

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія аеронавігації**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Можливості та обмеження людини»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Аеронавігація**  
272 Авіаційний транспорт

за ТЕМОЮ № 3 – Основи фізіології польоту

**Винниця 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.03.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації,  
протокол від 29.06.2023 р. № 14

**Розробник:**

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст 2-й категорії Ємець В.В.

**Рецензенти:**

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор Тягній В.Г.
2. Професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф

**План лекції:**

1. Основи фізіології польоту
2. Атмосфера
3. Дихальна система і система кровообігу людини
4. Герметизація і розгерметизація повітряного судна
5. Фактори, що впливають на якість внутрішнього повітря в літаках
6. Гіпоксія, симптоми, період активного свідомості
7. Прискорення (перевантаження).

**Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті****Основна:**

1. Бабак В.П., Харченко В.П., Максимов В.О. та ін. Безпека авіації – К.: Техніка, 2004.
2. Повітряний кодекс України. Постанова Верховної Ради. Керівний документ. Київ, 2011 р.

**Додаткова:**

1. Аналіз стану аварійності в ЦА 2007-2014 р., Державіаслужба, Київ, 2014 р.
2. Інформаційні бюлетені з БП (поточні). Державіаслужба, Київ
3. Стан аварійності на транспорті за 2009 р., МІУ, Директорат з безпеки на транспорті. с.53 - 56. (<https://mtu.gov.ua/files/bezpeka/>)
4. Правила розслідування АП з цивільними ПС в Україні. Державіаслужба. Наказ № 565 від 03.08.2005, Київ, 2005

## Текст лекції

### 1. Основи фізіології польоту

Праця льотчика протікає в незвичайних, а часом в надзвичайних умовах. На нього систематично впливають фізичні і нервово-психічні навантаження. Щоб успішно справлятися з усіма труднощами льотної діяльності, льотчику необхідно зберігати високу працездатність в польоті, постійно підтримувати відповідне психофізіологічний стан організму, володіти необхідними фізичними і психічними якостями, бути психологічно готовим до виконання складної діяльності.

Все це в сукупності можна об'єднати поняттям «льотна форма», яку слід зберігати на високому рівні, що відповідає даній льотній навантаженні і завданням польотів. Для цього, повинні використовуватися всі сучасні знання про здоров'я, фізичний розвиток, профілактиці захворювань, про форми і способи раціональної поведінки в житті і в процесі професійної діяльності, про формування необхідного психологічного складу особистості і управління своїм нервово-психічним станом.

**Авіаційна фізіологія** вивчає реакції організму на вплив таких чинників польоту, як висота, перепади барометричного тиску, прискорення, шум, вібрація.

Вона встановлює межі адаптації організму до цих чинників і розробляє заходи щодо запобігання або зменшення їх несприятливого впливу.

Підйом на висоту супроводжується зниженням загального барометричного (атмосферного) тиску і парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі.

Починаючи з  $H=2000$  м, людина відчуває кисневе голодування, що супроводжується складним симптомокомплексом фізіологічних а в подальшому і патологічних зраді ний в організмі. Для попередження порушення працездатності і здоров'я членів екіпажу і пасажирів, починаючи з висоти 2000 - 3000 м, необхідно збільшувати вміст кисню у вдихуваному повітрі.

Найкращим способом забезпечення висотних польотів є застосування герметичних кабін. При розгерметизації кабіни літального апарату на висоті 7000 м і більше, на організм впливає також перепад барометричного тиску (декомпресія), викликаючи декомпресійну хворобу.

На висоті понад 19 км можливо «кипіння» тканинних рідин і поява підшкірної емфіземи на незахищених ділянках тіла.

#### *1.1 Характеристика шкідливих факторів праці членів екіпажів ПС ГА*

До шкідливих факторів праці членів екіпажів ПС ГА, що викликають негативні зміни, що впливає на професійне здоров'я, професійну працездатність, безпеку польотів, слід віднести:

- високі рівні авіаційних шумів;
- підвищені рівні загальної вібрації;
- коливання атмосферного тиску при зльотах, посадках, наборі висоті і на зниженні;
- знижений парціальний тиск кисню в кабінах (гіпоксія);
- температурний дискомфорт в кабінах;

- незадовільний фізичний і хімічний склад вдихуваного повітря;
- підвищене радіаційне (фонове) опромінення;
- підвищені електромагнітні поля;
- бовтанки в повітряному середовищі;
- впливу знакозмінних перевантажень;
- СВЧ-випромінювання від наземного і бортового обладнання.

