну модель, в якій зображуються взаємозв'язку і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети розробки.

Використовуючи табл. 4.1, склали перелік робіт і подій (табл. 4.2), побудували мережевий графік реалізації проекту і розрахували його основні параметри.

Після складання мережного графіка визначаємо його параметри. Результати розрахунків наведені в табл. 4.3, 4.4.

У таблицях використані позначення:

i – номер події, яке передує роботі;

j – номер події, яке завершує роботу;

t_{ij} – тривалість виконання роботи;

t_i^p – ранній термін звершення події i ;

t_i^n – пізній термін звершення події i ;

t_j^p – ранній термін звершення події j ;

t_j^n – пізній термін звершення події j ;

$R_{ij}^{\text{полн}}$ – повний резерв часу роботи;

$R_{ij}^{\text{св}}$ – вільний резерв часу роботи;

K_{HLi} – коефіцієнт напруженості шляху.

Коефіцієнт напруженості шляху визначається за формулою:

$$K_{HLi} = \frac{L_i - L_i^{кр}}{L_{кр} - L_i^{кр}},$$

где L_i – довжина розрахованого шляху;

$L_{кр}$ – довжина критичного шляху;

$L_i^{кр}$ – д тривалість робіт, які є спільними з критичним шляхом.

Таблиця 4.2 – Перелік робіт мережевого графіку

№	Код роботи	Тривалість роботи	Тривалість роботи, днів
1	0 – 1	Аналіз вимог до проектного пристрою	1
2	1 – 2	Розробка та затвердження ТЗ	1
3	2 – 3	Проектування загальної структури пристрою	2
4	2 – 4	Розробка електричної принципової і структурної схем пристрою	3
5	3 – 5	Вибір деталей і матеріалів	1
6	4 – 5	Підготовка та перевірка схеми електричної принципової	1
7	5 – 6	Трасування і перевірка друкованої плати	8
8	6 – 7	проведення розрахунків	1
9	7 – 8	Розробка конструкції пристрою	2
10	8 – 9	Підготовка конструкторської документації	2
11	9 – 10	Нормаконтроль	1
12	10 – 11	Усунення зауважень	1
13	11 – 12	Нормаконтроль	1
14	12 – 13	виготовлення пристрою	2
15	13 – 14	Регулювання і тестування пристрою	1
16	14 – 15	дослідницька експлуатація	3
17	15 – 16	Впровадження у виробництво	1
		Разом	32

Таблиця 4.3 – Параметри шляхів

№ шляху	Номер дій, через які проходить шлях	Тривалість робіт, через які проходять шляхи	Довжина шляху	Резерв часу	K_{HLi}
1	0-1-2-3-5-6-7-8-9-10- 11-12-13-14-15-16	1-1-2-1-8-1-2-2-1-1-2- 2-1-3-1	29	1	0,75
2	0-1-2-4-5-6-7-8-9-10- 11-12-13-14-15-16	1-1-3-1-8-1-2-2-1-1-2- 2-1-3-1	30 (критич.)	0	1

Таблиця 4.4 – Параметри робіт

Код роботи i-j	t_{ij}	t_i^p	t_i^n	t_j^p	t_j^n	$R_{ij}^{полн}$	$R_{ij}^{св}$
0 – 1	1	0	1	1	0	0	0
1 – 2	1	1	2	2	1	0	0
2 – 3	2	2	5	4	3	1	0
2 – 4	3	2	5	5	2	0	0
3 – 5	1	4	6	5	5	1	1
4 – 5	1	5	6	6	5	0	0
5 – 6	8	6	14	14	6	0	0
6 – 7	1	14	15	15	14	0	0
7 – 8	2	15	17	17	15	0	0
8 – 9	2	17	19	19	17	0	0
9 – 10	1	19	20	20	19	0	0
10 – 11	1	20	21	21	20	0	0
11 – 12	1	21	23	22	22	1	0
12 – 13	2	23	25	25	23	0	0
13 – 14	1	25	26	26	25	0	0
14 – 15	3	26	29	29	26	0	0
15 – 16	1	29	30	30	29	0	0

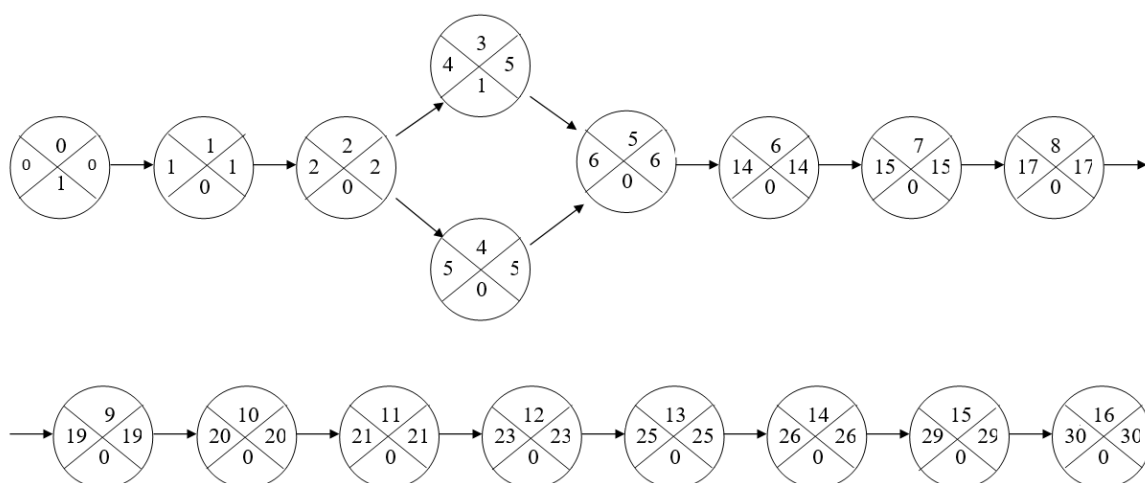


Рисунок 4.1 – Мережевий графік

Коефіцієнт напруженості першого шляху дорівнює:

$$K_{HL1} = \frac{29 - 26}{30 - 26} = 0,75$$

4.2 Розрахунок кошторису витрат на реалізацію проекту

До складу витрат на реалізацію проекту враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для проведення комплексу робіт.

