

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА БІОТЕХНОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ М. М. Барановський  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»  
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «ЕКОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ  
ТА БІОЕНЕРГЕТИКА»

**Тема: «Удосконалення біобезпеки системи очистки повітря пасажирського  
літального апарату»**

Виконавець: студентка ФЕБІТ-403

Декар Д. О.

Керівник: старший викладач

Горупа В. В.

Нормоконтролер:

Дражнікова А. В.

КИЇВ 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра біотехнології

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М. М. Барановський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

## ЗАВДАННЯ

### до виконання дипломної роботи

Декар Дарини Олегівни

1. Тема дипломної роботи: «Удосконалення біобезпеки системи очистки повітря пасажирського літального апарату» затверджена наказом ректора від «11» травня 2021р. № 715/ст.
2. Термін виконання роботи: з «10» травня по «20» червня 2021р.
3. Вихідні дані роботи: об'єктом дослідження є поширення патогенних мікроорганізмів на борту пасажирського літака та участь системи кондиціонування повітря у забезпеченні необхідного рівня біобезпеки.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. «Сучасний стан біобезпеки пасажирських перевезень; характеристика повітряно-крапельного механізму поширення». Розділ 2. «Система кондиціонування повітря пасажирських літальних апаратів». Розділ 3. «Удосконалення системи кондиціонування повітря». Висновки. Список використаних джерел.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 17 рис., 3 табл.

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання
1	Затвердження теми, формування мети та визначення завдань дипломної роботи	10.05. – 13.05.2021
2	Пошук літературних джерел за темою дипломної роботи, аналіз наукових матеріалів, формування структури дипломної роботи	14.05. – 18.05.2021
3	Робота над першим розділом	19.05. – 22.05.2021
4	Робота над другим розділом	23.05. – 25.05.2021
5	Робота над третім розділом	26.05. – 28.05.2021
6	Формування загальних висновків по роботі	29.05.2021
7	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи та нормоконтроль	30.05.2021
8	Попередній захист дипломної роботи	03.06.2021
9	Усунення виявлених недоліків	04.06. – 07.06.2021
10	Перевірка пояснювальної записки на плагіат	08.06.2021
11	Захист дипломної роботи	17.06.2021

7. Дата видачі завдання «10» травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Горупа В. В.

Завдання отримала на виконання \_\_\_\_\_ Декар Д. О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Удосконалення біобезпеки системи очистки повітря пасажирського літального апарату», 54 с., 17 рис., 3 табл., 30 посилань.

**Об'єкт дослідження:** поширення патогенних мікроорганізмів на борту пасажирського літака.

**Предмет дослідження:** система кондиціонування повітря пасажирських літальних апаратів.

**Мета роботи:** удосконалення системи кондиціонування повітря літальних апаратів для підвищення біобезпеки пасажирських перевезень.

**Методи дослідження:** аналіз літературних даних, порівняння, теоретичні, емпіричні.

В роботі визначено головні механізми інфікування пасажирів на борту літака. Встановлено, що повітряно-крапельний механізм поширення мікроорганізмів є головним чинником, що сприяє поширенню патогенних мікроорганізмів в салоні літака. Розглянуто будову та принцип роботи системи кондиціонування повітря сучасних пасажирських літаків, встановлено недоліки їх функціонування з урахуванням особливостей поширення мікроорганізмів аерогенним способом.

На основі проведеного аналізу існуючих систем кондиціонування повітря літальних апаратів запропоновані та обґрунтовані шляхи її удосконалення. Запропонована зміна повітряних потоків забезпечить якісне виведення повітря з салону літака. Насичення водою рециркуляційного повітря та його подальша конденсація забезпечить підвищення очищення повітря. Встановлення абсолютного фільтру дозволить отримати інформацію про наявні мікроорганізми в рециркуляційному повітрі системи кондиціонування.

АВІАПЕРЕВЕЗЕННЯ, БІОБЕЗПЕКА, ІНФІКУВАННЯ, ПАСАЖИРСЬКІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, ПАТОГЕННІ МІКРООРГАНІЗМИ, ПОВІТРООБМІН, ПОТІК ПОВІТРЯ, СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АР	–	автоматичний регулятор
ГРВІ	–	гостра респіраторна вірусна інфекція
ЛА	–	літальний апарат
МО	–	мікроорганізми
ОТ	–	основний теплообмінник
ПКМ	–	повітряно-крапельний механізм (аерогенний)
ПС	–	повітряне судно
ПТ	–	первинний теплообмінник
СКП	–	система кондиціонування повітря
УФВ	–	ультрафіолетові випромінювачі
IATA	–	International Air Transport Association
HEPA	–	High Efficiency Particulate Air
MPPS	–	Most Penetrating Particular Size
ULPA	–	Ultra-Low Particulate Air

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.          БІОБЕЗПЕКА          АВІАЦІЙНИХ          ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....	11
1.1. Сучасний стан проблеми біобезпеки авіаційних пасажирських перевезень	11
1.2. Поширення патогенних мікроорганізмів повітряно-крапельним шляхом на борту літака .....	13
1.2.1. Патогенні мікроорганізми, що поширюються повітряно-крапельним шляхом.....	15
1.2.2. Вплив розміру мікроорганізмів на ефективність очищення повітря.....	17
1.3. Сучасні заходи запобігання розповсюдженню патогенних мікроорганізмів в аеропорту та на борту літака .....	18
1.3.1. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів в аеропорту вильоту	18
1.3.2. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів на борту літака .....	20
1.3.3. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів в аеропорту прильоту .....	21
1.4. Висновки до розділу .....	23
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	24
2.1. Характеристика повітря на борту літака .....	24
2.1.1. Тиск.....	25
2.1.2. Температура.....	25
2.1.3. Вологість .....	27
2.2. Принципово-технологічна схема роботи системи кондиціонування повітря .....	28
2.3. Системи розподілення повітря на сучасних літаках .....	30
2.4. HEPA та ULPA фільтри та їх роль у забезпеченні належного рівня біобезпеки на борту літального апарата .....	32

2.5. Висновки до розділу .....	36
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	38
3.1. Обґрунтування зміни напрямку руху повітряних потоків.....	39
3.2. Удосконалення процесів очищення повітря від мікроорганізмів .....	42
3.2.1. Існуючі заходи стерилізації повітря.....	42
3.2.2. Оновлення принципово-технологічної схеми для підвищення ефективності захоплення часток фільтрами.....	45
3.2.3. Ідентифікація мікроорганізмів рециркульованого повітря .....	47
3.3. Висновки до розділу .....	48
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

## ВСТУП

**Актуальність.** Авіаційна галузь має пріоритетне значення в економічному розвитку більшості країн та світовій економіці загалом, оскільки забезпечує велику кількість пасажирських та вантажних перевезень за короткий термін часу та сприяє розвитку суміжних галузей економіки.

Важливу роль авіаційний транспорт відіграє у пасажирських перевезеннях. За 2017 р. понад 4 млрд пасажирів скористалися 1202 великими міжнародними аеропортами. Авіаційним транспортом забезпечується міжнародні перевезення пасажирів та внутрішні, в країнах з великою територією (США, РФ, Канада, Китай та інші). Частка авіаційного транспорту в перевезенні пасажирів світу перевищує 10 %. Близько 70 % пасажиропотоку в структурі авіаперевезень – внутрішні рейси. Індустрія повітряного транспорту зростала швидкими темпами до початку пандемії 2020 р. Інформація, опублікована Міжнародною асоціацією повітряного транспорту «International Air Transport Association» (ІАТА) стосовно загальносвітових показників пасажирських перевезень за 2020 р., повідомляє про зниження попиту на авіаперевезення на 65,9 % порівняно з попереднім роком. Станом на 2020 р. більшість авіаперевезень здійснено в Азіатсько-Тихоокеанських регіонах, що становить 38,6 %, друге та третє місце 23,6 та 22,7 % посідають Європа та Північна Америка відповідно [1; 2].

Біобезпека – комплекс заходів, спрямованих на об'єкт або систему, пов'язаних зі зменшенням впливу біологічних агентів на людей, тварин, рослин та навколишнє середовище. Біобезпека як характеристика будь-якої системи має важливе значення, оскільки забезпечує зменшення та запобігання ризиків для здоров'я людини та навколишнього середовища від впливу біологічних агентів, що викликають зміни систем [3].

Події сьогодення та проведені наукові дослідження дали змогу встановити зв'язок між авіаперевезеннями та поширенням мікроорганізмів, що спричинили захворювання людей. Задokumentовано десятки випадків інфікування важкими



хворобами під час авіаперельоту. Поширення патологічних мікроорганізмів під час авіаперельоту є важливою проблемою охорони здоров'я у світі, адже авіаперевезення сприяють швидкому розповсюдженню захворювань та 2 [4].

**Мета роботи** – удосконалення системи кондиціонування повітря літальних апаратів для підвищення біобезпеки пасажирських перевезень.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі **завдання**:

1. Проаналізувати сучасні заходи забезпечення біобезпеки пасажирських перевезень;

2. Визначити та охарактеризувати патогенні мікроорганізми, які розповсюджуються повітряно-крапельним шляхом;

3. Дослідити систему кондиціонування повітря літальних апаратів, встановити ризики, пов'язані з порушенням біобезпеки та визначити можливі способи інфікування пасажирів повітряно-крапельним шляхом;

4. Вдосконалити систему кондиціонування повітря літальних апаратів шляхом організації найефективніших повітряних потоків у салоні літака, встановлення додаткових засобів для уловлювання мікроорганізмів та їх ідентифікації.

**Об'єкт дослідження** – поширення патогенних мікроорганізмів на борту пасажирського літака.

**Предмет досліджень** – система кондиціонування повітря пасажирських літальних апаратів.

**Методи дослідження** – аналіз літературних даних, порівняння, теоретичні, емпіричні.

**Практичне значення:** проведена робота та представлені висновки дозволять підвищити рівень біобезпеки авіаційних перевезень шляхом вдосконалення систем кондиціонування повітря літаків та мінімізувати ризики поширення патогенних мікроорганізмів.

**Особистий внесок.** Здобувачем самостійно проаналізовані існуючі заходи біобезпеки в аеропорту та системи кондиціонування повітря середньо- та дальномагістральних пасажирських літальних апаратів (*Airbus-320, Airbus-330,*

*Boeing–737, Boeing–787*) з урахуванням біобезпеки пасажирів та можливих шляхів їх інфікування патогенними мікроорганізмами; запропоновано шляхи удосконалення системи кондиціонування повітря за допомогою зміни повітряних потоків, що забезпечить сприятливі умови природного конвективного руху повітря, розглянуті методи підвищення якості очищення рециркульованого повітря конденсацією та уловлювання мікроорганізмів з можливістю їх подальшої швидкої ідентифікації.

# РОЗДІЛ 1

## БІОБЕЗПЕКА АВІАЦІЙНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

### 1.1. Сучасний стан проблеми біобезпеки авіаційних пасажирських перевезень

Біологічна безпека (біобезпека) – це система правил та заходів, що мають зменшити чи запобігти біологічним ризикам, пов'язаним з використанням біотехнології та її продуктів [3].

Біологічний ризик (рис. 1.1) – це поєднання ймовірності виникнення шкідливого впливу та його ступеня в тих випадках, коли джерелом є біологічний агент [5].



Рис. 1.1. Основні групи біологічних ризиків

Біологічний рівень безпеки визначає біобезпеку залежно від агентів, що створюють певний ризик небезпеки для розвитку інфекцій у людей. Існує чотири рівні біобезпеки, кожен з яких складається з первинних і вторинних бар'єрів і особливостей біологічних процедур. Відповідно до вимог класифікації рівнів біобезпеки, пасажирські авіаперевезення належать до третього рівня біобезпеки. Третій рівень біобезпеки визначає групу ризиків, що містить біологічні агенти, які викликають істотні захворювання людини, та може призвести до важких

економічних наслідків. Ці агенти передаються аерогенним (повітряно-крапельним) шляхом [4]. Біобезпека авіаційних перевезень забезпечується комплексом заходів, що запобігають неконтрольованому поширенню мікроорганізмів (МО) в аеропортах та на борту повітряних суден.

Аналізуючи ризики інфікування пасажирів під час авіаперельоту, необхідно зазначити, що важливу роль у запобіганні поширенню МО відіграє система кондиціонування повітря літального апарата (СКП ЛА).

Повітря, що циркулює в СКП, – це аерозоль, до складу якого входить азот (75 %), кисень (23 %), вода (до 3 %) у газоподібному та рідкому стані (краплі), аргон (1,3 %), інертні гази (0,65 %), вуглекислий газ (0,05 %), завислі тверді та рідкі частки.

Система кондиціонування повітря ЛА забезпечує комфортні умови тривалого перебування пасажирів в середині літака – герметичному відсіку фюзеляжу. Система кондиціонування повітря призначена для: очищення повітря від механічних, хімічних та біологічних забруднень; забезпечення необхідних значень параметрів повітря, що циркулює на борту літака під час польоту.

До основних параметрів повітря, що визначають роботу СКП та контролюються на ЛА, належать: температура, тиск та відносна вологість. Завдяки СКП стала можливою нормальна життєдіяльність людини за низької температури та розрідженого атмосферного повітря під час польоту на висоті понад 3000 м [6].