### *1.2 Фактори що впливають на організм людини в польоті:*

1. Знижений атмосферний тиск (630-567 мм рт. ст., що відповідає висоті 1.600-2.400 метрів над рівнем моря)
2. Іонізуюча радіація (рівень підвищується зі збільшенням висоти)
3. Шум двигунів
4. Прискорення
5. Вібрація
6. Знижений парціальний тиск кисню
7. Низька вологість повітря в салоні (близько 20%)
8. Перетин декількох часових поясів (перельоти на схід переносяться важче, ніж на захід)
9. Гіподинамія (стан зниженої рухової активності, обумовлене загальною м'язовою слабкістю в результаті обмеження руху при захворюванні)
10. Гіпокінезія (обмеження кількості і обсягу рухів, обумовлене способом життя, особливостями професійної діяльності, постільною режимом в період захворювання)

**У польоті, при певних умовах можливий розвиток таких станів і захворювань:**

1. Висотна хвороба (хворобливий стан, пов'язане з кисневим голодуванням внаслідок зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі)
2. Повітряна хвороба (порушення функцій і структури органів і систем, що виникають в умовах перебування людини на висоті)
3. Баротравма середнього вуха та придаткових порожнин носа
4. Висотна декомпресійна хвороба
5. Вібраційна хвороба
6. Висотний метеоризм
7. Висотні зубні болі
8. Десінхроноз - зміна різних фізіологічних і психічних функцій організму в результаті порушень ядбових ритмів його функціональних систем.
9. Венозний тромбоз (тромбоз мандрівників)
10. Стрес

## 2. Атмосфера

**Атмосфера** (від. грец. ἀτμός - пар і σφαῖρα - куля) - газова оболонка, що оточує планету Земля, одна з геосфер. Внутрішня її поверхня покриває гідросферу і частково земну кору, зовнішня межує з навколоземної частиною космічного простору.

Сукупність розділів фізики і хімії, які вивчають атмосферу, прийнято називати *фізикою атмосфери*. Атмосфера визначає погоду на поверхні Землі, вивченням погоди займається *метеорологія*, а тривалими варіаціями *клімату* - *кліматологія*.

Атмосфера Землі містить *кисень*, який використовується більшістю живих організмів для дихання, і *діоксид вуглецю*, споживаний рослинами, водоростями і ціанобактеріями в процесі фотосинтезу. Атмосфера також є захисним шаром планети, захищаючи її мешканців від сонячного ультрафіолетового випромінювання і метеоритів.

Атмосферою прийнято вважати ту область навколо Землі, в якій газове середовище обертається разом з Землею як єдине ціле; при такому визначенні атмосфера переходить в міжпланетний простір поступово, в *екзосфері*, що починається на висоті близько **1000 км** від поверхні Землі, межа атмосфери також може умовно проводитися по висоті в **1300 км**.

За визначенням, запропонованим Міжнародної Авіаційної Федерацією, межа атмосфери і космосу проводиться по *лінії Кармана*, яка розташована на висоті близько **100 км**, де аеронавтика стає повністю неможливою. NASA використовує в якості кордону атмосфери позначку в **122** кілометра; недавні експерименти уточнюють кордон атмосфери Землі і іоносфери, як що знаходиться на висоті **118 кілометрів**.

### 2.1 Фізичні властивості

Сумарна маса повітря в атмосфері -  $(5,1 \div 5,3) \cdot 10^{18} \text{ кг}$ . З них маса сухого повітря становить  $(5,1352 \pm 0,0003) \cdot 10^{18} \text{ кг}$ , загальна маса водяної пари в середньому дорівнює  $1,27 \cdot 10^{16} \text{ кг}$ .