З метою визначення витрат на реалізацію проекту слід скласти кошторис витрат (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Кошторис витрат на реалізацію проекту

Статті витрат	Умовне позначення	Сума	
		Грн	частка, %
Матеріали, покупні вироби і напівфабрикати	С _м	313,30	0,87
Спеціальне обладнання для реалізації проекту	СО	247,96	0,69
Амортизація	А	7 163,10	19,86
Основна і додаткова заробітна плата виробничого персоналу	ЗП	15647,5	43,39
Відрахування на соціальне страхування (від суми основної і додаткової заробітної плати)	ОТЧ	3442,45	9,54
Загальновиробничі витрати	НЗ	9246,25	25,65
Всього витрат на реалізацію проекту	—	36060,56	100

4.2.1 Розрахунок вартості матеріалів

У цю статтю входять витрати з придбання основних матеріалів для проектування пристрою, а також для виготовлення дослідних зразків. Вартість основних і допоміжних матеріалів, покупних напівфабрикатів і комплектуючих виробів, які знадобилися для проектування пристрою, представлена в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Марка, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Од. вимірювання	Витрати матеріалу	Ціна за натур. од., грн	Сума витрат, грн
Склотекстоліт	СФ	м ²	0,053	84 грн/м ²	4,45
Фоторезист	ФН-11 Сн	Кг	0,011	872 грн/кг	9,59
Лак	АК-113	Л	0,04	22 грн/л	0,88
Припій	ПОС-61	Кг	0,058	190 грн/кг	11,02
Конденсатори	1206 NPO	шт.	20	0,55	11,0
Кварцовий резонатор 27МГц	Сг КХ-20	шт.	1	11,2грн.	11,2
Гніздо на плату пластмасове	NS39-W2P	шт.	4	0,878грн.	3,512
PNP біполярний транзистор	BC847	шт.	1	0,645грн.	0,645
NPN біполярний транзистор	BC857	шт.	1	0.5	0.5
Мікроконтролер	ATmega8	шт.	1	31.25	31.25
Мікросхема	LM3248	шт.	1	3,13	3,13
Мікросхема	MAX232	шт.	1	7.5	7.5
Мікросхема	FT232RL	шт.	1	87.5	87.5
Ультразвуковий датчик	NU40A14T/R-1	шт.	1	113.8	113.8
Разом	-	-	-	-	297,977
Транспортно-підготовчі витрати (5%)	—	—	—	—	15,32
Разом з урахуванням транспортно-підготовчих витрат	—	—	—	—	313,297

4.2.2 Спеціальне обладнання для реалізації проекту

У цій статті враховуються витрати на оренду, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних і регулювальних пристроїв, приладів, випробувальної апаратури тощо (табл. 4.7). Вартість оренди прийнята 5% від вартості обладнання.

Таблиця 4.7 – Витрати на спеціальне обладнання

Обладнання	Марка, СТП, ДСТУ, ТУ	К-ть	Ціна за одиницю, грн	Собівартість експлуатації, грн
Свердильний верстат JET JDP-10L	—	1	2099	104,95
Паяльна станція SM-936D	—	2	353	35,3
Термоклейовий пістолет Steinel Gluematic 3002	—	1	300	15
Термоповітряний інструмент EXPERT Tools HG2090	—	1	340	17
Акумуляторна дріль Makita BDF343SHE	—	1	2400	120
Мегаомметр Ф4102/2-1м	—	1	977	48,85
Разом	—	—	6 822	236,15
Транспортно-підготовчі роботи (5%)	—	—	341,1	11,81
Всього	—	7	7 163,10	247,96

Амортизаційні відрахування визначають за формулою:

$$A = \Phi_{\phi} \cdot \frac{H_a}{100},$$

де Φ_{ϕ} - балансова вартість обчислювальної техніки, грн;

H_a - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки.

Матеріальні цінності, строк корисного використання яких – більше року, але вартість менша чи дорівнює 20000 грн, визнаються малоцінними необоротними матеріальними активами. Нарахування амортизації здійснюється за принципом 50/50 (при надходженні - 50% і 50% - при списанні) або ж 100% при надходженні. Обираємо другий варіант.

Балансова вартість обчислювальної техніки становить 7 163,10 грн.

Отримуємо:

$$A = 7\,163,10 \cdot 1 = 7\,163,10 \text{ грн.}$$

4.2.3 Розрахунок заробітної плати

Витрати на основну заробітну плату складаються з планового фонду заробітної плати всіх категорій працівників, зайнятих в розробці проектного пристрою.

Розрахунок заробітної плати ведеться на основі відомостей про трудомісткості (табл. 4.8).

Результати розрахунків зведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 - Розрахунок основної заробітної плати

Спеціальність виконавця	Кількість, чол.	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Сумарна зарплата, грн
Інженер-радіотехнік	1	6000	0,5	3000
Інженер-конструктор	1	8000	1	8000
Конструктор-нормоконтролер	1	8000	0,15	1200
Робітники основного персоналу	3	5500	0,15	825
Інженер-радіотехнік-регулювальник	1	6000	0,2	1200
Всього	—	—	—	14225

Додаткову заробітну плату приймаємо рівною 10% від основної заробітної плати. Розрахунок основної і додаткової заробітної плати наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Основна і додаткова заробітна плата

Спеціальність виконавця	Додаткова заробітна плата, грн	Сума основної і додаткової заробітної плати, грн
Інженер-радіотехнік	300	3300
Інженер-конструктор	800	8800
Конструктор-нормоконтролер	120	1320
Робітники основного персоналу	82,5	907,5
Інженер-радіотехнік-регулювальник	120	1320
Всього	1422,5	15647,5

4.2.4 Єдиний соціальний внесок

Відрахування на соціальне страхування і в інші фонди визначаються в розмірі 22% від суми основної та додаткової доходів громадян.