Здатність СКП очищати повітря від забруднень визначає рівень її біобезпеки. Очищення повітря, що циркулює в салоні літака, переважно забезпечується системою фільтрів, призначених для уловлювання часток різного розміру. Мікроорганізми як самостійні об'єкти зазвичай не містяться в повітрі. Як правило, вони знаходяться на поверхнях часток різного розміру [7]. Очищуючи повітря від часток, зменшується їх кількість у ньому, а це приводить до зниження концентрації МО у повітрі, отже знижується ймовірність контакту їх з людиною.

Систему кондиціонування повітря ЛА варто розглядати як джерело потенційної небезпеки поширення МО, оскільки оновлення повітря на борту літака відбувається 20...30 разів за годину, відповідно ймовірність контакту людини з

патогенними МО збільшується. У разі несправності повітряних фільтрів СКП мікроорганізми можуть багаторазово потрапляти до салону літака разом із рециркуляційним повітрям, тим самим збільшиться ймовірність інфікування пасажирів.

Поширення МО між пасажирями в літаку може відбуватися навіть за належної роботи СКП. Ще до спалаху пандемії було задокументовано випадки захворюваності безпосередньо під час авіаційних перельотів.

У грудні 2019 р. уперше задокументовано захворювання, викликане коронавірусом *SARS-CoV-2* у місті Ухань, Китай. Авіація зіграла важливу роль у поширенні вірусу до різних країн світу. Незважаючи на швидку реакцію управління та введені карантинні обмеження Китаєм, вже 11 березня 2020 року (всього за декілька місяців від першого виявленого хворого) Всесвітня організація охорони здоров'я оголосила *COVID-19* пандемією.

## **1.2. Поширення патогенних мікроорганізмів повітряно-крапельним шляхом на борту літака**

Інфекції належать до найзагрозливішої групи біологічних ризиків. У світі щороку реєструють близько 2 млрд випадків зараження різними інфекціями, внаслідок яких помирає понад 17 млн осіб [5].

Патогенні мікроорганізми на літаку між людьми можуть поширюватися в такі способи:

- через контакт із поверхнями, на яких знаходяться МО;
- через їжу;
- через прямий контакт між пасажирями;
- повітряно-крапельним шляхом.

У журналі «*Journal of Infectious Diseases*» опубліковані результати наукових робіт щодо поширення гострої респіраторної вірусної інфекції (ГРВІ) авіаційним транспортом під час її спалаху. За проведеними дослідженнями, із сорока рейсів, пасажири яких мали симптоматичну ГРВІ, інфікування відбулося на п'яти.

Під час чотирьох рейсів інфіковані пасажери (реципієнти) розташовувалися недалеко від переносника хвороби (донора), тому вважається, що передача вірусу відбулася повітряно-крапельним шляхом через великі краплі аерозолі. Також подана інформація, що під час рейсу з Гонконгу до Пекіна 22 із 120 пасажирів та екіпажу заразилися ГРВІ. Це свідчить про розповсюдження вірусу в повітрі на значну відстань, що підтверджує значну роль СКП в поширенні МО [8].

Мікроорганізми в повітрі входять до складу аерозолі (колоїдна система, яка складається з повітря, крапель рідини або твердих частинок). До основних фаз мікробного аерозолі належать:

- крапельна фаза – складається з вірусів та бактеріальних клітин, оточених водно-сольовою оболонкою. Тривалість перебування у повітрі становить кілька секунд (діаметр крапель понад 0,1 мм);

- дрібна ядерна фаза – утворюється при висиханні частинок першої фази. Під час даної фази частки легко переміщуються потоками повітря та здатні тривалий час знаходитися у завислому стані. У цей період відбувається поширення більшості збудників повітряно-крапельних інфекцій (діаметр крапель менше ніж 0,1 мм);

- фаза «бактеріального пилу» – характеризується швидко осідаючими частками, здатними утворювати пил та підніматися в повітрі (діаметр крапель від 1 до 100 мкм).

Повітряно-крапельний механізм передачі захворювання характерний для інфекцій дихальних шляхів. Мікроби потрапляють до повітря в крапельній фазі аерозолі під час розмови, кашлю або чхання людини і знаходяться в складі крапель різної величини, які складаються із слини та слизу (рис. 1.2) [9].

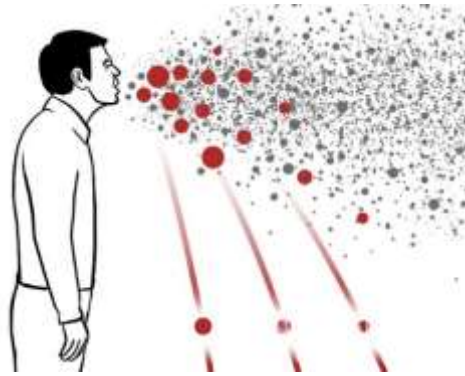


Рис. 1.2. Моделювання процесу розповсюдження і виділення аерозолі під час кашлю людини

### 1.2.1. Патогенні мікроорганізми, що поширюються повітряно-крапельним шляхом

Підвищення рівня біобезпеки СКП можна досягти завдяки модернізації та вдосконаленню її роботи, шляхом встановлення відповідного обладнання, що володітиме високою ефективністю уловлювання часток та відповідно очищення повітря. Система кондиціонування повітря сучасних ЛА повинна запобігати розповсюдженню найпоширеніших патогенних мікроорганізмів, які передаються повітряно-крапельним механізмом (ПКМ), до яких можна віднести такі:

– коронавірус *COVID-19 (SARS-CoV-2)* родини *Coronaviridae* має округлу форму діаметром 120 нм. Інкубаційний період варіюється від 1 до 14 днів. У клітини вірус проникає за допомогою рецептор опосередкованого ендоцитозу. Розмноження відбувається в цитоплазмі на мембранах ендоплазматичного ретикулула з подальшим брунькуванням у цитоплазматичній вакуолі [9];

*COVID-19* по-різному впливає на людей. У більшості інфікованих людей розвивається хвороба легкого та середнього ступенів важкості та оздоровлення – без госпіталізації. До симптомів легкого ступеня відносять: лихоманку, сухий кашель та втому. Середній ступінь характеризується такими симптомами, як: біль у горлі, діарея, кон'юнктивіт, головний біль, втрата смаку або запаху, висип на шкірі або зміна кольору пальців рук або ніг. Симптоми важкого ступеня: ускладнене дихання або задишка, біль у грудях або тиск, втрата мови або руху [10];

– вірус грипу А (під *Influenzavirus A*) родини *Orthomyxoviridae* має переважно сферичну або овоїдну форму діаметром 80...120 нм. Інкубаційний період грипу короткий (1–2 доби). Вірус розмножується в епітеліальних клітинах слизової оболонки дихальних шляхів з локалізацією в ділянці трахеї, що клінічно виявляється у вигляді сухого кашлю з болями по ходу трахеї. Продукти розпаду уражених клітин потрапляють у кров і спричиняють сильну інтоксикацію та підвищення температури до +38...+39 °С. Початок хвороби характеризується ознобом, головним болем, підвищенням температури, виникає дискомфорт під час руху очей. Згодом з'являється нежить, слезотеча, кашель [9; 11; 12];

– *Mycobacterium tuberculosis* (палочка Коха) є збудником туберкульозу (*Tuberculosis*). Має форму палочки розміром 1...10 мкм з діаметром 0,2...0,6 мкм. Інкубаційний період туберкульозу становить у середньому 6–8 тижнів, але може досягати до року. Туберкульоз зазвичай вражає легені, рідше зачіпає інші органи та системи – статеві органи, шкіру, очі, перикард, наднирники, суглоби, хребет тощо [13];

– *Corynebacterium diphtheriae* спричиняє дифтерію. Має форму палочки розміром 1...8 мкм з діаметром 0,3...0,8 мкм. Інкубаційний період становить від 2 до 10 днів. Потрапляючи в дихальну систему, дифтерійна бактерія виробляє токсин, який блокує синтез білка в клітинах. Як наслідок виникають функціональні та структурні зміни, інколи несумісні з життям. До симптомів дифтерії належать: підвищена температура, біль у горлі, гарячка, інтоксикація організму, запалення гортані, горла, носа, трахеї і очей, осиплість голосу, наліт на мигдалинах сірого кольору, набряк шиї, збільшення шийних та підщелепних лімфатичних вузлів [11];

– менінгококова інфекція, викликана бактеріями *Neisseria meningitidis*. Має округлу форму діаметром 0,6...1,0 мкм. Інкубаційний період може тривати від 1 до 10 днів. Істотне захворювання викликає гнійне ураження мозкової оболонки. Хвороба починається з різкого підняття температури до +40 °С. Менінгіт часто супроводжується низкою симптомів: гарячка, головний біль, сплутана свідомість, нудота, блювота, світлобоязнь і ригідність потиличних м'язів [11–14];



– віруси роду *Ebolavirus* входять до родини *Filoviridae*, є збудником гарячки Ебола. Розмір може досягати в межах 790...970 нм. Станом на сьогодні відомо п'ять видів вірусу Ебола залежно від рівня патогенності для людини. Інкубаційний період – від 3 до 21 доби. Починається захворювання підвищенням температури тіла до +38...+40 °С і швидко наростаючим больовим синдромом: сильний розмитий головний біль, біль у всіх м'язах та грудях під час дихання, біль у животі без чіткої локалізації і біль в очних яблуках [9; 14];

– *Varicella-zostervirus* є збудником вітряної віспи. Розміри коливаються від 150 до 200 нм. Інкубаційний період під час вітряної віспи триває від 11 до 21 дня, найчастіше близько 14 днів. До характерних симптомів загальної інтоксикації належать: нездужання, втрата апетиту, висипання, що часто супроводжуються підвищенням температури тіла [9; 14].

### 1.2.2. Вплив розміру мікроорганізмів на ефективність очищення повітря

Очищення повітря СКП літальних апаратів відбувається за допомогою проходження забрудненого повітря через фільтри, що здатні затримувати частки різних розмірів. Розмір МО при цьому є важливою характеристикою.

Мікроорганізми, що знаходяться в повітряному аерозолі, безпосередньо визначають розмір часток, які повинен захоплювати повітряний фільтр. Розмір частки, на поверхні якої перебуває МО, в повітряному аерозолі не може бути меншим за МО. Розміри патогенних МО, описаних у цій роботі в п. 1.2.1, наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Розміри патогенних МО, які поширюються ПКШ

Назва мікроорганізму	Розмір, мкм
<i>Influenzavirus A</i>	0,08...0,12
<i>COVID-19</i>	0,12
<i>Varicella-zostervirus</i>	0,15...0,2

<i>Neisseria meningitidis</i>	0,6...1,0
<i>Ebolavirus</i>	0,79...0,97
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	$1...8 \times 0,3...0,8$
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	$1...10 \times 0,2...0,6$

### 1.3. Сучасні заходи запобігання розповсюдженню патогенних мікроорганізмів в аеропорту та на борту літака

До спалаху *COVID-19* жодна авіакомпанія не переймалася виконанням особливих заходів з підвищення рівня біобезпеки під час перельоту, обмежуючись лише виконанням відповідних санітарних норм. Тільки в умовах пандемії почали звертати увагу на біобезпеку пасажирів. Під час пандемії обслуговування пасажирів в аеропорту та літаку змінилось.

Існуючі заходи запобігання поширенню патогенних МО ПКМ, зокрема *COVID-19*, можна поділити на:

- заходи в аеропорту вильоту;
- заходи на борту літака;
- заходи в аеропорту прильоту.

#### 1.3.1. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів в аеропорту вильоту

Перед рейсом, відповідно до рекомендацій *IATA*, авіакомпанії на вимогу державних органів зобов'язані збирати дані про пасажирів до поїздки, включно з інформацією про стан здоров'я, які повинні здійснюватися за допомогою сертифікованих медичних закладів. Наочні інструкції з рекомендованими заходами безпеки в аеропорту вильоту показано на рис. 1.3.

Зазвичай, заходячи у будівлю аеропорту вильоту, пасажир зобов'язаний одягнути маску. Перед входом до будівлі працівник аеропорту проводить перевірку

відповідності необхідних документів, які засвідчують, що людина є пасажиром (реєстраційна картка або посадковий талон). Це дає змогу уникнути перебування сторонніх осіб у будівлі аеропорту.