Молярна маса чистого сухого повітря становить  $28,966 \text{ г/моль}$ , щільність повітря у поверхні моря приблизно дорівнює  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ;

тиск при  $0^\circ\text{C}$  на рівні моря становить  $101,325 \text{ кПа}$ ;

критична температура -  $140,7^\circ\text{C}$ ;

критичний тиск -  $3,7 \text{ МПа}$ ;

$C_p = 1,0048 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ ;  $C_v = 0,7159 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$  (при  $0^\circ\text{C}$ ).

Розчинність повітря у воді (по масі) при  $0^\circ\text{C}$  -  $0,0036\%$ , при  $25^\circ\text{C}$  -  $0,0023\%$ .

за «нормальні умови» біля поверхні Землі прийняті:

- щільність  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ;
- барометричний тиск  $101,35 \text{ кПа}$ ;
- температура  $+20^\circ\text{C}$
- відносна вологість  $50\%$ .

Ці умовні показники мають суто інженерне значення.

## 2.2 Склад і будова атмосфери

Атмосфера Землі виникла в результаті двох процесів: випаровування речовини космічних тіл при їх падінні на Землю і виділення газів при вулканічних виверженнях (дегазація земної мантії). З виділенням океанів і появою біосфери атмосфера змінювалася за рахунок газообміну з водою, рослинами, тваринами і продуктами їх розкладання в ґрунтах і болотах.

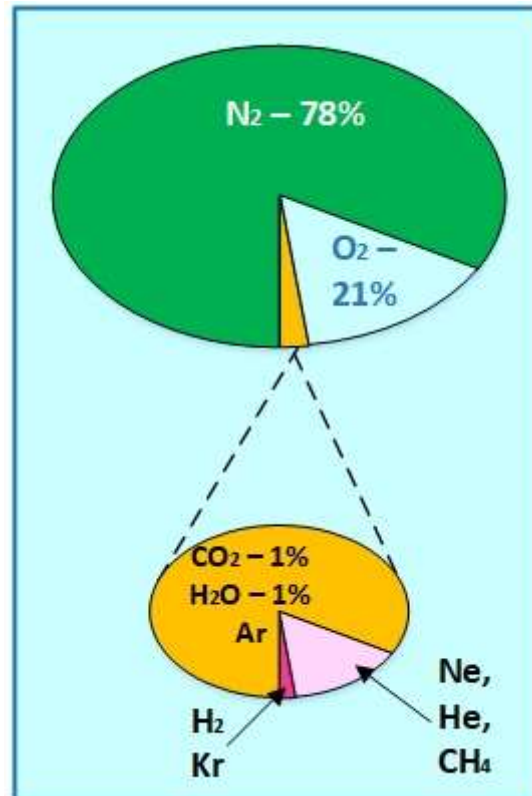


Рисунок 1. Склад атмосфери Землі

### Будова атмосфери

**Тропосфера** - її верхня межа знаходиться на **висоті 8-10 км** в полярних, **10-12 км** в помірних і **16-18 км** в тропічних широтах; взимку нижче, ніж влітку. Нижній, основний шар атмосфери містить більше 80% всієї маси атмосферного повітря і близько 90% всього наявного в атмосфері водяної пари. У тропосфері сильно розвинені **турбулентність** і **конвекція**, виникають **хмари**, розвиваються **циклони** і **антициклони**. Температура убуває з ростом висоти із середнім вертикальним **градієнтом** 0,65 °/100 м

**Тропопауза** - перехідний шар від тропосфери до стратосфери, шар атмосфери, в якому припиняється зниження температури з висотою.

**Стратосфера** - шар атмосфери, що розташовується на висоті від 11 до 50 км. Характерно незначна зміна температури в шарі **11-25 км** (нижній шар стратосфери) і підвищення її в шарі **25-40 км** від -56,5 до 0,8 °С (верхній шар стратосфери, або область **інверсії**). Досягнувши на висоті близько 40 км значення близько 273 К (майже 0°С), температура залишається постійною до висоти близько

55 км. Ця область постійної температури називається **стратопаузою** і є кордоном між стратосферою і **мезосферою**.