Таким чином, відрахування на соціальне страхування становить:

$$ОТЧ=(ЗП_{осн}+ЗП_{доп})\cdot 0,22,$$

де $ЗП_{осн}$ – основна заробітна плата, грн.;

$ЗП_{доп}$ – додаткова заробітна плата, грн.

$$ОТЧ=(14225+1422,5)\cdot 0,22=3442,45 \text{ грн.}$$

4.2.5 Загальновиробничі витрати

До загальновиробничих витрат відносяться витрати пов'язані з управлінням, а також загальногосподарськими потребами, утриманням та експлуатацією устаткування і приміщень. Загальновиробничі витрати по реалізації проекту визначаються у відсотках від основної заробітної плати розробників. В даному

випадку загальноновиробничі витрати становлять 65% від основної заробітної плати розробників:

$$ЗВ=14225 \cdot 0,65=9246,25 \text{ грн}$$

4.2.6 Бальна оцінка економічної ефективності науково-дослідницької роботи

Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності по яких неможливий, оцінюють за допомогою бальної системи.

Бальна оцінка проводиться за такими показниками:

- важливість розробки $K_1 = 3$;
- можливість використання результатів розробки $K_2 = 3$;
- теоретична значущість і рівень новизни дослідження $K_3 = 2$;
- складність розробки $K_4 = 2$.

Питомий ефект на кожний бал – 2000 грн.

Загальний ефект (Е) від розробки складає:

$$E=2000 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

$$E=2000 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2=72000 \text{ грн}$$

Економічна ефективність науково-дослідної роботи визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, який характеризує частину загального ефекту від розробки, який припадає на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$K_e=72000 / 36060,56=1,99$$

Термін $T_{ок}$ проекту розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{K_e}$$

$$T_{ок}=1/1,99=0,5$$

4.3 Висновки

Після проведення економічних розрахунків стало очевидно, що виготовляти і висувати на ринок розроблену систему дезінфекції економічно вигідно. Вона є конкурентоспроможною і затребуваною як за показниками ціни, так і за своїми характеристиками.

Розроблена система буде користуватися попитом на ринку, так як за ціною вона дешевше інших систем подібного типу. Є певна цільова аудиторія підприємств і окремих установ, для яких розроблена система є вельми затребуваною.

Під час проведення економічних розрахунків були розраховані витрати на реалізацію проекту. Розрахунок витрат і економічної ефективності показав, що розроблений проект окупиться через 0,5 року.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

У ході виконання дипломного проекту розробляється автоматизована система знезараження повітря, що зумовлює наявність робочого місця з персональним комп'ютером ПК та додатковим електронним обладнанням у приміщенні обчислювального центру (ОЦ).

На основі загальних вимог з техніки безпеки при роботі з електронним обладнанням, а також специфічних вимог, встановлених міжнародними, внутрішніми стандартами, ДСН, ДБН та іншими нормативними документами, для даної області робіт розроблено комплекс заходів, призначений для забезпечення безпечної, комфортної роботи та експлуатації проектного автоматизованого робочого місця.

На операторів ЕОМ, програмістів та інших робітників, що пов'язані з обладнанням ОЦ, у процесі роботи, за кваліфікацією Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [60], впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники як:

- ураження електричним струмом у результаті порушення правил електробезпеки, несправності електрообладнання, відсутності захисного заземлення;
- вплив електромагнітних полів від монітору комп'ютера, що призводить до підвищеного стомлення, зниження працездатності та профзахворювання;
- розумове та емоційне перевантаження внаслідок недотримання змін режимів праці та відпочинку, що визиває зниження працездатності та стомлення;
- недостатнє освітлення робочої зони при недотриманні ДБН В.2.5-28:2018. Природне та штучне освітлення [61], що визиває погіршення зору, підвищує кількість помилок;

- невідповідність значень параметрів мікроклімату, що знижує працездатність, погіршує самопочуття, може призвести до профзахворювань;
- можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, короткого замикання електропроводки тощо;
- непоінформованість персоналу у відповідній послідовності дій в умовах надзвичайної ситуації, що призводить до травмування та до інших непередбачених негативних наслідків.

Ці проблеми можуть вирішуватися комплексно як з позицій ергономічних вимог до умов праці (покращення робочих місць, засобів управління тощо), так і з позицій суворого підтримання регламенту режимів праці і відпочинку, цілеспрямованою профорієнтацією тощо.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

При роботі у ОЦ головним небезпечним чинником є вплив на персонал електричного струму.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, відповідно до ПУЕ «Правила улаштування електроустановок» [62], приміщення ОЦ відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Заходи по забезпеченню електробезпеки розроблено у відповідності до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [63].

За способом захисту людини від ураження електричним струмом – відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ відповідають першому класу захисту та заземлені відповідно до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [63].

Для забезпечення електробезпеки у ОЦ використано наступні технічні заходи та засоби електробезпеки:

- недоступність струмопровідних частин;
- захисне відключення;

- ізоляція струмопровідних частин;
- захисне заземлення;
- блокування, занулення за ПУЕ [62];
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів тощо.

У ОЦ передбачено використання тільки трьохполюсних розеток, один з полюсів яких підключено до шини захисного заземлення. З цим полюсом електрично з'єднані металеві частини обчислювальних машин, які можуть опинитися під напругою.

Кожний блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має сітьовий фільтр. Конденсатори цього фільтру призначені для шунтування високочастотних поміх живильної мережі на землю через дріт «земля» трьохполюсної вилки та розетки. Цей дріт може бути з'єднаний з заземлюючим контуром і з «нулем» силової мережі. При відсутності гальванічного зв'язку заземлюючого дроту з шиною захисного заземлення, на корпусі електронного пристрою може з'явитися напруга порядку 110 В, внаслідок поділення напруги мережі 220 В конденсаторами мережевого фільтру, що працює у даному випадку як ємнісний роздільник напруги [64].