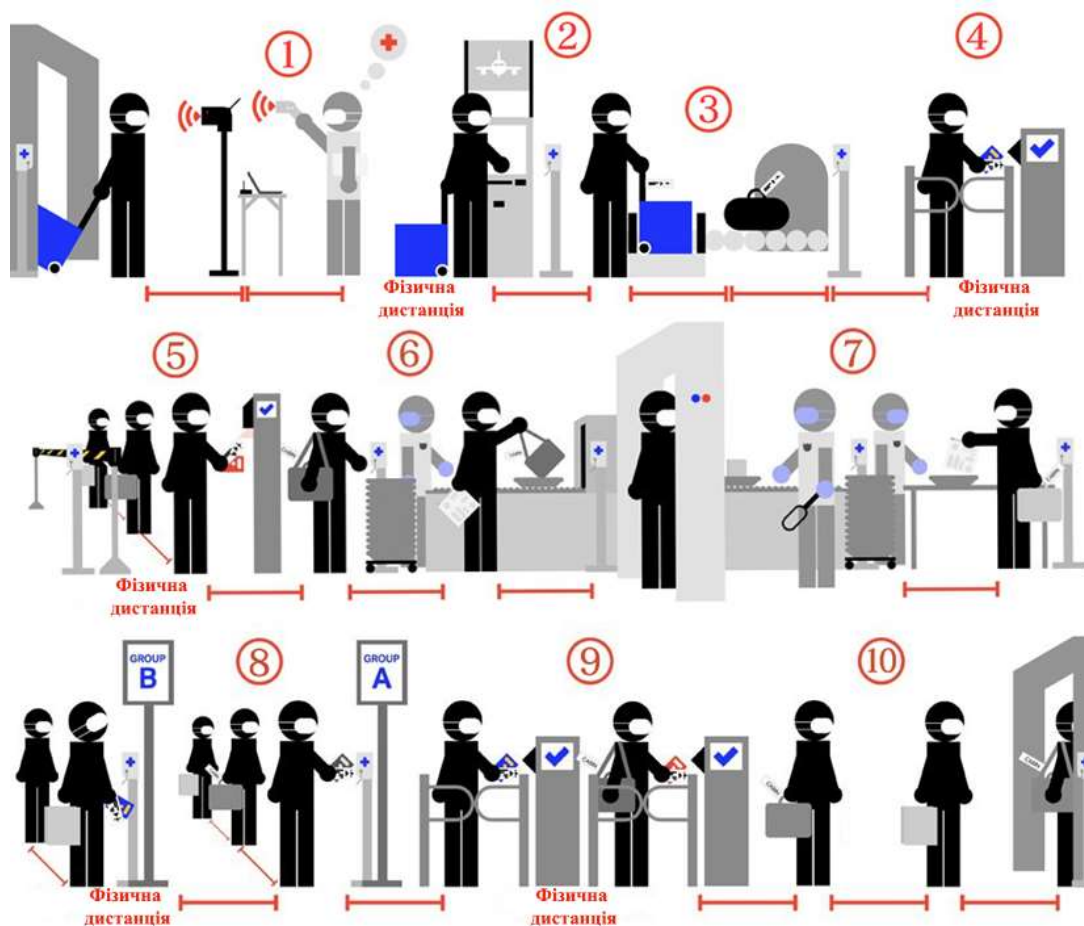


Рис.1.3. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів у аеропорту вильоту [1]

Для пасажирів та членів екіпажу використовується тепловізійний або інший безконтактний температурний контроль тіла (рис. 1.3, поз. 1), адже майже всі захворювання, описані в п. 1.2, супроводжуються підвищенням температури тіла людини.

Під час реєстрації в терміналах аеропорту пасажирів демонструють ПЛІР-тести з негативним результатом на *COVID-19*, зроблені не більше ніж за 72 години до вильоту. Під час обслуговування пасажирів використовуються вискоелективні контрольно-пропускні пункти, модернізовані завдяки: смугам, що зменшують черги;

безконтактним процесам реєстрації та дистанціюванню між пасажирами (рис. 1.3, поз. 2–4).

Під час митного контролю пасажир складає речі у попередньо продезінфіковану ємність для їх перевірки (рис.1.3, поз. 5–7). Контейнери, до яких потрапляють особисті речі пасажирів, щоразу піддають обробці антисептичними засобами для зменшення ймовірності інфікування контактним способом. Безконтактна перевірка документів під час паспортного контролю дозволяє зменшити ризики зараження.

Очікуючи необхідного рейсу пасажир повинні надавати перевагу фізичному дистанціюванню, але при цьому бажаним є умовне групування із іншими пасажирами одного рейсу. При посадці пасажирів перевага надається безконтактному оформленні, що пришвидшує процес та забезпечує зменшення черги (рис. 1.3, поз. 8–10) [1].

### 1.3.2. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів на борту літака

Рекомендації *IATA* для мінімізації ризиків інфікування на борту літака та під час польоту такі:

- обов'язкове використання масок;
- бажане розміщення пасажирів «обличчям уперед», а не обличчям до обличчя іншої людини;
- обов'язкове використання дезінфікуючих засобів у вбиральні [1].

В інформаційних матеріалах *IATA* також наведена інформація щодо висвітлення безпечності перебування пасажирів на борту літака, зокрема високі спинки сидінь, що діють як бар'єр, значна кратність повітрообміну в салоні ЛА (повітря змінюється 20...30 разів на годину), та застосування *HEPA* фільтрів з ефективністю очищення 99,9 % [1]. Наочні інструкції з рекомендованими заходами проілюстровано на рис. 1.4.



Рис.1.4. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів на борту літака [1]

Упродовж польоту для всіх пасажирів та екіпажу необхідно використовувати маски або респіратори (рис. 1.4, поз 2). Обслуговування пасажирів у салоні спрощується для унеможливлення потрапляння інфекції (рис 1.4, поз. 1). Забороняється скупчення пасажирів у салоні, наприклад, черги до вбиральні (рис. 1.4. поз. 3).

### 1.3.3. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів в аеропорту прильоту

Виходячи з літака, необхідно мінімізувати близькість та взаємодію з іншими пасажирами. Бажано запроваджувати безконтактну перевірку під час паспортного контролю (рис. 1.5, поз. 1–2). Наочні інструкції з рекомендованими заходами безпеки в аеропорту вильоту показано на рис. 1.5.



Рис.1.5. Заходи запобігання поширенню мікроорганізмів в аеропорту прильоту [1]

Моніторинг стану здоров'я застосовується відповідно до місцевих норм, деякі країни вимагають відповідного анкетування. Анкетування пасажирів дозволяє

швидко відшукати людину у разі її контакту з хворими особами під час перельоту. Зразок анкети зображено на рис. 1.6, у якій необхідно обов'язково повідомити: ПІБ, контактний номер телефону, номер паспорта, номер рейсу та місця в салоні ЛА, адресу проживання в країні прибуття, наявність симптомів захворювання та країни, у яких особа була останні 14 діб.

EN		PASSENGER INFORMATION FORM	
NAME/LAST NAME			
PASSPORT NUMBER			
PHONE NUMBER OF THE PERSON WHO CAN BE REACHED TO CONTACT WITH YOU			
PHONE NUMBER			
FLIGHT NUMBER	SEAT NUMBER:	DATE :	
ADDRESS IN TURKEY OR DESTINATION			
If you have one or more of the symptoms below, please tick them.			
<input type="checkbox"/> High Fever <input type="checkbox"/> Cough <input type="checkbox"/> Sore throat <input type="checkbox"/> Shortness of breath			
The countries you have been in the last 14 days:.....			
Have you had close contact with a patient who was suspected with COVID-19?			
<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unknown			
The information I declare is correct and belongs to me.			
Declaration Date: ...../...../ 2020		Signature	
Note: If it is understood that the information provided on the form is incorrect, legal remedies will be taken against the person who filled out the form.			

Рис. 1.6. Інформаційна анкета пасажирів

Транзитний пасажиропотік відбувається за аналогічних умов як у аеропорті вильоту. В місцях повернення багажу та митниці забезпечують дотримання дистанції між пасажирів щонайменше 1,5 метри (рис. 1.5, поз. 3).

Деякі країни запроваджують жорсткіші заходи контролю за пасажирів після прибуття. Одним із найрозповсюдженіших є самоізоляція, під час якої пасажирів повинні залишатися на визначених місцях та мінімізувати контакти з оточуючими протягом 14 днів для впевненості, що вони не є хворими [1].

#### 1.4. Висновки до розділу

Проаналізувавши наукові публікації, встановлено зв'язок між авіаперевезеннями та розповсюдженням мікроорганізмів, які спричинили захворювання людей. Поширення патогенних мікроорганізмів під час авіаперельоту є важливою проблемою охорони здоров'я у світі, оскільки авіаперевезення сприяють швидкому розповсюдженню захворювань та пандемій.

Відповідно до вимог класифікації рівнів біобезпеки пасажирські авіаперевезення запропоновано віднести до третього рівня біобезпеки.

Визначено способи поширення патогенних МО на борту літака. Інфікування пасажирів здійснюється через контакти з поверхнями, через їжу, контакт між пасажирами та повітряно-крапельним шляхом.

Також встановлено, що поширення МО здебільшого відбувається повітряно-крапельним механізмом, оскільки існуюча система кондиціонування повітря в салоні літака нездатна забезпечити належний рівень біобезпеки пасажирів.

До найрозповсюдженіших МО, що поширюються повітряно-крапельним шляхом, належать: *COVID-19*, вірус грипу А, палочка Коха, *Corynebacterium diphtheriae*, *Neisseria meningitidis*, *Ebolavirus*, *Varicella-zostervirus*.

## РОЗДІЛ 2

### СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

#### 2.1. Характеристика повітря на борту літака

Головним джерелом розповсюдження МО під час ПКМ інфікування є повітря. Отже, для встановлення біоризиків перебування пасажирів на борту ЛА необхідно провести аналіз СКП та визначити особливості її функціонування.

Сучасні ЛА здійснюють тривалі перельоти на великих висотах. Як відомо, із віддаленням від поверхні землі знижуються температура та атмосферний тиск. Повітря, що розріджується під час збільшення висоти, має меншу густину, вміст кисню в ньому також знижується. Дихання повітрям із низькою концентрацією кисню у людини призведе до кисневого голодування, що викликає симптоми «висотної хвороби», тому сучасні ЛА потребують засобів (компоненти СКП) забезпечення нормальних умов для перебування членів екіпажу та пасажирів.

Система кондиціонування повітря відповідає за життєво важливі параметри повітря салону ЛА: підготовку та забезпечення необхідного температурного режиму, тиску, відносної вологості, очищення повітря від забруднень, насичення киснем рециркуляційного повітря. Справність роботи СКП перевіряється відповідними фахівцями щоразу перед вильотом відповідно до нормативних документів, у разі виявлення некоректної її роботи літак виводиться з експлуатації [6; 15].

Сучасні пасажирські ЛА здійснюють тривалі перельоти на висотах 10...14 км. Відповідні висоти належать до шару атмосфери, що називається тропосферою. Для неї характерний стійкий склад повітря, зниження температури до  $-60$  °С. Зниження параметрів відбувається послідовно, незалежно від шару атмосфери.



### 2.1.1. Тиск

Зниження атмосферного тиску та густини повітря пов'язане з різними швидкостями руху молекул. У певної частини молекул швидкість набагато вища ніж у інших, у наслідок цього вони здатні підніматися над поверхнею Землі на значну висоту [16; 17].

Зміна тиску навколишнього середовища негативно впливає на організм людини. На висоті 10 км тиск дорівнює 25 331 Па, що становить четверту частину атмосферного тиску над рівнем моря. Для забезпечення нормальної життєдіяльності людини на такій висоті необхідно подавати чистий кисень, що було б економічно не вигідно для авіакомпаній, ураховуючи вагу системи для його зберігання. Тому доцільним є спосіб утворення надлишкового тиску в середині герметичного борту літака порівняно з тиском ззовні.

Система кондиціонування повітря забезпечує необхідний тиск всередині літака, що дозволяє перебувати пасажирському ЛА на висоті понад 3000 м, не призводячи до суттєвих змін у життєдіяльності людини [6]. У салоні літака створюється безперервний потік повітря, одночасно відбувається і його витікання через спеціальні отвори для забезпечення необхідного перепаду тиску на борту літака та в навколишній атмосфері. Швидкість зміни тиску в салоні повинна бути не більше ніж 24 Па. Стрімка зміна тиску наражає пасажирів і екіпаж на фізіологічну небезпеку.

Контроль тиску на борту літака здійснює система автоматичного регулювання (САР) тиску, функції якої полягають у: регулюванні тиску на борту літака, обмеженні швидкості зміни тиску та надлишкового тиску в салоні літака [6; 18].

### 2.1.2. Температура

Віддаляючись від поверхні Землі, зниження температури повітря відбувається послідовно. Середній вертикальний градієнт температури близько 6 °С/км. Таким чином, на відстані від земної кори у 10 км температура становить приблизно мінус

60 °С. За таких значень температури людина не може існувати, тому не менш важливим процесом, який забезпечує система кондиціонування ЛА, є створення комфортних температурних умов на борту літака.

Температура повітря, яке відбирається від джерел його нагнітання – компресори двигунів, може досягати плюс 250 °С. Тому, перед подаванням у салон літака, повітря піддається охолодженню різними способами. Найпоширенішим є подавання гарячого повітря до теплообмінників типу «повітря – повітря», як холодний теплоносій виступає атмосферне повітря, відібране повітрозбірником безпосередньо з навколишнього середовища.

Температура повітря, яке подається до салону літака, має становити близько плюс 10 °С. Оскільки тіло людини виділяє у довкілля теплоту, кількістю приблизно 100 Вт, між пасажиром та оточуючим середовищем постійно відбувається теплообмін. Температура повітря на вході до салону ЛА повинна становити плюс 10 °С. Температура повітря, що контактує з людиною в салоні літака, з часом підвищується, та на виході з нього має температуру близько плюс 20 °С. Різниця температур у різних частинах ЛА має становити не більше ніж 2–3 °С [6; 18–21].