**Стратопауза** - прикордонний шар атмосфери між стратосферою і мезосферою. У вертикальному розподілі температури має місце максимум (близько 0°C).

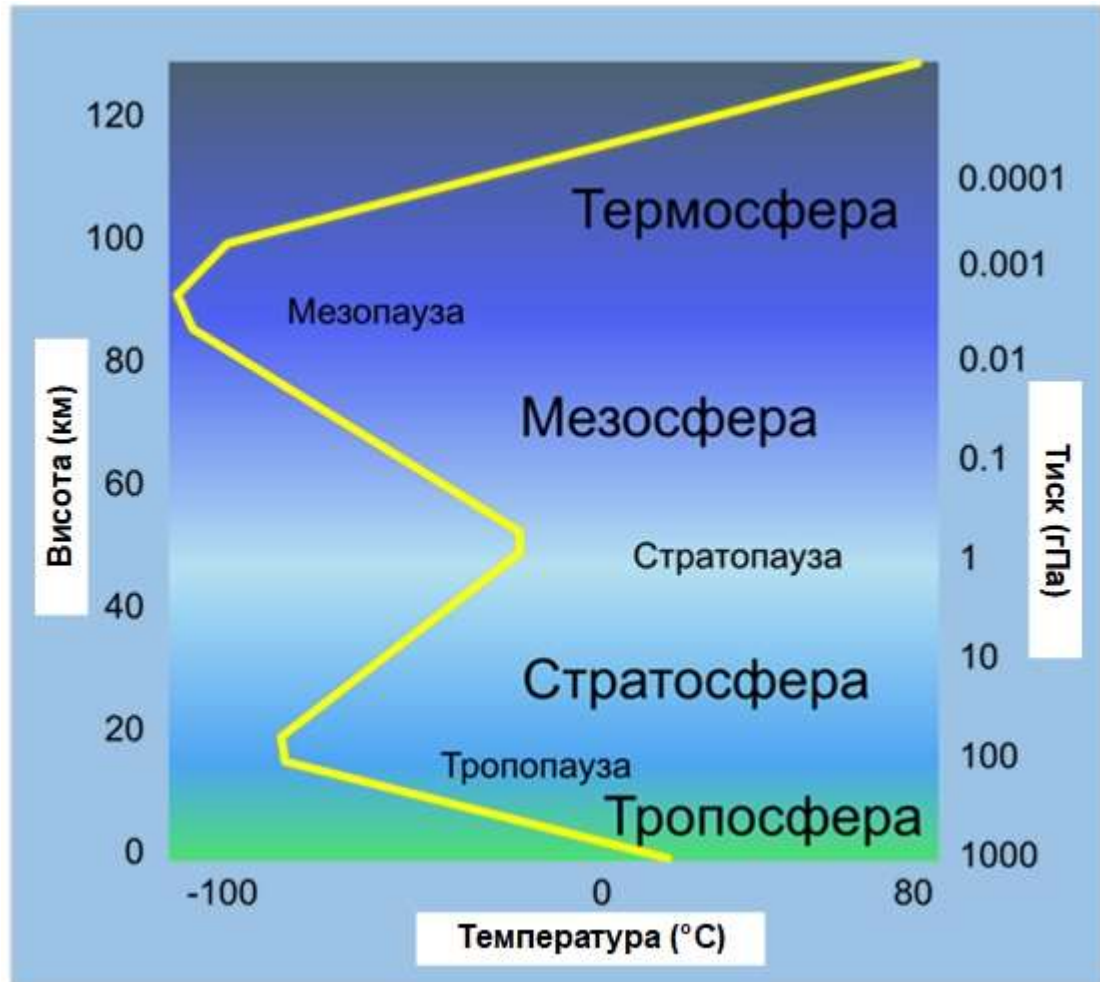


Рисунок 2. Будова атмосфери

### 3. Дихальна система і система кровообігу людини

#### 3.1 Дихальна система людини

Дихальна система - сукупність органів, що забезпечують функцію зовнішнього дихання людини (газообмін між вдихуваним атмосферним повітрям і циркулюючої по малому колі кровообігу кров'ю).