При з'єднанні двох електронних засобів (наприклад, комп'ютера та принтера) інтерфейсним кабелем, загальний дріт інтерфейсів послідовних та паралельних портів зв'язаний зі «схемною землею» і корпусом електронного засобу. Тому, для усунення проблеми різності потенціалів, електронні засоби надійно заземлені через окремий дріт на загальний контур.

При підключенні електронних засобів до мережі живлення, виключено застосування сітьових дротів з двохполюсною вилкою для підключення до трьохполюсної розетки. В іншому випадку може виникнути різність потенціалів, що призведе до виходу електронної апаратури зі строю.

Відповідно до ПУЕ опір захисного заземлення у приміщенні ОЦ не перевищує 4 Ом [62].

Електрична ізоляція забезпечується конструкціями пристроїв і способами їхнього підключення. Відповідно до ПУЕ в електроустановках до 1000 В мінімальне значення опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проведенням і землею становить не менш 0,5 МОм.

Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. Причому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, особливо якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

В якості заходів захисту запропоновано:

- кілька разів на протязі робочого дня мити руки і обличчя водою, а після закінчення роботи вимити руки й обличчя з милом;
- щоденно протирати екран монітора, клавіатуру, пристрій «миша» та, якщо є, приєднаний фільтр антистатичною серветкою;
- щоденно в приміщенні з ПК проводити вологе прибирання;
- установити нейтралізатори статичної електрики;
- підтримувати у приміщенні вологість повітря зазначену в нормативних документах;
- користувачу ПК бажано носити одяг з природних (льняних) волокон, в т.ч. і шкарпетки.

З метою визначення стану електрообладнання та виявлення дефектів проводяться профілактичні випробування відносно до ПУЕ та будівельних норм і правил.

Профілактичні випробування включають: контроль ізоляції, контроль з'єднання дротів, вимірювання опору заземлюючих пристроїв, перевірку спрацювання лінії захисту і запобіжних пристроїв [64].

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Виходячи з специфіки роботи у обчислювальних центрах можна відмітити, що усі види робіт в них не пов'язані з великими енергозатратами робітників, а також виділенням шкідливих речовин у процесі роботи. Таким чином можна вважати, що за ступенем тяжкості роботи у ОЦ відносяться до категорії «легка робота».

Так як робота з обчислювальною технікою є малорухомою і створює велике навантаження на очі та кисті рук, операторам для підтримки працездатності необхідно керуватися НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [65]. При роботі за дисплеєм у режимі праці і відпочинку передбачаються через кожні 40-45 хвилин 3-5 хвилинні перерви на відпочинок та гімнастичні вправи.

Виробниче середовище в приміщеннях ОЦ сполучають в собі раціональні архітектурно-планувальні рішення, найбільш оптимальні санітарно-гігієнічні умови, науково обґрунтоване кольорове фарбування.

У приміщенні на робочих місцях з комп'ютерною технікою нормалізація параметрів повітряного середовища забезпечується згідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [66], що наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Норми мікроклімату для приміщень з комп'ютерною технікою

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С, не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка -1а	22-24	40-60	0,1
	легка -1б	21-23	40-60	0.1
Тепла	легка -1а	23-25	40-60	0.1
	легка -1б	22-24	40-60	0.2

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщення ОЦ відповідають санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» [64], що наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Рівні іонізації повітря приміщень з комп'ютерною технікою

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях підтримується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні забезпечений приплив свіжого повітря, кількість якого визначається техніко-економічним розрахунком і вибором схеми системи вентиляції. Мінімальна витрата повітря визначається з розрахунку 50...60 м³/год на одну людину, але не менш дворазового повітрообміну за годину.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату встановлені побутові кондиціонери типу MITSUBISHI ELECTRONIC MSZ-GE35VA з холодопродуктивністю 4300 ккал/год. При невеликому забрудненні зовнішнього повітря кондиціонування приміщень здійснюється із перемінними витратами зовнішнього повітря й рециркуляційного.

Всі норми по освітленості визначені згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [61].

Природне освітлення здійснюється через віконні прорізи, при цьому коефіцієнт природної освітленості КПО не нижче 1,5% за нормами ДБН В. 2.5-28:2018. Робочі місця у приміщенні розташовані подалі від вікон

таким чином, щоб сонячне світло не потрапляло на екран монітору. Вікна оснащені сонцезахисною плівкою з металізованим покриттям.

У тих випадках, коли одного природного освітлення недостатньо, використовується штучне освітлення. Штучне освітлення в приміщеннях здійснюється системою загального рівномірного освітлення. При цьому штучне освітлення застосовують не тільки в темний, але й у світлий час доби.

Найбільш прийнятними для приміщень ОЦ є люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) потужністю 20, 40 або 80 Вт, які встановлюються в світильники типу ЛПО.

При застосуванні люмінесцентних ламп дотримуються наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче за 5 С;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше ніж 90% від номінальної.

Допускається застосування ламп розжарення у світильниках місцевого освітлення. Загальне освітлення варто виконувати у виді суцільних чи переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць.

Розрахуємо систему загального рівномірного штучного освітлення в приміщенні [67].

Приймаємо розміри приміщення довжина $A = 16$ м, ширина $B = 10$ м, висота $H = 4,6$ м.

Висота робочої поверхні складає $h = 0,7$ м.

Розряд зорової роботи – III б, контраст об'єкта з фоном – малий.

Згідно з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» рівень нормованого загального освітлення в приміщенні нормуються як $E_n = 200$ Лк.

Коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення: колір стелі, стін - сірий, незначне пиловиділення, $\rho_c=50\%$; $\rho_{ст}=30\%$; $\rho_{п}=10\%$,

Обираємо світильник типу ЛПП, призначений для приміщень висотою до 6 м. $IP=65$ – ступінь захисту світильника, $[L/h] = 1,3$ – числове значення коефіцієнта

світильника. Світильники такого типу пилонепронекнені, захищені від струменів води.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Приймаємо $k_z = 1,5$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює $z = 1,1$.