Тепловим комфортом (теплообмін) людини називають стан, за якого метаболічна теплота передається до навколишнього середовища, не викликаючи у людини значних реакцій (потовиділення або озноб). Теплообмін між людським організмом та навколишнім середовищем відбувається за допомогою таких процесів: конвекція, випаровування та теплопровідність [6]. Інтенсивність проходження даних процесів пов'язана з такими показниками:

- температура;
- вологість;
- швидкість руху повітря.

Для підтримання температури повітря в потрібному діапазоні використовують АР температури.

### 2.1.3. Вологість

Оскільки повітря, що циркулює в СКП, це аерозоль, у якому присутня вода у вигляді водяної пари та крапель різного розміру, де можуть перебувати МО, регуляція вологості повітря як параметра має важливе значення. Під вологим повітрям розуміють суміш сухого повітря й водяної пари. При цьому сухе повітря – це газова суміш, що складається з 75 % азоту, 23 % кисню, 1,3 % аргону, 0,05 % вуглекислоти та інших інертних газів [22].

Перебуваючи в салоні ЛА, людина насичує вологою оточуюче повітря завдяки притаманним для неї природним фізіологічним процесам. До способів виділення води з організму людини, що призводять до зволоження повітря, відносять: потовиділення та дихання. У середньому людина робить 16–20 вдихів та видихів за одну хвилину, при цьому повітря, що видихається, містить  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  у вигляді пари та інші сполуки. Хімічний склад повітря в системі дихання людини наведено в табл. 2.1. Відомо, що за одну годину людина видихає близько 50 г води. Вода є однією з найкращих умов розвитку МО, тому контроль вологості повітря в системі біобезпеки СКП має надзвичайно важливе значення [15; 23–26].

Таблиця 2.1

Склад вдихуваного та видихуваного людиною повітря [23–26]

Характеристика	Вдих	Видих
Об'єм повітря	500 мл	500 мл
Склад $O_2$	23 %	16 %
Склад $CO_2$	0,05 %	4 %
Склад N	75 %	75 %
Склад $H_2O$	1,5 %	4,5 %

## 2.2. Принципово-технологічна схема роботи системи кондиціонування повітря

Оскільки в даній роботі проводиться аналіз найпоширеніших міжнародними авіакомпаніями літаків *Airbus* та *Boeing*, які мають несуттєві відмінності в процесах підготовки повітря, тому для описування принципу роботи їх СКП розглядатиметься узагальнена принципово-технологічна схема, подана на рис. 2.1.

Система кондиціонування повітря складається із двох незалежних підсистем, що подають у салон підготовлене повітря з лівого та правого боків літака. Принцип роботи СКП полягає у відборі атмосферного повітря з навколишнього середовища, забезпеченні необхідними значеннями контрольованих параметрів, безперервній подачі до герметичного салону ЛА, відборі повітря з салону літака, осушуванні та фільтруванні, підмішуванні «свіжого» повітря.

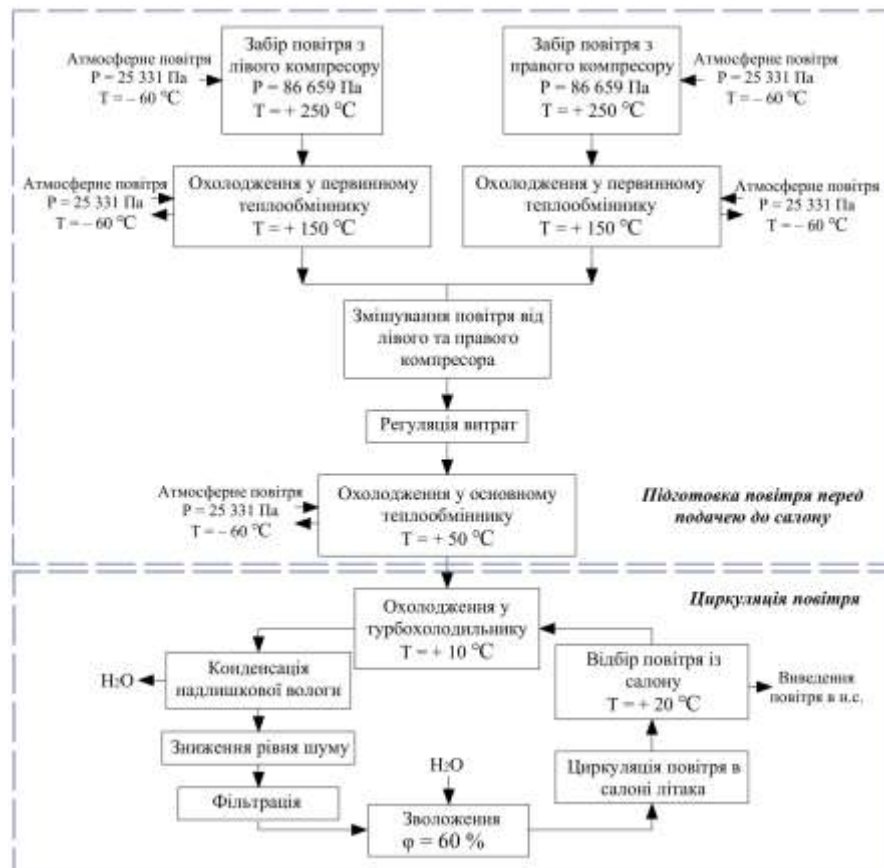


Рис. 2.1. Принципово-технологічна схема СКП

Рециркуляція повітря перед подачею в салон здійснюється у дві стадії:

На першій стадії відбувається відбір повітря від компресорів двох двигунів лівого та правого. За умови значення температури понад плюс 250 °С відбір повітря не проводиться з даного ступеня компресора. Компресори забезпечують підвищення тиску повітря до значень тиску 86 659,6–89 326 Па. Оскільки атмосферний тиск зі зростанням висоти зменшується, а висока різниця тисків зовні та на борту літака може спричинити аварійну ситуацію, даний процес відбувається за участю АР тиску [18; 23; 24].

Охолодження повітря виконують у первинному теплообмінникові (ПТ) типу «повітря–повітря», що відбувається за рахунок передачі тепла більш холодному теплоносію (атмосферне повітря, відібране повітрозбірником). На виході температура повинна бути менше ніж плюс 150 °С. Після ПТ лінії подачі повітря лівого та правого двигунів поєднуються, відповідно об'єднуються потоки повітря. Регуляція витрат повітря відбувається відповідним АР. Наступним етапом на даній стадії є охолодження повітря в основному теплообмінникові (ОТ). Охолодження повітря в ОТ відбувається аналогічним способом як у первинному, але до температури плюс 50 °С.

На другій стадії подається повітря до турбіни турбоохолодильника, у якому охолоджене атмосферне повітря змішується з попередньо очищеним рециркуляційним повітрям, що надходить із салону літака. У турбоохолодильнику атмосферне та рециркуляційне повітря змішується у співвідношенні 1:1. На виході температура повітря становить плюс 10 °С. Наступною стадією циркуляції повітря є подача до вологовіддільника, у якому відбуваються процеси конденсації вологи до визначеного значення відносної вологості (40...60 %). Осушене повітря підводиться до глушника шуму, після якого проводиться його фільтрація. Після проведення очищення у фільтрах повітря спрямовується до салону ЛА в систему індивідуальної вентиляції пасажирів [6; 18–21].

### 2.3. Системи розподілення повітря на сучасних літаках

У СКП сучасних літаків використовується часткова рециркуляція повітря. Розподіл повітря у салоні відбувається двома шляхами: безпосередньо до кожного пасажира у верхній частині та подача вздовж усього літака [6; 25].

Підведення повітря до салону здійснюється через гумові трубопроводи у стельовій зоні з нижньої частини багажних полиць каналним осьовим електровентилятором. Розподіл повітря в салоні та виведення з нього забезпечується відповідними елементами, показаними на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Елементи подачі (а) та відбору (б) повітря в салоні літака

Вентилятори вмикаються автоматично під час роботи СКП. Герметичний відсік фюзеляжу розділяють на дві частини, до яких подача повітря та регуляція температури відбуваються незалежно. Одна з них подає повітря для обігріву кабіни екіпажу, охолоджене повітря в лінії індивідуальної вентиляції меншого з пасажирських салонів (передня частина літака), інший виконує аналогічні функції, не враховуючи обігрів кабіни екіпажу, але для більшого пасажирського салону. Кожна містить блок датчиків для забезпечення контролю температури та тиску всередині салону.

Напрямки основних потоків повітря, що спрямовуються до пасажирів та подальший рух у салоні вузько- та широкофюзеляжних ЛА показано на рис. 2.3.

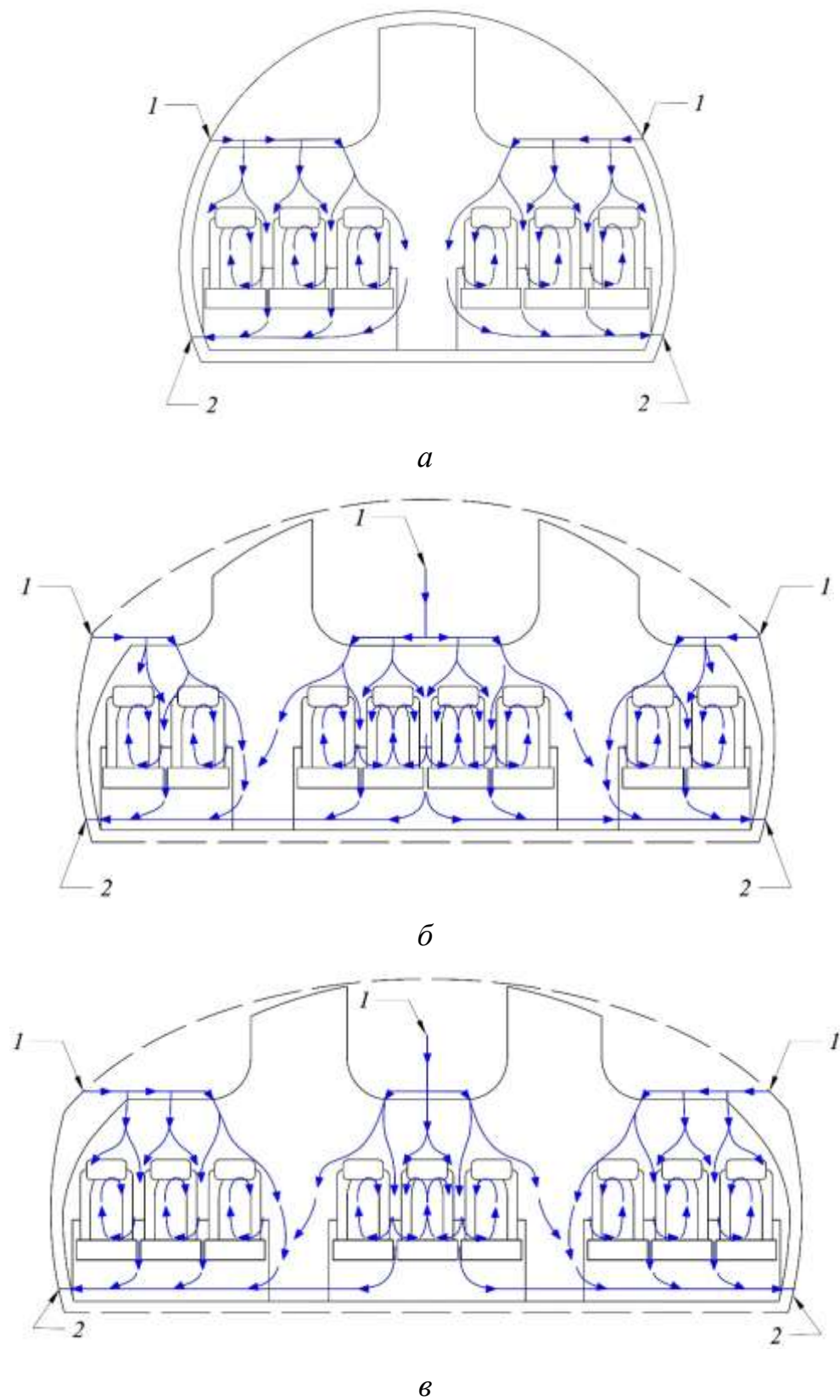


Рис. 2.3. Схема вертикальної подачі повітря на:  
*a* – Airbus–320 та Boeing–737 (вузькофюзеляжні літаки); *б* – Airbus–330; *в* – Boeing–787  
(широкофюзеляжні літаки); 1 – місця подачі повітря в салоні, 2 – місце відбору повітря з  
салону

Деталізовані потоки повітря в салоні літака подані на рис. 2.3. Вони зображені з урахуванням присутності пасажирів, тому на запропонованих рисунках можна побачити зміну напрямків руху. Повітряні потоки у широкофюзеляжних літаках, спрямовані на місця сидінь пасажирів у середній частині ЛА, не мають виходів для рециркульованого повітря. Повітря для виходу з салону літака змушене рухатися до боків фюзеляжу, що зумовлює його турбулізацію та утворення хаотичних вихрів. Цьому також сприяє наявність перешкод для повітряних потоків: частин тіла пасажирів, особистих речей та крісел (нижня частина сидінь).