Газообмін здійснюється в альвеолах легких, і в нормі спрямований на захоплення з вдихуваного повітря кисню і виділення в зовнішнє середовище утвореного в організмі вуглекислого газу.

Доросла людина, перебуваючи в стані спокою, робить в середньому 14 дихальних рухів в хвилину, однак частота дихання може зазнавати значні коливання (від 10 до 18 за хвилину). Доросла людина робить 15-17 вдихів-видихів на хвилину, а новонароджена дитина робить 1 вдих в секунду. Вентиляція альвеол здійснюється чергуванням вдиху (інспірація) і видиху (експірація). При вдиху в альвеоли надходить атмосферне повітря, а при видиху з альвеол віддається повітря, насичене вуглекислим газом.



За способом розширення грудної клітини розрізняють два типи дихання:

- грудної тип дихання (розширення грудної клітки проводиться шляхом підняття ребер), частіше спостерігається у жінок;
- черевної тип дихання (розширення грудної клітки проводиться шляхом ущільнення діафрагми), частіше спостерігається у чоловіків.

### 3.2 Дихальні органи

Дихальні шляхи забезпечують зв'язку навколишнього середовища з головними органами дихальної системи – легенями.



Рисунок 3. Дихальна система людини

**Легені** (лат. *pulmo*, грец. *πνεύμων*) розташовані в грудній порожнині в оточенні кісток і м'язів грудної клітки. У легенях здійснюється газообмін між атмосферним повітрям, які досягли легеневих альвеол (паренхіми легенів), і кров'ю, що протікає по легеневих капілярах, які забезпечують надходження кисню в організм і видалення з нього газоподібних продуктів життєдіяльності, в тому числі - вуглекислого газу. Завдяки функціональній залишкової ємності (ФОЄ) легких в альвеолярному повітрі підтримується відносно постійне співвідношення вмісту кисню і вуглекислого газу, так як ФОЄ в кілька разів більше дихального обсягу (ДО).

Тільки 2/3 ДО досягає альвеол, який називається об'ємом альвеолярної вентиляції. Без зовнішнього дихання людський організм зазвичай може прожити до 5-7 хвилин (так звана **клінічна смерть**), після чого настають втрата свідомості, незворотні зміни в мозку і його смерть (**біологічна смерть**).

### 3.2 Система кровообігу людини

Напрямок руху крові регулюється клапанами серця. Кровообіг відбувається за двома основними шляхами, званими колами, з'єднаними в послідовний ланцюжок: малому і великому кровообігу.

*Циркуляція крові через серце:*

- *мале коло кровообігу* проходить через праве передсердя, правий шлуночок, легеневу артерію, судини легенів, легеневі вени; за малому колі кров циркулює через легені. Рух крові по цьому колу починається зі скорочення правого передсердя, після чого кров надходить в правий шлуночок серця, скорочення якого штовхає кров в легеневій стовбур;
- *велике коло* проходить через ліві передсердя і шлуночок, аорту, судини органів, верхню і нижню порожнисті вени.