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L/h]} = \frac{10}{(4,6 - 0,7) * 1,3} = 1,83 \approx 2$$

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p},$$

де B – ширина приміщення, N_p – кількість рядів

$$L_{\max} = \frac{10}{2} = 5 \text{ м}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}$$

$$h = \frac{5}{1,4} = 3,57 \text{ м}$$

Знайдемо висоту звисання світильника від стелі

$$h_3 = H - h_p - h$$

де H – висота приміщення, h_p – висота робочої поверхні, h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

$$h_3 = 4,6 - 0,7 - 3,57 = 0,33 \text{ м}$$

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}$$

де A – довжина приміщення, $м$;

B – ширина приміщення, $м$;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, $м$

$$i = \frac{16 \cdot 10}{3,57 \cdot (16 + 10)} = 1,72$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$) та індексу приміщення. В нашому випадку $\eta = 54\%$.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta},$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, $лм$;

E_n – нормоване значення освітленості, $лк$;

S – площа освітлюваної поверхні, $м^2$;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,54} = 97778 \text{ лм}$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = AB/L_{\max}^2$$

$$N^* = \frac{16 \cdot 10}{5 \cdot 5} = 6,4 \approx 8 \text{ шт.}$$

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}}, \text{ лм}$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, *лм*;

$N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, *шт*;

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n$$

n – кількість ламп у світильнику (в ЛВП світильнику знаходиться 2 лампи)

$$N_{\text{л}} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ шт.}$$

Тоді,
$$\Phi_{\text{л}} = \frac{97778}{16} = 6111 \text{ лм}$$

Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і знайти коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи $\Phi_{\text{л}}^*$ та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи $\Phi_{\text{л}}$):

Обираємо лампу ЛХБ із $P_{\text{л}}=80$ Вт, $\Phi_{\text{л}} = 4800$ лм.

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}}$$

$$m = \frac{6111}{4800} = 1,27$$

Визначаємо оптимальну (фактичну) кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \cdot m$$

$$N = 8 \cdot 1,27 = 10,18 \approx 10 \text{ шт.}$$

Фактична кількість ламп у приміщенні:

$$N_{\text{фл}} = N_{\text{ф}} \cdot n$$

$$N_{\text{фл}} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ шт.}$$

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} N_{\text{фл}} \eta}{S k_z z}, \text{ лк}$$

$$E_p = \frac{4800 \cdot 20 \cdot 0,54}{16 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 196 \text{ лк}$$

Тобто виконується умова $E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_n$, лк

Для захисту від впливу шуму використано організаційні та технічні заходи за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [68].

Зниження рівня шуму в приміщенні можна здійснити наступним чином:

- використанням блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;
- використанням ПК, в яких термодавачі (термодатчики) вмонтовані в блоці живлення та в критичних точках материнської плати (процесор, мікросхеми чіпсету), які дозволяють програмним шляхом регулювати як моменти ввімкнення вентиляторів, так і їх швидкість обертання;
- переведення жорсткого диска в режим сплячки (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використанням ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлено виробником (BOX-процесор);
- застосовуванням приводів з одночасним зчитуванням декількох доріжок CD чи програми, що дозволяє зменшити швидкість;
- заміною матричних голчатих принтерів струменевими і лазерними принтерами, які забезпечують при роботі значно менший рівень звукового тиску;
- застосуванням принтерів колективного користування, розташованих на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК;
- зменшенням шуму на шляху його поширення через розміщення звукоізолюючого відгородження у вигляді стін, перетинок, кабін;
- акустичною обробкою приміщень - зменшення енергії відбитих звукових хвиль шляхом збільшення площі звукопоглинання (розміщення на поверхнях приміщення облицювань, що поглинають звук, розташування в приміщеннях штучних поглиначів звуку).

Рівні електромагнітного випромінювання та магнітних полів відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [69].

Джерелами електромагнітних випромінювань (ЕМВ) є:

- блоки живлення від мережі (частота - 50 Гц);
- система кадрової розгортки (5 Гц - 2 кГц);
- система рядкової розгортки (2-400 кГц);
- блок модуляції променя ЕПТ (5-10 МГц).

Для зниження негативного впливу електромагнітного випромінювання згідно здійснено:

- використання на робочому місці відеотерміналів, що відповідають сучасним вимогам захисту від випромінювань;
- встановлення на відеотерміналах старої конструкції (випуск до 1995 р.) заземленого приєкранного фільтру;
- не переобтяжувати приміщення значною кількістю робочих місць з відеотерміналами;
- зменшення інтенсивності опромінення безпосередньо від самого джерела за рахунок регулювання, настройки та випробування передавачів РЛС і генераторів НВЧ, а також за допомогою поглинаючих покриттів (як правило фольгою);
- повне або часткове екранування генераторів НВЧ-енергії відносно повністю або частково замкнутими екранами;
- захист працюючих віддаленням робочого місця від джерела опромінення;
- застосування засобів індивідуального захисту тощо [70].

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Великою небезпекою для обчислювального центру є пожежа. Обчислювальний центр наповнений різноманітними електричними приладами, а пожежа основний фактор для їх знищення, що може призвести до великих матеріальних втрат. Так як в приміщенні обчислювального центру присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі: горючі речовини, окислення і джерела запалювання, то налагодження заходів пожежної безпеки в такому приміщенні є першочергово важливим.

Ймовірними причинами виникнення пожежі можуть бути несправність електрообладнання (кабелів, розеток), короткі замикання внаслідок виходу з ладу чи експлуатації несправного електроустаткування (ПЕОМ, периферійних пристроїв), порушення правил протипожежної безпеки тощо.

Для забезпечення пожежної безпеки проводиться пожежна профілактика, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Експлуатація ліній електромережі практично повністю унеможливорює виникнення електричного джерела загоряння в наслідок короткого замикання та перевантаження проводів. Застосовуються дроти з важкогорючою і негорючою ізоляцією.

Для відводу теплоти від ПК у обчислювальному центрі постійно діє потужна система кондиціонування. Тому кисень, як окислювач процесів горіння, є в будь-якій точці обчислювального центру.

Обчислювальний центр відноситься до категорії «П-Па» згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [71], згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [72], а клас можливої пожежі визначається, як «А».