Перехресному руху повітря також сприяє додатковий потік повітря, що використовується для обігріву салону вздовж ЛА. Додатковий підігрів повітря в салоні відбувається завдяки подачі нагрітого повітря через декілька теплообмінників (3...5), які розташовані рівномірно вздовж осі фюзеляжу. Подача нагрітого повітря відбувається на початку, посередині та в кінці салону. Деякі типи літаків мають розподіл по класах комфорту, зазвичай друга частина літака (економ–клас) більша, подача нагрітого повітря відбувається з двох боків салону («середина – кінець», «кінець – середина»).

Відбір усього рециркульованого повітря з салону літака, як було зазначено вище, відбувається в нижній частині лівого та правого боків фюзеляжу. Відповідні елементи забору повітря з салону літака розташовані біля кожного ряду сидінь. Надалі повітря з салону спрямовується до турбохолодильника. Перед подачею до турбохолодильника частина повітря відводиться з СКП за борт повітряного судна (ПС) за допомогою відповідних її елементів, інша частина – спрямовується на рециркуляцію та знову підводиться до салону [6; 20–22].

#### **2.4. HEPA та ULPA фільтри та їх роль у забезпеченні належного рівня біобезпеки на борту літального апарата**

Повітряний аерозоль, забруднений різними включеннями, перед подачею до салону повинен проходити очищення. Основним джерелом мікроорганізмів, які



розповсюджуються ПКМ в салоні літака, є пасажир. У стані спокою людина виділяє близько  $5,5 \times 10^5$  часток за хвилину, не враховуючи вологі частки, що виділяються при диханні.

У підсистемах фільтрації СКП сучасних ЛА використовують *HEPA (High Efficiency Particulate Air)* та *ULPA (Ultra-Low Particulate Air)* фільтри для очищення повітря від високодисперсних часток. Фільтрувальна перегородка *HEPA* та *ULPA* фільтрів являє собою лист завтовшки 0,5 мм, який складається з хаотичного сплетіння тонких волокон (зазвичай скловолокно) діаметром менше мікрона.

Оскільки швидкість проходження повітря через фільтри становить лише 1–3 см/с, для збільшення швидкості фільтруваний матеріал гофрується. На ЛА у вигляді фільтрувальної комірки використовується гофрувальний матеріал за принципом мінігофра, у якому фільтрувальні елементи встановлені у вигляді зигзагу. Завдяки такій структурі швидкість пропускання повітря через фільтри збільшується [27].

Відповідно до стандарту EN 779 класифікацію повітряних фільтрів за ефективністю очищення наведено в табл. 2.2 [28].

Таблиця 2.2

Класифікація високоефективних фільтрів за EN 779

Група фільтру	Клас фільтру	Інтегральне значення		Локальне значення	
		ефективність, %	коефіцієнт проскоку, %	ефективність, %	коефіцієнт проскоку, %
Фільтри високої ефективності	H10	85	15	–	–
	H11	95	5	–	–
	H12	99,5	0,5	97,5	2,5
	H13	99,95	0,05	99,75	0,25
	H14	99,995	0,005	99,975	0,025
Фільтри надвисокої ефективності	U15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
	U16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
	U17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001

Відомо, що ефективність *HEPA* фільтрів, що використовуються у СКП, мають ефективність захоплення 99,97 %. За наведеною класифікацією дані значення відповідають класу фільтрів H14.

Для повітряних фільтрів розрізняють чотири механізми захоплення часток (див. рис. 2.4):

- ефект сита – характерний для випадку фільтрування, за якого відстань між волокнами менша за діаметр часток;
- ефект зачеплення – реалізується для часток малого розміру. Потік повітря разом із частками рухається дуже близько до волокна фільтра, при цьому відбувається її зачеплення та надійне закріплення на поверхні волокна;
- ефект інерції – притаманний для часток малого розміру, які не здатні ухилитися разом із лінією потоку повітря від волокна, унаслідок чого частка не змінює свою траєкторію – відбувається її контакт з волокном та надійне утримання на ньому;
- ефект дифузії – характерний для часток розміром менше ніж 0,1 мкм. Під час хаотичного руху молекул різних хімічних речовин вони «вдаряються» в частки, що призводить до зміни їх траєкторії руху, збільшується вірогідність дотику до волокна часток та утримання їх фільтрами.

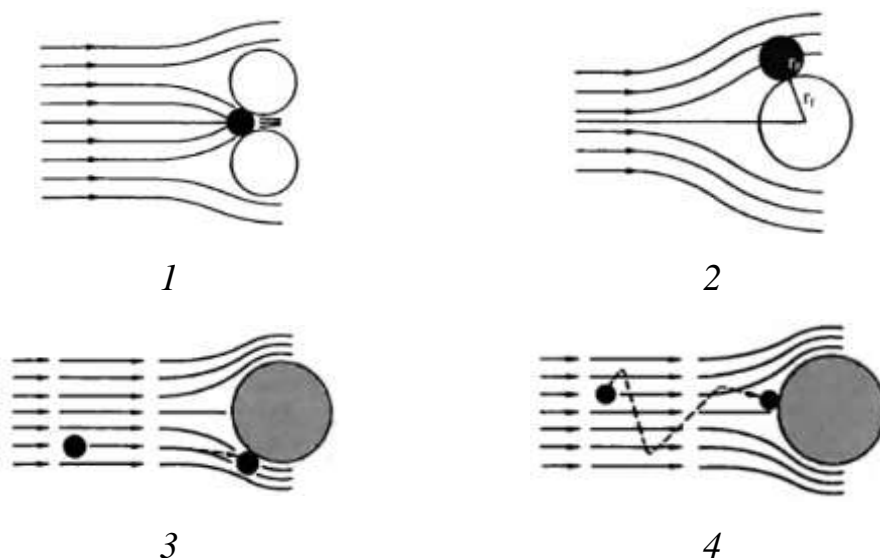


Рис. 2.3. Механізми захоплення часток фільтрами: 1 – ефект сита; 2 – ефект зачеплення; 3 – ефект інерції; 4 – ефект дифузії [27]

Ефект сита не є бажаним для високоефективних повітряних фільтрів (*HEPA* та *ULPA*), оскільки відбувається блокування поверхні великими частками, що унеможлиблює фільтрацію часток меншого розміру.

Зачеплення та інерція характерні для часток умовно великого розміру (більше 1 мкм). Загальна ефективність волокнистих фільтрів полягає у поєднанні зазначених механізмів (зачеплення, інерція та дифузія) (рис. 2.5) [27–30].

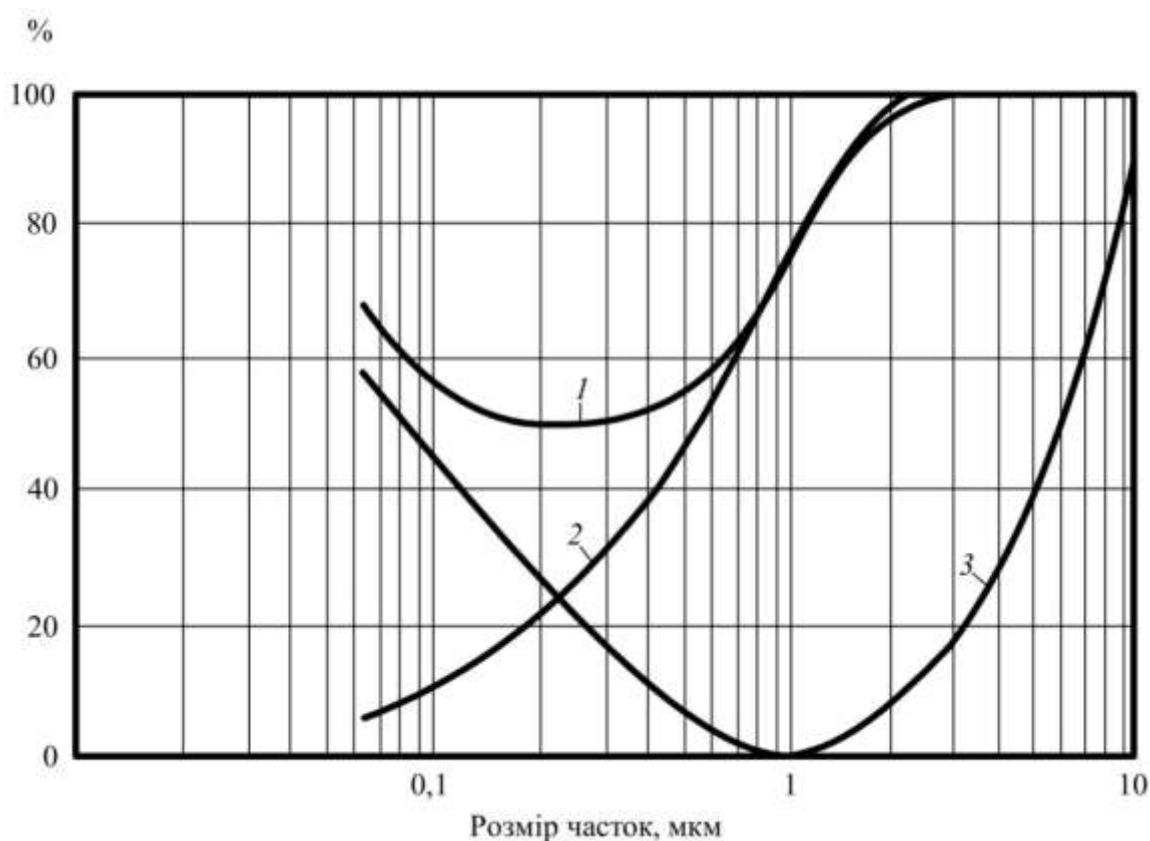


Рис. 2.5. Ефективність механізмів захоплення часток відповідно до розміру частки: 1 – ефект зачеплення; 2 – ефект дифузії; 3 – ефект інерції [29]

Наведені вище основні три методи фільтрування повітря пояснюють, чому частинки розміром близько 0,3 мкм найбільш важко фільтрувати. Існують розміри часток, які фільтри не здатні захопити жодним із вказаних механізмів. Ця характеристика фільтра називається «точка *MPPS*» (*MPPS* – *Most Penetrating Particular Size*), що визначає для кожного типу фільтра розміри часток з

максимальним проникненням (проскоком, невловлюванням). Такий діапазон розмірів для *HEPA* фільтра показано на рис. 2.6 [27].

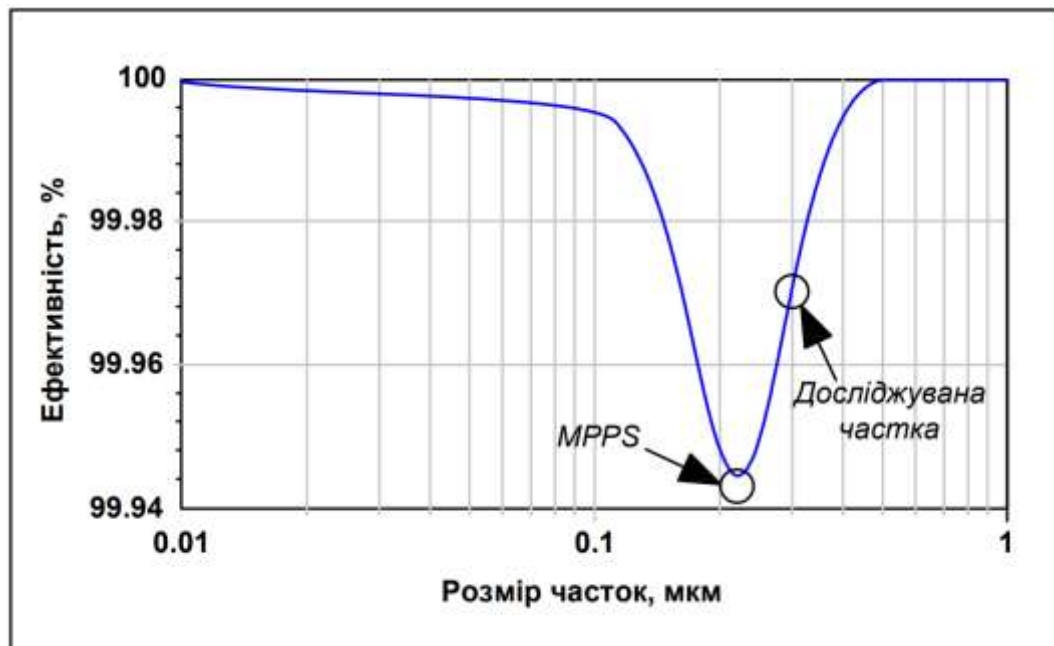


Рис. 2.5. *MPPS* *HEPA* фільтр (99,97 %) [27]

Частки розміром менше ніж 0,1 мкм легко захоплюються завдяки механізму дифузії, в той час як частки розміром більше ніж 0,4 мкм краще виловлюються зачепленням та інерцією. Таким чином, частинки розміром від 0,1 до 0,4 мкм занадто великі для ефективної дії механізму дифузії і занадто малі для інерційної реалізації механізму інерції й ефективного уловлювання, саме тому ефективність роботи повітряних фільтрів знижується в цьому діапазоні. Ефективність *HEPA* фільтра на рівні 0,3 мкм має мінімальне значення очищення [27; 29–31].