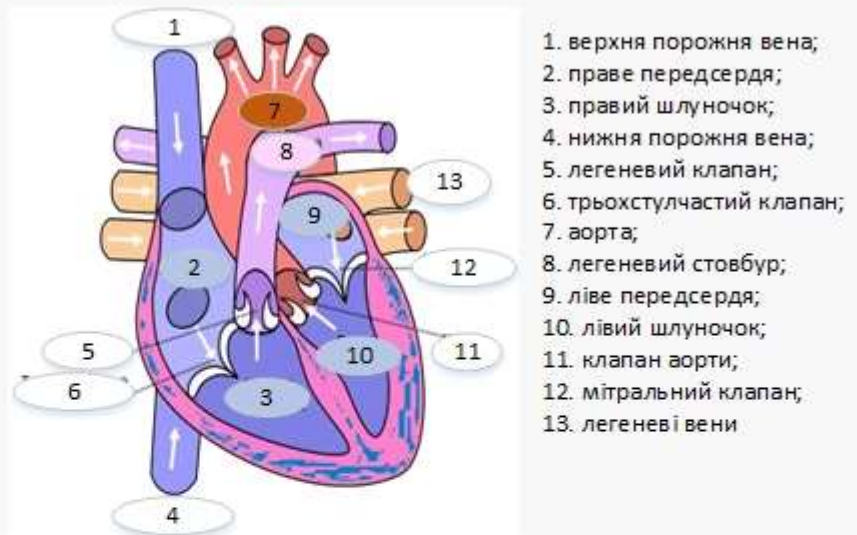


Рисунок 4. Циркуляція крові через серце людини

**Серце** людини являє собою порожнистий м'язовий орган, що складається з двох передсердь і двох шлуночків. Воно розташовується в грудній порожнині. Ліва і права сторони серця розділені суцільною м'язовою перегородкою.

Циркуляція крові в цьому напрямку регулюється передсердно-шлуночковою перегородкою і двома клапанами: трюхстулчастого (між правим передсердям і правим шлуночком), що запобігає повернення крові в передсердя, і клапаном легеневої артерії, що запобігає повернення крові з легеневого стовбура в правий шлуночок.

Легеневої стовбур розгалужується до мережі легеневих капілярів, Де кров насичується киснем за рахунок вентиляції легенів. Потім кров через легеневі вени повертається з легких в ліве передсердя.

Велике коло кровообігу забезпечує насиченої киснем кров'ю органи і тканини. Ліве передсердя скорочується одночасно з правим і штовхає кров в лівий шлуночок. З лівого шлуночка кров надходить в аорту. Аорта розгалужується на артерії і артеріоли, що йдуть в різні частини організму і закінчуються капілярної мережею в органах і тканинах. Циркуляція крові в цьому напрямку регулюється передсердно-шлуночковою перегородкою, двостулковим (мітральним) клапаном і клапаном аорти.

Таким чином, кров рухається по великому колу кровообігу від лівого шлуночка до правого передсердя, а потім по малому колу кровообігу від правого шлуночка до лівого передсердя.

Кров відіграє роль сполучного елемента, який забезпечує життєдіяльність кожного органу, кожної клітини. Завдяки кровообігу до всіх тканин і органів надходять кисень і виводяться продукти розпаду речовин. Крім того, кров підтримує постійну температуру тіла і захищає організм від шкідливих мікробів.

Кров - це рідка сполучна тканина, що складається з кров'яної плазми (приблизно 54% обсягу) і клітин (46% обсягу). Плазма - це жовтувата напівпрозора рідина, що містить 90-92% води і 8-10% білків, жирів, вуглеводів і деяких інших речовин.

З органів травлення в плазму крові надходять поживні речовини, які розносяться до всіх органів. Незважаючи на те, що з їжею в організм людини надходить велика кількість води і мінеральних солей, в крові підтримується постійна концентрація мінеральних речовин. Це досягається виділенням надлишкової кількості хімічних сполук через нирки, потові залози, легені.

Рух крові в організмі людини називається кровообігом. Безперервність струму крові забезпечують органи кровообігу, до яких відносяться серце і кровоносні судини. Вони складають кровоносну систему.

#### 4. Герметизація і розгерметизація повітряного судна

Повітряне судно при виконанні польотів на висоті вище 4200 метрів має бути повністю герметизований.

**Герметизація** - це режим в кабіні ПС, при якому в кабіні підтримується тиск, що перевищує атмосферний тиск. Це необхідно для компенсації зниження тиску з підйомом на висоту і дозволяє забезпечити нормальне дихання членів екіпажу і пасажирів. Здійснюється автоматично з кабіни екіпажу.

**Розгерметизація** - втрата герметичності корпусу або будь-якої системи літального апарату. Розгерметизація може бути штатною (при проведенні технічних робіт) і аварійної - непередбаченою внаслідок технічного дефекту, внутрішнього або зовнішнього впливу. Аварійна розгерметизація може бути дуже небезпечна, тому що при цьому в значній мірі порушується функція системи дихання. Зокрема, аварійна розгерметизація кабіни літака може призвести до загибелі екіпажу і пасажирів.