Для ліквідації пожежі у початковій стадії її розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Так як приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 160 м^2 , тому відповідно до вимог п. 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» [70] для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 8 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3,5 кг. і більше, на 20 м^2 площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 15 м.

Під час прийняття на роботу і в процесі праці усі працівники обчислювального центру повинні проходити протипожежний інструктаж, перевірку знань з питань пожежної безпеки. Евакуаційні виходи і проходи утримуються постійно вільними та легкодоступними.

Відповідальний за протипожежний стан приміщень обчислювального центру повинен періодично (не рідше одного разу на місяць) перевіряти працездатність пристрою, який забезпечує автоматичне вимкнення системи вентиляції у разі пожежі, а також вогнедимозатримувальних пристроїв. Під час ремонту слід не допускати руйнування або порушення цілісності негорючих діафрагм у фальш-підлоговому просторі [72].

5.4.2 Заходи з цивільного захисту

Порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

Проведення рятувальних та інших невідкладних робіт полягає у виконанні заходів, передбачених чинним законодавством з питань ліквідації наслідків стихійного лиха, аварій і катастроф, епідемій і епізоотій, що створюють загрозу

життю і здоров'ю населення. Для проведення рятувальних та інших аварійно-невідкладних робіт під час ліквідації наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, епідемій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення створюються формування цивільної оборони. До проведення таких робіт залучаються: невоєнізовані формування ЦО, медичні організації та військові частини і підрозділи.

Для проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт необхідно:

- завчасно спланувати дії формувань цивільної оборони як при загрозі нападу так і під час проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт;
- перевірити та уточнити плани цивільної оборони на навчаннях, що проводяться на об'єктах;
- організувати з робітників та службовців, студентів формування цивільної оборони та підготувати їх для роботи в осередках ураження;
- оснастити формування цивільної оборони індивідуальними засобами захисту, приладами, майном, технікою;
- вивести в найкоротші строки формування цивільної оборони, створені в містах, в заміську зону, розмістити їх в завчасно намічених районах й привести в готовність до проведення рятувальних робіт;
- організувати управління та керівництво формуваннями цивільної оборони при проведенні рятувальних робіт

До заходів, що необхідні під час проведення рятувальних робіт відносять: розвідка маршрутів для формувань ЦО, локалізацію та гасіння пожеж, пошук і рятування людей з-під завалів та зруйнованих захисних споруд, надання першої медичної допомоги та евакуацію потерпілих, санобробку людей та знезараження їх одягу, знезараження місцевості, споруд, техніки. Під невідкладними роботами в осередках ураження розуміють:

- локалізація аварій;
- ліквідація або укріплення аварійних споруд;
- прокладання шляхів на заражених територіях і проїздів у завалах;
- знешкодження боєприпасів, вогне- та вибухонебезпечних предметів;

- відновлення та ремонт пошкоджених захисних споруд

Рятувальні роботи в закладі (установі) поділяють на два етапи:

- перший етап триває з моменту отримання сигналу про небезпеку до прибуття спеціалізованих формувань цивільної оборони;

- другий етап - від прибуття формувань цивільної оборони до виконання ними поставлених завдань (вивезення (виведення) членів колективу в безпечну зону, евакуацію поранених у лікувальні заклади).

До складу невоєнізованих формувань входять такі групи: зв'язку, із забезпечення громадського порядку, протипожежної служби, медичної допомоги, протирадіаційного та протихімічного захисту

Група зв'язку складається з керівника групи та помічників (черговий біля телефону та посильні). Завдання групи - оповіщення членів колективу про загрозу виникнення надзвичайної ситуації, передача сигналу структурам цивільної оборони міста (району), підтримка засобів зв'язку у стані постійної готовності, забезпечення штабу цивільної оборони навчального закладу засобами зв'язку.

Група із забезпечення громадського порядку, керівник - працівник установи, який відповідає за її охорону. Завдання групи: забезпечити охорону закладу, підтримати порядок у випадках надзвичайних ситуацій, надання допомоги керівництву під час евакуації

Група протипожежної служби: бере участь у розробці протипожежних профілактичних засобів, здійснює контроль за їх виконанням, забезпечує постійну готовність до використання засобів пожежогасіння, локалізує та гасить пожежу, надає допомогу у проведенні спеціальної обробки території.

Група медичної допомоги: організовується на базі медичного пункту закладу чи установи. Завдання групи: організовує і проводить санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи, надає медичну допомогу ураженим, допомагає їх евакуації до лікарень, проводить часткову санітарну обробку уражених

Група протирадіаційного та протихімічного захисту, організовує видачу засобів індивідуального захисту, здійснює контроль за радіаційною та хімічною

ситуацією у закладі та на прилеглій території, за станом сховищ та укриттів, бере участь у заходах з ліквідації наслідків радіаційного та хімічного зараження.

При ліквідації наслідків НС виникає необхідність в організації рухомих пунктів харчування, речового і продовольчого забезпечення

Підрозділи громадського харчування (пересувні пункти харчування ЦО) призначені для забезпечення гарячим харчуванням особового складу формувань в районах розміщення та при проведенні рятувальних і невідкладних аварійних робіт, а також потерпілого населення в загонах першої допомоги [73].

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було вирішено актуальну задачу – спроектовано систему дезінфекції повітря. Вибір теми дослідження пов'язаний із сучасною епідеміологічною обстановкою у світі.

Було проведено аналіз традиційних та сучасних систем автоматизованої дезінфекції повітря, розглянуто принципи їх функціонування, проведено аналіз використовуваних систем щодо ефективності за безпечності використання. У якості методу дезінфекції було обрано опромінення ультрафіолетовим світлом С-діапазону.

Було розглянуто існуючі види систем, що застосовують цей метод, та спроектовано власну систему, що відрізняється комбінацією двох підходів: застосування підстельової системи опромінення та повітропроводів. Такий вибір відрізняється підвищеною ефективністю, оскільки поєднує проведення знезараження повітря як у приміщенні, так і всередині повітропроводів.