## 2.5. Висновки до розділу

Було проведено аналіз систем кондиціонування повітря сучасних пасажирських ЛА та визначені основні характеристики її роботи й особливості підготовки повітря перед подачею в салон. Встановлені основні параметри повітря та їх значення перед

подачею в салон, а саме: температура плюс 10 °С, тиск 86 659,6–89 326 Па, відносна вологість  $\varphi = 60 \%$  та кратність повітрообміну 20...30.

З'ясовано, що в СКП сучасних ЛА використовуються високоефективні повітряні фільтри, головні характеристики яких – ефективність уловлювання часток 99,97 % (клас фільтра H14) і точка *MPPS*. Оскільки ефективність роботи повітряних фільтрів H14 знижується в діапазоні розміру часток від 0,1 до 0,4 мкм, даний клас фільтрів не призначений захоплювати частки, співвідносні з розмірами вірусів.

Проаналізовано рух повітря в салоні середньофюзеляжних та широкофюзеляжних літаків. Повітряні потоки для кондиціонування салону літака подаються у верхній частині фюзеляжу та відводяться у нижній. Рух повітря в салоні літака «зверху донизу» та додаткові перешкоди забезпечують турбулізацію та утворення хаотичних вихрів, які сприяють поширенню МО серед пасажирів.

### РОЗДІЛ 3

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Провівши ретельний аналіз стану біобезпеки пасажирських перевезень сучасними літаками, можна дійти висновку, що її рівень незадовільний. Саме завдяки авіаційному транспорту відбулося стрімке поширення коронавірусної інфекції, що спричинило світову пандемію. Як свідчать наукові літературні джерела, авіаційні пасажирські перевезення завжди сприяють поширенню ГРВІ, але оскільки наслідки цієї проблеми були незначні, питаннями біобезпеки перебування пасажирів на борту літака особливо ніхто не переймався.

Підвищити рівень біобезпеки під час перебування пасажирів на борту літака можливо завдяки реалізації таких дій:

- удосконалення повітряних потоків у салоні літака;
- ефективне очищення рециркуляційного повітря в салоні літака;
- швидка ідентифікація патогенних мікроорганізмів у рециркуляційному повітрі.

Метою удосконалення руху повітряних потоків у салоні пасажирського літака є створення умов руху повітря, за якого поширення патогенних МО повітряно-крапельним шляхом між окремими пасажирами не відбувається.

Щоб запобігти багаторазовим повторним контактам пасажирів з можливими патогенними МО, система кондиціонування повітря повинна гарантовано очищати циркуляційне повітря від наявних у ньому МО.

Досягнення найвищого рівня біобезпеки пов'язане з повним контролем поширення МО в оточуючому просторі, саме для цього при здійсненні пасажирських авіаперевезень бажаними є швидка ідентифікація МО, визначення їх патогенності та вжиття належних заходів щодо запобігання поширенню.

### 3.1. Обґрунтування зміни напрямку руху повітряних потоків

Існуюча схема подачі повітря в салоні літака передбачає створення вертикальних потоків повітря, спрямованих зверху донизу. Головне призначення повітряного потоку в салоні літака полягає в тому, щоб підводити до людини повітря з необхідними параметрами та швидко відводити видихуване повітря в систему очищення. Для цих двох процесів бажаною є проточність, тобто підведення свіжого та відведення видихуваного повітря відбувається одночасно в одному напрямку. Підведення повітря у верхній частині салону та відведення у нижній є недоречними, з погляду фізіологічних властивостей організму пасажирів, а саме безперервного виділення тепла у довкілля [6].

Теплообмін між організмом людини та навколишнім середовищем описується явищем природної конвекції. Теплообмін у процесі життєдіяльності організму людини відбувається переважно завдяки випаровуванню вологи з поверхні тіла, та теплопровідності (рис. 3.1). Отримання енергії людиною відбувається внаслідок хімічного окиснення речовин, які людина отримує разом з їжею [27; 32; 33].

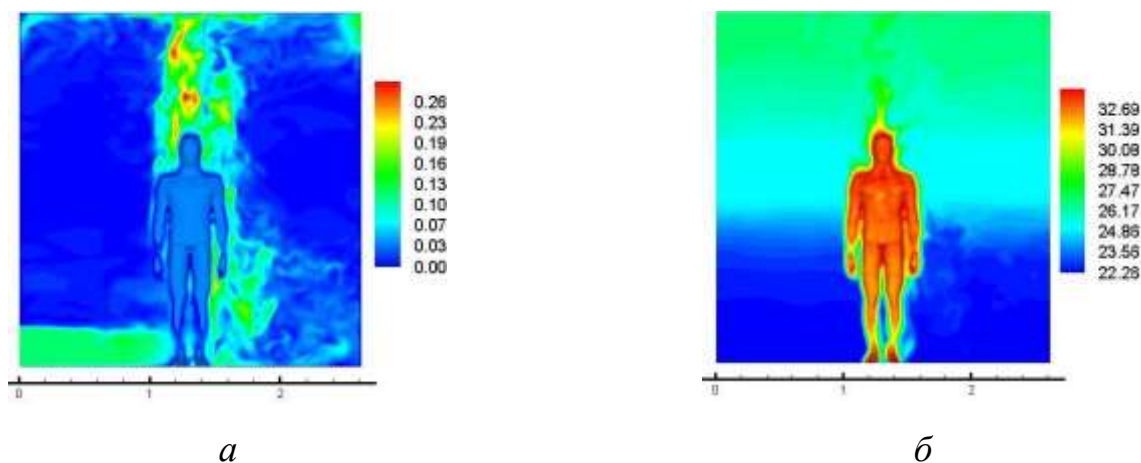


Рис. 3.1. Візуалізація процесу теплообміну між організмом людини та навколишнім середовищем: *a* – вертикальна швидкість потоку повітря природної конвекції, м/с; *б* – температурне поле людини в оточуючому просторі, °С [32]

На рис. 3.1 показано, що температура оточуючого людину повітря може підвищуватися завдяки теплообміну до значень 27 – 28 °С, при цьому швидкість потоків повітря, що виникли завдяки природній конвекції, в середньому становить 0,16 – 0,19 м/с. Під час природної конвекції більш нагріте повітря стає менш щільним та легшим, унаслідок чого відбувається висхідний рух (тепле повітря піднімається вгору). Охолоджуючись, повітря, навпаки, стає більш щільним, тому відбувається рух повітря донизу. Конвективний теплообмін (спостерігається в рухомому середовищі) – це перенесення теплоти, зумовлене переміщенням макроскопічних об'ємів середовища в просторі, що супроводжується теплопровідністю [32; 34].

Повітря, що омиває тіло людини, нагрівається. Повітря, що нагрілося від тіла людини, має вищу температуру ніж повітря, що подається до салону плюс 10 °С, тому відповідно до конвективного теплообміну воно змушене рухатися вгору, захоплюючи із собою частки, які виділяються з тіла людини, та краплі аерозоллю видихуваного повітря. Нисхідні потоки повітря сучасних СКП та висхідні потоки від тіла спрямовані назустріч один одному, саме тому відбуваються їх зіткнення, зміна траєкторії та завихрення. Унаслідок утворення таких повітряних течій з'являється турбулентність, яка сприяє збільшенню часу перебування повітря в салоні, зменшуючи кратність циркуляції та збільшуючи ймовірність контакту часток та крапель видихуваного повітря з іншими пасажирями. Наявні в салоні літака перешкоди, такі як сидіння, особисті речі також сприяють турбулізації повітряних потоків та хаотичному їх переміщенню. Моделювання руху повітряних потоків та їх завихрення показано на рис. 3.2.



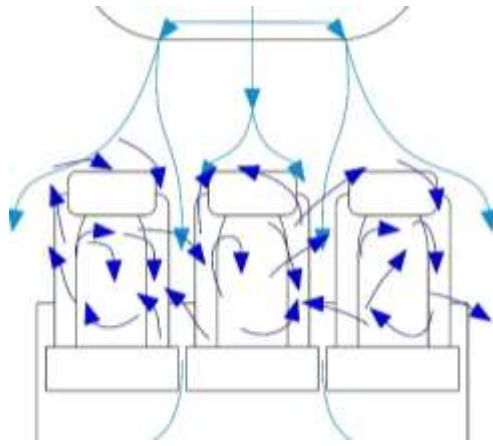


Рис. 3.2. Схематичне зображення турбулізації повітряних потоків

Для зменшення турбулізації повітряних потоків, унеможливлення їх неконтрольованого переміщення між пасажирами та забезпечення сприятливих умов для природного конвективного руху нагрітого повітря запропоновано змінити напрямки потоків повітря в салоні літака на протилежні – знизу вгору (рис. 3.3). Циркуляція повітря знизу вгору дозволить уникнути ефекту завихрення, зіткнення повітряних потоків та забезпечить якісне виведення з салону аерозолів, в якому можуть міститися МО.

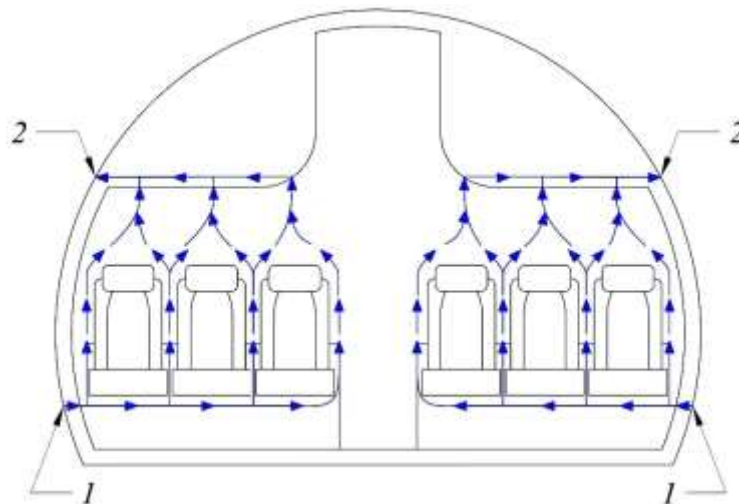


Рис. 3.3. Схема удосконаленої вертикальної подачі повітря на *Airbus-320* та *Boeing-737* (вузькофюзеляжні літаки): 1 – місця подачі повітря в салон; 2 – місце відбору повітря із салону

У запропонованій удосконаленій схемі циркуляції подача повітря відбувається із повітропроводів, розташованих під кріслами сидінь. Повітря в салон потрапляє між сидіннями через відповідні елементи, розміщені з обох боків сидіння кожного пасажира. Така схема повітряних потоків забезпечить аерацію для кожного пасажира окремо. Запропонована прямотечійна схема дає змогу уникнути перешкод при циркуляції повітря на борту літака, завдяки чому відбувається вільне виведення забрудненого рециркульованого повітря за межі салону літака у верхній частині літака (див. рис. 3.3, поз. 2).

### **3.2. Удосконалення процесів очищення повітря від мікроорганізмів**

Не менш важливим процесом удосконалення системи кондиціонування повітря є ефективне очищення циркуляційного повітря системи кондиціонування ЛА. Головним завданням стерилізації повітря в салоні літака є затримання або знешкодження МО. Для удосконалення системи стерилізації повітря на борту літака необхідно розглянути та охарактеризувати існуючі методи його стерилізації та обрати найефективніших.

#### **3.2.1. Існуючі заходи стерилізації повітря**

Одним з основних завдань, вирішення якого дозволить підвищити рівень біобезпеки перебування пасажирів у салоні ЛА, є знешкодження МО, які може виділяти переносник захворювання. До основних заходів дезінфекції замкнених приміщень, що дозволяють знешкодити МО, які знаходяться у циркуляційному повітрі салону ЛА, належать:

- термічна обробка;
- хімічна обробка;
- обробка ультрафіолетом;
- використання фільтрів.

Термічна обробка полягає у підвищенні температури до значень, за яких МО не здатні існувати. Температура для знищення усіх МО повинна досягати плюс 180 °С, а час стерилізації – не менше однієї години. Даний метод стерилізації повітря можливо використовувати за умови кардинальної зміни СКП, що призведе до збільшення ваги літака та зменшення корисного навантаження. Для реалізації цього способу стерилізації повітря потрібно використовувати додаткові теплообмінники для нагрівання та охолодження повітря. Тривала витримка повітря взагалі є неможливою з урахуванням специфіки роботи СКП літальних апаратів. Використання термообробки повітря економічно не вигідне та складне для реалізації з урахуванням витрат та маси необхідного обладнання [35; 36].