##### *Причини аварійної розгерметизації.*

Аварійну розгерметизацію можуть викликати як внутрішні, так і зовнішні чинники. До внутрішніх факторів можна віднести:

- виробничі дефекти, При яких герметичні деталі не можуть витримувати експлуатаційних навантажень;
- «людський фактор»- якісь дії екіпажу і пасажирів, навмисне або випадково порушили герметичність системи. Сюди ж слід віднести і стрілянину в салоні літака.

До зовнішніх факторів можна віднести:

- нештатна ситуація, при якій навантаження на систему виявляються вищими розрахункових. Наприклад - перевищення пілотом допустимого для літального апарату рівня перевантажень.
- зіткнення з птахом або іншим об'єктом в польоті.

**Розгерметизація** буває: вибухова, швидка, повільна.

**Вибухова** - падіння тиску в кабіні ПС відбувається менш ніж за 1 сек. (наприклад, при появі великого отвору в фюзеляжі).

**Швидка** - падіння тиску відбувається від 1 до 5 сек.

**Повільна** - може бути викликана незначною витіком повітря, наприклад, через ущільнення дверей і ілюмінаторів.

Ознаки повільної розгерметизації:

- дискомфорт у вухах;
- задишка;
- прискорене серцебиття;
- головний біль;
- запаморочення.

Відчуття поступового збільшення висоти польоту, в результаті випадуть кисневі маски.

**Довідка:** 14 серпня 2005 року в літаку Боїнг -737 кінрської авіакомпанії сталася поступова розгерметизація салону. Внаслідок втрати кисню люди перебували в розрідженій атмосфері, коли людина може дихати, але не отримує достатньо кисню, щоб перебувати в свідомості. Такий стан пілотів призвело до того, що літак став некерованим. В результаті зіткнення літака з горою на північ від Афін загинули всі 115 пасажирів, а також 6 членів екіпажу, які перебували на борту.

## **5. Фактори, що впливають на якість внутрішнього повітря в літаках**

Фактори, що впливають на якість внутрішнього повітря в літаках, можуть бути розбиті на п'ять категорій:

- тиск;
- вміст кисню;
- температура;
- вологість;
- концентрація забруднюючих речовин в повітрі.

Раптова зміна рівня одного або декількох з цих факторів або взаємодія між ними можуть викликати погіршення якості внутрішнього повітря і, отже, можуть негативно впливати на здоров'я пасажирів і екіпажу.

### **Тиск**

Так як на великій висоті щільність повітря дуже мала, що діє на літак сила опору також мала. Ця обставина робить ефективним політ на великих висотах.

З цієї причини для забезпечення безпеки екіпажу та пасажирів салони майже всіх комерційних літаків герметизовано. Чинний стандарт герметизації салонів літаків визначено НЛГС.

Згідно з цим стандартом, тиск в салоні при нормальних робочих умовах не повинно бути вище тиску на висоті 2 450 м. Якщо навіть тиск в салоні підтримується на постійному рівні, відповідному 2 450 м, це тиск нижче тиску на рівні моря.

Таке низький тиск може негативним чином позначатися на фізіології екіпажу і пасажирів. Знижений тиск викликає розширення бульбашок повітря, що знаходяться в клітинах тіла людини, що може бути причиною поганого самопочуття, а у людей з підвищеною чутливістю це може викликати більш серйозні загрози здоров'ю.

### **Кисень**

При сталому стані атмосфери величина атмосферного тиску на рівні моря дорівнює 760 мм ртутного стовпа. При цьому парціальний тиск кисню становить 160 мм ртутного стовпа (приблизно 21%). Але оскільки в цих умовах процентний вміст вуглекислого газу і водяної пари зростає, парціальний тиск кисню знижується приблизно до величини 105 мм ртутного стовпа. Таким чином, парціальний тиск, до якого звик людський організм, так само 105 мм ртутного стовпа. Якщо парціальний тиск кисню нижче цього рівня, надходження кисню в

кров знижується, і звичайний ритм організму людини порушується.

### **Температура**

Температура в салоні в більшій мірі впливає на комфорт летять в літаку людей. Однак разом з іншими фізичними та біологічними факторами вона може чинити негативний вплив і на здоров'я, тобто впливає на інтенсивність втрати рідини пасажирями і членами екіпажу.