Було визначено структуру системи та обрано елементи, що входять до її складу.

Наведено докладні рекомендації щодо налаштування системи, запуску та введення в експлуатацію, а також очищення системи з метою підвищення ефективності та зниження енерговитрат. Окремо відзначено заходи, що сприятимуть безпеці використання розробленої системи.

Було проведено економічне обґрунтування роботи, відповідно до якого підтверджено економічну доцільність такої розробки.

Виконано розробку заходів із охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Vranay, F.; Pirsal, L.; Kacik, R.; Vranayova, Z. Adaptation of HVAC Systems to Reduce the Spread of COVID-19 in Buildings. *Sustainability* 2020, 12, 9992.
2. Otter JA, Yezli S, French GL. The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:687–99. Режим доступу: <http://refhub.elsevier.com/B978-0-08-102565-9.00015-7/rf0010>
3. Dancer SJ. The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. *J Hosp Infect* 2009;73:378–85
4. Maki DG, Alvarado CJ, Hassemer CA, Zilz MA. Relation of the inanimate hospital environment to endemic nosocomial infection. *N Engl J Med* 1982;307:1562–6.
5. McGowan Jr JE. Environmental factors in nosocomial infection-a selective focus. *Rev Infect Dis* 1981;3:760–9
6. Weber DJ, Rutala WA, Miller MB, Huslage K, Sickbert-Bennett E. Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens: norovirus, *Clostridium difficile*, and *Acinetobacter* species. *Am J Infect Control* 2010;38:S25–33.
7. Drees M, Snyderman D, Schmid C, et al. Prior environmental contamination increases the risk of acquisition of vancomycin-resistant enterococci. *Clin Infect Dis* 2008;46:678–85
- 8 Datta R, Platt R, Yokoe DS, Huang SS. Environmental cleaning intervention and risk of acquiring multidrug-resistant organisms from prior room occupants. *Arch Intern Med* 2011;171:491–4.
- 9 Anderson DJ, Chen LF, Weber DJ, et al. Enhanced terminal room disinfection and acquisition and infection caused by multidrug-resistant organisms and *Clostridium difficile* (the Benefits of Enhanced Terminal Room Disinfection study): a

cluster-randomised, multicentre, crossover study. *Lancet* 2017;389:805–14. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31588-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31588-4).

10 Passaretti CL, Otter JA, Reich NG, et al. An evaluation of environmental decontamination with hydrogen peroxide vapor for reducing the risk of patient acquisition of multidrug-resistant organisms. *Clin Infect Dis* 2013;56:27–35.

11 Rutala WA, Weber DJ. Are room decontamination units needed to prevent transmission of environmental pathogens? *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:743–7.

12 Howe RD, Matsuoka Y. Robotics for surgery. *Annu Rev Biomed Eng* 1999;1:211–40.

13 Blancou J. History of disinfection from early times until the end of the 18th century. *Rev Sci Tech* 1995;14:31–9.

14 Rutala WA, Weber DJ, (HICPAC) HICPAC. Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, http://www.cdc.gov/hicpac/pdf/guidelines/Disinfection_Nov_2008.pdf; 2008.

15 Fu TY, Gent P, Kumar V. Efficacy, efficiency and safety aspects of hydrogen peroxide vapour and aerosolized hydrogen peroxide room disinfection systems. *J Hosp Infect* 2012;80:199–205

16 Holmdahl T, Lanbeck P, Wullt M, Walder MH. A head-to-head comparison of hydrogen peroxide vapor and aerosol room decontamination systems. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:831–6.

17 Fu TY, Gent P, Kumar V. Efficacy, efficiency and safety aspects of hydrogen peroxide vapour and aerosolized hydrogen peroxide room disinfection systems. *J Hosp Infect* 2012;80:199–205.

18 Shapey S, Machin K, Levi K, Boswell TC. Activity of a dry mist hydrogen peroxide system against environmental *Clostridium difficile* contamination in elderly care wards. *J Hosp Infect* 2008;70:136–41.

19 Beswick AJ, Farrant J, Makison C, et al. Comparison of multiple systems for laboratory whole room fumigation. *Appl Biosaf* 2011;16:139–57.

20 Otter JA, Yezli S. A call for clarity when discussing hydrogen peroxide vapour and aerosol systems. *J Hosp Infect* 2011;77:83–4.

21 French GL, Otter JA, Shannon KP, Adams NM, Watling D, Parks MJ. Tackling contamination of the hospital environment by methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA): a comparison between conventional terminal cleaning and hydrogen peroxide vapour decontamination. *J Hosp Infect* 2004;57:31–7

22 Dryden M, Parnaby R, Dailly S, et al. Hydrogen peroxide vapour decontamination in the control of a polyclonal methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* outbreak on a surgical ward. *J Hosp Infect* 2008;68:190–2.

23 Jeanes A, Rao G, Osman M, Merrick P. Eradication of persistent environmental MRSA. *J Hosp Infect* 2005;61:85–6

24 EPA. Compatibility of material and electronic equipment with hydrogen peroxide and chlorine dioxide fumigation. Assessment and evaluation report; 2010.

25 Boyce JM, Havill NL, Moore BA. Terminal decontamination of patient rooms using an automated mobile UV light unit. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:737–42.

26 Reeda NG. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Rep* 2010;125:15–27.

27 ECRI. Enhanced environmental disinfection systems. *Health Devices* 2011;40:150–62

28 Stibich M, Stachowiak J, Tanner B, et al. Evaluation of a pulsed-xenon ultraviolet room disinfection device for impact on hospital operations and microbial reduction. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32:286–8.