Хімічна обробка менш ефективна за термічну. Вона полягає в обробці поверхонь та речовин розчинами, що містять дезінфікуючі засоби. Як засоби дезінфекції можуть бути застосовані такі речовини: етанол 70–90 %; засоби на основі хлору (наприклад, гіпохлорит – 0,1 %); перекис водню > 0,5 %. Проводити заходи дезінфекції всередині замкнених приміщень шляхом розпилювання дезінфікуючих засобів або фумігації для знищення МО не рекомендовано. Ці методи можуть бути неефективними за межами прямих зон обприскування. Хімічна обробка повітряного аерозолу також є недоцільною, оскільки потребує встановлення абсорберів, які зменшать корисне навантаження літака. Такий спосіб передбачає безпосередній контакт повітря з дезінфікуючою речовиною, яка може залишитися в повітрі та в подальшому потрапить у систему дихання людини. Проведення дезінфекційних заходів може створювати додаткові ризики ураження шкіри, слизових очей та дихальних шляхів пасажирів [35; 36].

Ультрафіолетові випромінювачі (УФВ) використовуються для дезінфекції повітря за відсутності людей. Всього виділяють три види ультрафіолетового опромінення, які залежать від довжини хвиль. Для дезінфекції приміщень застосовують UV-C, що характеризується короткохвильовим ультрафіолетом (УФ). Максимальна ефективність і знезараження досягається у променів 253,7–257,5 нм. Короткі хвилі УФ проникають усередину МО і впливають безпосередньо на їх ДНК і РНК. Відбувається руйнація генетичного матеріалу, внаслідок чого МО не здатні

до розмноження. На відміну від хімічної обробки дія УФВ не викликає звикання у МО. Знешкодження мікроорганізмів ультрафіолетом буде не ефективним на борту літака, адже воно розповсюджується лише на відкритих поверхнях. Наявність крісел сидінь, карманів для речей, полиць та інших не рівних поверхонь унеможлиблює ефективне знезараження МО на борту літака [36].

Використання ультрафіолету для обробки повітря безпосередньо на етапах обробки також є неможливим, з урахуванням великих об'ємів циркуляційного повітря, великої швидкості руху в повітропроводах та малого часу експозиції обробки ультрафіолетовим випромінюванням.

Метод фільтрації полягає в очищенні рециркульованого повітря у фільтрах перед подачею до салону літака. Система фільтрації включає в себе: фільтри грубої та тонкої очистки (для очищення повітря від включень великого розміру) та високоефективні *HEPA* та *ULPA* фільтри. Описаний спосіб стерилізації на сьогодні є найпоширенішим для очищення повітря. У СКП передбачена підсистема фільтрації повітря. Завдяки відсутності негативного впливу на організм людини, малій вазі та розмірам обладнання, фільтрування застосовують як основний метод очищення повітря безпосередньо під час авіаперевезень [6, 35].

Як уже було зазначено, для кожного фільтра існує розмір часток, який фільтр не здатен захопити («точка *MPPS*»). Але окрім даної характеристики, фільтри мають граничні межі захоплення розмірів аерозолі, тобто розміри, що є замалими для уловлювання часток фільтром жодним із описаних механізмів. Межі уловлювання *HEPA* та *ULPA* фільтрами залежно від розміру часток подані на рис. 3.4.

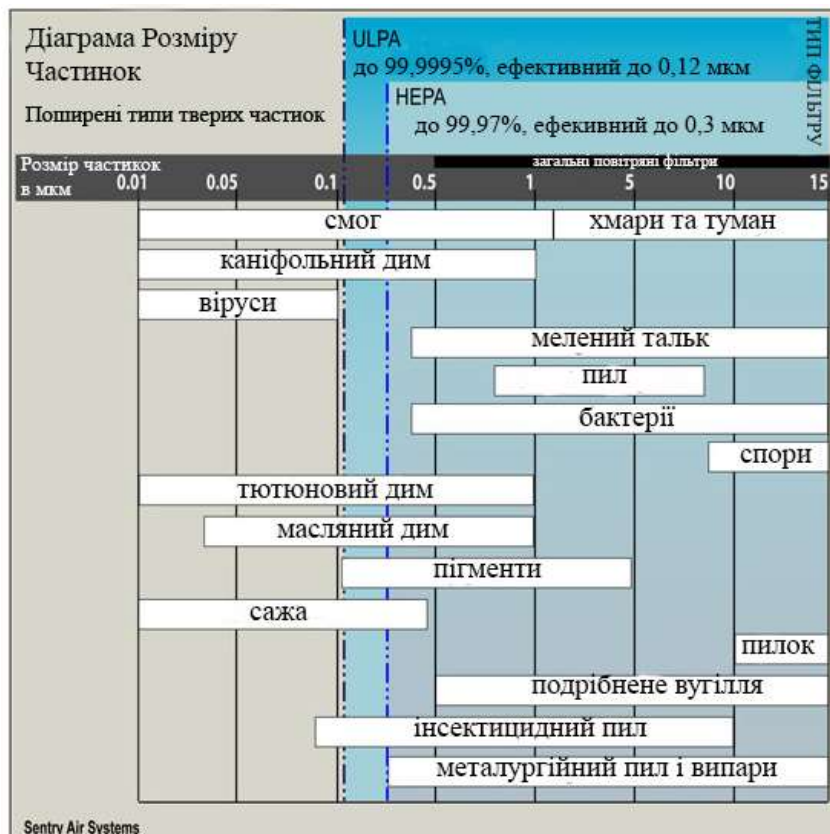


Рис. 3.4. Межі захоплення *HEPA* та *ULPA* фільтрів [29]

У розділі 1 було встановлено, що віруси грипу А та *COVID-19* мають менші розміри ніж 0,12 мкм, тобто вони не можуть захоплюватися високоефективними фільтрами що спричиняє високу ймовірність інфікування пасажирів.

### 3.2.2. Оновлення принципово-технологічної схеми для підвищення ефективності захоплення часток фільтрами

Оскільки за технічними характеристиками сучасні фільтри не здатні захоплювати частки розміром менше ніж 0,1 мкм, як удосконалення СКП потрібно реалізувати процеси, які забезпечать умови для уловлювання забрудників повітря відповідного розміру.

Для вирішення поставленої проблеми запропоновані зміни стадії рециркуляції повітря принципово-технологічної схеми СКП. Оновлена принципово-технологічна схема має додаткову підсистему насичення повітря вологою до значень відносної

вологості 100 %. Процес перенасичення повітря вологою призведе до збільшення розміру включень у повітрі завдяки конденсації води на їх поверхнях. Запропонований процес забезпечить створення умов для інтенсивної конденсації водяної пари в рециркуляційному повітрі.

Конденсація – процес переходу насиченої водяної пари в рідину. Реалізація даного процесу можлива за умови примусового перенасичення повітря вологою, або зниження його температури до значень нижче точки роси за відповідних значень вологи та температури. Точка роси – значення температури, за якої вода, що входить до складу аерозолу, досягає стану насичення та відбувається процес її конденсації [37].

Оскільки великий вміст води у повітрі, що проходить очищення, може мати негативний вплив на фільтри, запропоновано змінити порядок стадій проходження рециркульованого повітря. Удосконалену принципово-технологічну схему показано на рис. 3.5.

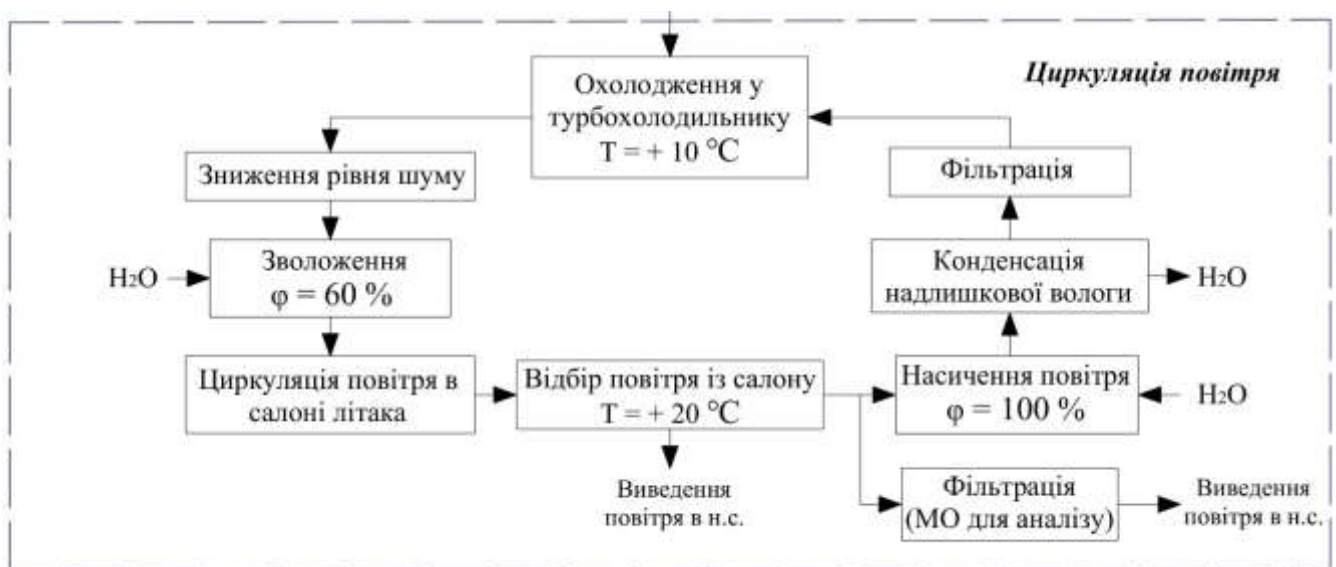


Рис. 3.5. Удосконалена принципово-технологічна схема циркуляції повітря у СКП

Після виходу повітря із салону відбувається насичення його водяною парою до значень вологості повітря 100 %. Досягнення умов для конденсації водяної пари забезпечить збільшення часток що містять МО. У разі збільшення маси частки та дії на неї сили тяжіння, або відцентрових сил, у повітряному потоці відбувається

відділення конденсату від повітря. На даному етапі сконденсована вода разом із МО утримується у вигляді крапель всередині конденсатора, а згодом виводиться з літака. Конденсація вологи, що міститься у повітрі, відбувається до значень вологості 20...30 %.

Наступним етапом очищення повітря є подача повітря до підсистеми фільтрації для уловлювання часток, які не утрималися під час конденсації. Як відомо з наукових робіт, під час конденсації вологи в повітрі, разом з нею конденсується та в ній залишаються 99 % мікроорганізмів [38]. Запропонована технологія дозволить вловлювати включення аерозолі, що не здатні захопитися за існуючих заходів очищення.

### 3.2.3. Ідентифікація мікроорганізмів рециркульованого повітря

Після виведення повітря з салону 1 % повітря спрямовується через фільтр абсолютного очищення, здатний захопити МО розмірами менше ніж 0,1 мкм. Цей процес допоможе встановити наявність патогенних МО, виведених з салону літака разом із повітрям.

Трекові фільтри – це вид фільтрів, що проводять очищення за допомогою трекових мембран. Трекова мембрана – це тонка полімерна плівка завтовшки близько 12...23 мкм, на поверхні якої знаходиться велика кількість отворів. Діаметр цих отворів варіюється в діапазоні від 0,05 до 5 мкм залежно від умов травлення. Такі мембрани виготовляються за допомогою бомбардування полімерної плівки високоенергетичними іонами кріптонію, які пробивають її наскрізь. У місцях проходження окремих іонів утворюються канали деструкції матеріалу, що мають називаються «треками» [39; 40].

Основною властивістю трекових фільтрів є висока селективність, тобто всі отвори мають однакові діаметри з можливим відхиленнями не більше ніж 5 %. Трекові мембрани у СКП пропонується використовувати для захоплення всіх часток та МО, які є у рециркуляційному повітрі, тому для даного процесу обрана мембрана з найменшим діаметром треків (0,05 мкм). Установлювати описану систему доречно

одразу після виведення повітря з салону літака, адже воно буде містити велику кількість часток із МО.

Ідентифікацію МО здійснюють із поверхні фільтра працівники лабораторії аеропорту після посадки літака. Оскільки для різних видів мікроорганізмів характерні відмінні методи ідентифікації, найбільш швидким та актуальним методом вважається мікроскопія. Враховуючи варіацію розмірів МО, доцільно виконувати як світлову, так і електронну мікроскопію, що дозволить виявити збудників захворювань у досліджуваному зразку. Удосконалення СКП введенням елементів для ідентифікації складу повітря дозволяє застосувати належні дії щодо поширення патогенних мікроорганізмів для зменшення вірогідності інфікування [23].

### **3.3. Висновки до розділу**

Провівши ретельний аналіз стану біобезпеки пасажирських перевезень сучасними літаками, можна дійти висновку, що його рівень незадовільний. Підвищити рівень біобезпеки під час перебування пасажирів на борту літака можливо завдяки: зміні напрямку руху повітряних потоків у салоні літака; ефективному очищенні рециркуляційного повітря салону літака; швидкій ідентифікації патогенних мікроорганізмів у рециркуляційному повітрі.

Запропонована та обґрунтована зміна повітряних потоків в салоні літака забезпечить прямотечійність висхідного конвекційного потоку від тіла людини та повітряного потоку, що підводиться до пасажира системою кондиціонування повітря. Подана схема повітряних потоків унеможливить їх турбулізацію та створить сприятливі умови для швидкого винесення часток за межі салону.

Запропоновано змінити принципово-технологічну схему та ввести підсистему насичення повітря водяною парою до значень 100 % для подальшої її конденсації ( $\varphi = 20...30 \%$ ). Фазовий перехід водяної пари з газоподібного стану в рідкий супроводжується утворенням крапель на осередках конденсації – часток у повітрі. Оскільки на частках, що містяться в циркуляційному повітрі, знаходяться МО,



конденсація водяної пари у повітря забезпечить його очищення від патогенних мікроорганізмів. За інформацією наукових джерел ефективність уловлювання МО завдяки конденсації надлишкової вологи в повітря становить 99 %.

Для ідентифікації мікроорганізмів запропоновано в СКП ввести підсистему абсолютної фільтрації повітря, яка забезпечить накопичення та утримання всіх наявних МО в ньому. Наявність такого біологічного матеріалу дозволить систематизувати та ідентифікувати МО.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасні заходи забезпечення біобезпеки авіаційних перевезень. Встановлено, що на рівень біобезпеки пасажирів під час перельоту суттєво впливає СКП. До узагальнених заходів запобігання поширенню МО під час пасажирських перевезень, належать: наявність маски та антисептичних засобів, фізичне дистанціювання, надання переваги безконтактним процесам реєстрації та дезінфекція обладнання працівниками аеропортів.

2. Встановлено та охарактеризовано патогенні мікроорганізми, які розповсюджуються повітряно-крапельним механізмом. На борту літака між пасажирами патогенні МО можуть поширюватись у декілька способів: через контакти з поверхнями, через їжу, через контакт між пасажирами та повітряно-крапельним шляхом. До найрозповсюдженіших МО відносять: *COVID-19*, вірус грипу А, паличку Коха, *Corynebacterium diphtheriae*, *Neisseria meningitidis*, *Ebolavirus*, *Varicella-zostervirus*. Найважливішою характеристикою мікроорганізмів, з погляду очищення повітря фільтрами, є їх розміри.

3. Проведено аналіз систем кондиціонування повітря сучасних пасажирських ЛА, визначені основні характеристики її роботи та особливості підготовки повітря перед подачею в салон. Встановлені основні параметри повітря перед подачею до салону, а саме: температура, тиск, відносна вологість та кратність повітрообміну. З'ясовано, що в СКП сучасних ЛА використовуються вискоефективні повітряні фільтри, головними характеристиками яких є ефективність уловлювання часток 99,97 % (клас фільтра H14) та точка *MPPS*. Оскільки ефективність роботи повітряних фільтрів H14 знижується в діапазоні розміру часток від 0,1 до 0,4 мкм, даний клас фільтрів не призначений захоплювати частки, співвідносні з розмірами вірусів.

4. Запропоновано та обґрунтовано зміну повітряних потоків у салоні літака, яка забезпечить прямотечійність висхідного конвекційного потоку від тіла людини та повітряного потоку, що підводиться до пасажира системою кондиціонування

повітря. Подана схема повітряних потоків унеможливить їх турбулізацію та створить сприятливі умови швидкого винесення часток за межі салону.

Запропоновано змінити принципово-технологічну схему СКП та ввести в неї підсистему насичення повітря вологою до значень 100 % для подальшої її конденсації ( $\varphi = 20...30 \%$ ). Фазовий перехід водяної пари з газоподібного стану в рідкий супроводжується утворенням крапель на осередках конденсації – частках у повітрі, Оскільки на частках що містяться в циркуляційному повітрі, знаходяться МО, конденсація водяної пари повітря забезпечить очищення його від патогенних мікроорганізмів, За інформацією наукових джерел ефективність уловлювання МО завдяки конденсації надлишкової вологи в повітря становить 99 %.

Для ідентифікації мікроорганізмів запропоновано в СКП ввести підсистему абсолютної фільтрації повітря, яка забезпечить накопичення та утримання всіх наявних МО в ньому. Наявність такого біологічного матеріалу дозволить систематизувати та ідентифікувати МО.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cabin Air Quality [Електронний ресурс] // IATA. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iata.org/en/youandiata/travelers/health/cabin-air/>
2. Авіаційний транспорт [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://vue.gov.ua/Авіаційний\\_транспорт#.D0.9C.D1.96.D1.81.D1.86.D0.B5\\_.D0.B0.D0.B2.D1.96.D0.B0.D1.86.D1.96.D0.B9.D0.BD.D0.BE.D0.B3.D0.BE\\_.D1.82.D1.80.D0.B0.D0.BD.D1.81.D0.BF.D0.BE.D1.80.D1.82.D1.83\\_.D0.B2\\_.D1.81.D0.B2.D1.96.D1.82.D0.BE.D0.B2.D1.96.D0.B9\\_.D1.82.D1.80.D0.B0.D0.BD.D1.81.D0.BF.D0.BE.D1.80.D1.82.D0.BD.D1.96.D0.B9\\_.D1.81.D0.B8.D1.81.D1.82.D0.B5.D0.BC.D1.96](https://vue.gov.ua/Авіаційний_транспорт#.D0.9C.D1.96.D1.81.D1.86.D0.B5_.D0.B0.D0.B2.D1.96.D0.B0.D1.86.D1.96.D0.B9.D0.BD.D0.BE.D0.B3.D0.BE_.D1.82.D1.80.D0.B0.D0.BD.D1.81.D0.BF.D0.BE.D1.80.D1.82.D1.83_.D0.B2_.D1.81.D0.B2.D1.96.D1.82.D0.BE.D0.B2.D1.96.D0.B9_.D1.82.D1.80.D0.B0.D0.BD.D1.81.D0.BF.D0.BE.D1.80.D1.82.D0.BD.D1.96.D0.B9_.D1.81.D0.B8.D1.81.D1.82.D0.B5.D0.BC.D1.96).
3. Методичні рекомендації до дисципліни «Віруси і біобезпека» кафедри вірусології для студентів денної форми навчання ННЦ «Інститут біології та медицини» / Упорядник: О.М. Андрійчук – Київ.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017. – 34 с.
4. Behaviors, movements, and transmission of droplet-mediated respiratory diseases during transcontinental airline flights [Електронний ресурс] // National Library of Medicine. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29555754/>.
5. Салига Ю. Т. Основи біобезпеки для науково-дослідних установ біологічного профілю / Ю. Т. Салига, І. В. Лучка, В. П. Росаловський– Львів: Растр-7, 2017. – 218 с.
6. Проектирование Авиационных систем кондиционирования воздуха / Н. В. Антонова, Е. Е. Егоров, Ю. М. Петров, Л. Д. Дубровин– Москва: Машиностроение, 2006. – 384 с.
7. Взаємодія мікроорганізмів з навколишнім середовищем. Мікробіота ротової порожнини людини : навч. посібник з мікробіології для студентів-стоматологів II-III курсу мед ф-ту / О. В. Войтович [та ін.]. – Запоріжжя : [ЗДМУ], 2015. – 86 с.

8. Andrew T. Pavia. Germs on a Plane: Aircraft, International Travel, and the Global Spread of Disease [Електронний ресурс] / Andrew T. Pavia // The Journal of Infectious Diseases. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <https://academic.oup.com/jid/article/195/5/621/841980>.
9. Гудзь С. П. Вірусологія / С. П. Гудзь, Т. Б. Перетятко – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 536 с.
10. Coronavirus [Електронний ресурс] // WorldHealthOrganization. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1).
11. Генералов И. И. Медицинская вирусология / И. И. Генералов– Витебск: ВГМУ, 2017. – 307 с.
12. Крапельні інфекції [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://hokib.com.ua/page/krapelni-infektsii>.
13. Туберкульоз виліковний, якщо виявлений своєчасно [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://20pol.city.kharkov.ua/туберкульоз-виліковний-якщо-виявлен/>.
14. Інфекційні захворювання [Електронний ресурс] // Центр громадського здоров'я МОЗ України – Режим доступу до ресурсу: <https://www.phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/inshi-infekciyni-zakhvoryuvannya>.
15. Воронин Г. И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах / Г. И. Воронин. – Москва: Машиностроение, 1973. – 444 с.
16. Корнеев В. М. Конструкция и основы эксплуатации летательных аппаратов: конспект лекции / В. М. Корнеев– Ульяновск: УВАУ ГА(и), 2009. – 130 с.
17. Буріченко Л. А. Охорона праці в авіації / Л. А. Буріченко, В. Д. Гулевець. – Київ: НАУ, 2003. – 448 с.
18. How flying seriously messes with your mind [Електронний ресурс] // BBC. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/future/article/20170919-how-flying-seriously-messes-with-your-mind>.

19. Антипенко И. Н. Эксплуатация систем кондиционирования воздуха пассажирских самолетов / И. Н. Антипенко, Н. В. Данилов, В. И. Кузнецов – Москва: Транспорт, 1974. – 136 с.
20. Кравченко А. Г. Обзор основных агрегатов систем кондиционирования воздуха летательных аппаратов / А. Г. Кравченко // Техника. Технологии. Инженерия № 3. – 2017. – с. 24 – 26
21. Воронин Г. И. Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования / Г. И. Воронин. – Москва: Машиностроение, 1978. – 543 с.
22. Кондиціювання та вентиляція повітря: текст лекцій / Е. Г. Братута, А. М. Ганжа, О. В. Круглякова, В. В. Чубарова –Харків : НТУ «ХП», 2009. – 128 с.
23. Ястремська Л. С. Загальна мікробіологія і вірусологія: навч. посібник / Л. С. Ястремська, І. М. Малиновська. – Київ: НАУ, 2017. – 232 с.
24. Климанов И. А. Механизмы формирования конденсата выдыхаемого воздуха и маркеры оксидативного стресса при патологиях респираторного тракта [Электронный ресурс] / И. А. Климанов, С. К. Соодаева– 2009. – Режим доступа до ресурсу: <https://journal.pulmonology.ru/pulm/article/viewFile/1539/1162>.
25. Фізіологія дихальної системи. Зовнішнє дихання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.medcollege.te.ua/sayt1/Lecturs/Lekcia%20n\\_fiziologia/Lekcia%20n\\_fiziologia\\_UKR/Fiziologia%20dih.htm](http://www.medcollege.te.ua/sayt1/Lecturs/Lekcia%20n_fiziologia/Lekcia%20n_fiziologia_UKR/Fiziologia%20dih.htm).
26. Антонюк В. С. Біофізика і біомеханіка / В. С. Антонюк, М. О. Бондаренко, Г. В. Канашевич. – Київ: Політехніка, 2012. – 344 с.
27. Чистые помещения / Федотов А. Е., Шихт Г. Г., Абрамов А. А., Капусняк В. А. – Москва: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
28. Фільтри повітряні високоефективні (ЕРА, НЕРА і ULPA). Ч. 1. Класифікація, випробування експлуатаційних характеристик, маркування: ДСТУ EN 1822-1:2019. – [Чинний від 01.01.2020]. – К.: Державний Стандарт України, 2019. – 20 с.
29. HEPA Filters and ULPA Filters Information [Електронний ресурс] // Engineering 360 – Режим доступу до ресурсу:

[https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/filtration\\_separation\\_products/hepa\\_filters\\_ulpa\\_filters](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/filtration_separation_products/hepa_filters_ulpa_filters).

30. Классификация фильтров согласно стандартам EN 779 и EN 1822 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.emw.de/ru/filter-campus/filter-classes.html>.

31. Булавин Д. О. Чистый воздух с экономическими выгодами [Электронный ресурс] / Д. О. Булавин – Режим доступа до ресурсу: [http://www.проф2.рф/montazh\\_vent/biblioteka\\_vent/chistii\\_vozduh/](http://www.проф2.рф/montazh_vent/biblioteka_vent/chistii_vozduh/).

32. Contaminant Transport [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mae.ncsu.edu/cfd/contaminant-transport/>.

33. Спіфанов К. С. Тепломасообмін / К. С. Спіфанов, П. Г. Гакал. – Харків: ХАИ, 2020. – 137 с.

34. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Енергетичні установки» / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. А. Маляренко, І. О. Темнохуд– Х.: ХНАМГ, 2012 – 80 с.

35. Методичні вказівки до лабораторних робіт з технічної мікробіології для студентів напрямку підготовки 6091501 «Харчові технології та інженерія» / Уклад. О.В. Ващенко. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. –72 с.

36. Рекомендації щодо проведення очищення та дезінфекції поверхонь в закладах охорони здоров'я в умовах надання медичної допомоги хворим на коронавірусну хворобу (COVID-19) [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://moz.gov.ua/uploads/4/24585-dodatok9.pdf>.

37. Береснев С. А. Физика атмосферных аэрозолей / С. А. Береснев, В. И. Грязин– Екатеринбург: Урал, 2010. – 227 с.

38. Калунянц К. А. Микробные ферментные препараты / К. А. Калунянц, Л. И. Голгер– Москва: Пищевая промышленность, 1979. – 302 с.

39. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси. – Москва: БИНОМ, 2008. – 134 с.

40. Использование ускорительной техники для изготовления ядерных мембран / Г. Н. Флёрв, П. Ю. Апель, А. Ю. Дидык, В. И. Кузнецов // Атомная энергия. – 1989. – №4. – С. 274 – 280.