29 Е.И. Сисин. Сравниваем технологии обеззараживания воздуха в медицинских организациях [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.profiz.ru/sec/2_2016/tehnologii_obezzarazh/

- 30 AWWA. (1971). *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill, New York.
- 31 Sharp, G. (1940). "The effects of ultraviolet light on bacteria suspended in air." *J. Bact.*, 38, 535-547.
- 32 Riley, R. L., and O'Grady, F. (1961). *Airborne Infection*, The Macmillan Company, New York.
- 33 Luckiesh, M., and Holladay, L. L. (1942a). "Designing installations of germicidal lamps for occupied rooms." *General Electric Review*, 45(6), 343-349.
- 34 Luckiesh, M. (1946). *Applications of Germicidal, Erythema and Infrared Energy*, D. Van Nostrand Co., New York.
- 35 Shaughnessy, R., Levetin, E., and Rogers, C. (1999). "The effects of UV-C on biological contamination of AHUs in a commercial office building: Preliminary results." *Indoor Environment '99*, 195-202.
- 36 Scheir, R., and Fencl, F. B. (1996). "Using UVC Technology to Enhance IAQ." *HPAC*, Feb.
- 37 Philips. (1985). *UVGI Catalog and Design Guide*, Catalog No. U.D.C. 628.9, Netherlands.
- 38 Kowalski, W. J. (1997). "Technologies for controlling respiratory disease transmission in indoor environments: Theoretical performance and economics.," M.S., The Pennsylvania State University.
- 39 CIE. 2003. *Ultraviolet air disinfection*. Publication 155:2003. Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna.
- 40 IESNA. 2000. *The IESNA lighting handbook*, 9th ed., Ch. 5: Nonvisual effects of optical radiation. M.S. Rea ed. Illuminating Engineering Society of North America, New York, NY.
- 41 Brickner, P.W., R.L. Vincent, M. First, E. Nardell, M. Murray, and W. Kaufman. 2003. *The application of ultraviolet germicidal irradiation to control transmission of airborne disease: Bioterrorism countermeasure*. Public Health Report 118(2):99-114

42 CDC. 2002. Comprehensive procedures for collecting environmental samples for culturing *Bacillus anthracis*. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta. www.cdc.gov/niosh/topics/emres/unp-envsamp.html

43 Rudnick, S.N., M.W. First, R.L. Vincent, and P.W. Brickner. 2009. In-place testing of in-duct ultraviolet germicidal irradiation. HVAC&R Research (now Science and Technology for the Built Environment) 15(3).

44 Reed, N.G. 2010. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. Public Health Reports 125:15-27.

45 ASHRAE. 2009. Indoor air quality guide: Best practices for design, construction, and commissioning.

46 Menzies, D., J. Popa, J. Hanley, T. Rand, and D. Milton. 2003. Effect of ultraviolet germicidal lights installed in office ventilation systems on workers' health and well being: Double-blind multiple cross over trial. Lancet 363:1785-1792.

47 Ko, G., H. Burge, E. Nardell, and K. Thompson. 2001. Estimation of tuberculosis risk and incidence under upper room ultraviolet germicidal irradiation in a waiting room in a hypothetical scenario. Risk Analysis 21(4): 657-673.

48 EPA. 2017. Storage and disposal: Ballasts. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. www3.epa.gov/region9/pcbs/ballast.html.

49 Xu, P., J. Peccia, P. Fabian, J.W. Martyny, K.P. Fennelly, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2003. Efficacy of ultraviolet germicidal irradiation of upper-room air in inactivating airborne bacterial spores and mycobacteria in full-scale studies. Atmospheric Environment 37(3):405-419.

50 KNX. Smart home and building solutions. Global. Secure. Connected – Режим доступа: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/index.php>

51 Rutala W.A., Gergen M.F., Weber D.J. Room decontamination with UV radiation. Infect Control Hosp Epidemiol 2010;31:1025–9.

52 Montgomery, R., and R. Baker. 2006. Study verifies coil cleaning saves energy. ASHRAE Journal 48(11):34-36.

53 Kowalski, W.J. 2006. Aerobiological engineering handbook. McGraw-Hill, New York.

54 Bahnfleth, W. 2017. UVGI in air handlers. ASHRAE Journal 59(10):72-74.

55 Nazaroff, W. and C. Weschler. 2009. Air cleaning effectiveness for improving indoor air quality: Open-path and closed-path configurations. Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, NY, Paper 376.

56 Lee, B., W. Bahnfleth, and K. Auer. 2009. Life-cycle cost simulation of in-duct ultraviolet germicidal irradiation systems. Proceedings of Building Simulation 2009, 11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, July, Glasgow.

57 Vincent, R.L., T. Sears, P.W. Brickner, and E.A. Nardell. 2013. Computer-aided design (CAD) for applying upper room UVGI fixtures to control airborne disease transmission. Proceedings of the CIE, Paris, CIE x038: 2013.

58 Zhang J., R. Levin, R. Angelo, R. Vincent, P. Brickner, P. Ngai, and E. Nardell. 2012. A radiometry protocol for UVGI fixtures using a moving-mirror type goniometer. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 9(3):140-148.

59 Leuschner, W., and F. Salie. 2013. Characterizing ultraviolet germicidal irradiance luminaires. Photochemistry and Photobiology 89(4):811-815. [dx.doi.org/10.1111/php.12064](https://doi.org/10.1111/php.12064).

60 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, [Електронний ресурс]. – На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30. – К. : МОЗ України, 2014. – 37 с. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. – (Державні санітарні норми та правила).

61 ДБН В.2.5-28:2018. Природне та штучне освітлення. Посібник: проблеми природного і штучного освітлення. / К: Етін, 2019. – 180 с.

62 Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – (Правила)

63 ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. - Київ, ДП "УкрНДНЦ", 2016. – 109 с.

64 Охорона праці [З.М. Яремко, С.В. Тимошук, С.В. Писаревська та ін.]; за ред. З.М. Яремка. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 430 с.

65 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. НПАОП 0.00-7.15-18. Державні санітарні правила і норми. / Харків: Форт, 2018 – 48 с.

66 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. / Харків: Форт, 2000 – 24 с.

67 Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.

68 ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку / МОЗ України, 1999 – 24 с.

69 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>.

70 Основи професійної безпеки та здоров'я людини : підручник / В. В. Березуцький [та ін.] ; під ред. проф. В. В. Березуцького. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 553 с.

71 ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с.

72 ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». / Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 39 с.

73 Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст] : навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013, - 487 с.