Крім того, вологість, яка безпосередньо пов'язана з температурою, також впливає на тепловий комфорт.

Температура також впливає на сприйняття якості повітря. При зростанні температури повітря в приміщенні відчувається знаходяться там людьми як більш забруднений. Крім цього, температура істотно впливає на інтенсивність виділення летких органічних сполук (Volatile Organic Compounds - **VOС**), джерелами яких є тіло людини і матеріали салону. Отже, концентрація забруднюючих речовин в повітрі салону буде також зростати.

### **Вологість**

Відносна вологість повітря салону має дві важливі характеристики, що стосуються якості повітря: комфорт пасажирів і вплив на конструкцію літака і на безпеку польоту.

Висока відносна вологість (вище 70%), особливо при високій температурі, створює дискомфортну середу для пасажирів. У такій ситуації в салоні випадає конденсат, і краплі води можуть викликати корозію, яка може становити небезпеку для конструкції літака. Крім того, деякі небезпечні для людини біологічні організми можуть розмножуватися в умовах підвищеної вологості.

Вдосконалені системи ECS сучасних літаків осушують забортний повітря за допомогою віддільників вологи.

Таким чином, основними джерелами вологості в салоні є дихання пасажирів і випаровування з поверхні людського тіла. Змішуванням зовнішнього і рециркуляційного повітря з салону досягається відносна вологість близько 10-20%. Ці значення нижче показників, що задаються стандартами комфорту ..

### **Швидка декомпресія**

Швидка декомпресія відбувається повільніше, ніж за кілька секунд<sup>[4]</sup>, хоча тиск в легенях при видиху і при відкритих дихальних шляхах може падати все ж повільно, ніж в навколишньому середовищі. Ризик баротравми авіапасажирів практично відсутня, хоча теоретично зберігається ..

**Баротравма** (грец. βάρος - тяжкість і τραῦμα, - рана) - фізичне пошкодження органів тіла, викликане різницею тисків між зовнішнім середовищем (газ або рідина) і внутрішніми порожнинами.

Баротравми зазвичай виникають при зміні тиску навколишнього середовища, наприклад, при здійсненні зльоту або посадки літака, при вибухової декомпресії, а також в деяких інших випадках.

Пошкодження відбувається в тканинах навколо повітряних порожнин в тілі, тому що гази стискувані, а тканини - немає. При підвищенні або зниженні навколишнього тиску щодо внутрішнього, тканини тіла починають деформуватися,

компенсуючи різницю тисків. Дані деформації і можуть привести до травмування.

Комфортний тиск повітря в салоні літака під час перельоту підтримується компресорами і приблизно відповідає тиску атмосфери на висоті 2000-2500 метрів над рівнем моря (в залежності від моделі повітряного судна і висоти польоту). У зв'язку з тим, що існує різниця тисків в літаку у землі і на висоті, можливі хворобливі відчуття у вухах, синусах, зубах при наборі висоти або зниження.

Для усунення хворобливих відчуттів при польотах в літаках можна застосовувати:

- маневр Вальсальви<sup>1</sup>;
- смоктання льодяників;
- ковтання;
- питво будь-якої рідини дрібними ковтками;
- жування жуйки.

Органи і тканини, легко травмуються при баротравмі:

- середнє вухо;
- синуси (пазухи повітроносні);
- легкі;
- очі;
- шкіра;
- зуби.

## **6. Гіпоксія, симптоми, період активного свідомості**

Будь підйом на висоту (зміна барометричного тиску в бік зменшення) викликає певні зміни дихання в організмі людини.

Внаслідок падіння загального тиску і, особливо, зменшення парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі, значно ускладнюється процес дифузії (перехід кисню через тонкі стінки альвеол в кров, зв'язування його згемоглобіном і доставка до тканин). Недостатня доставка кисню до тканин, обумовлена зниженням парціального тиску альвеолярного повітря на великих висотах, викликає кисневе голодування (*гіпоксію*) і, відповідно, зниження функціонального рівня працездатності членів ЕПС, втрату пильності, погіршення уваги, недооцінку тимчасових інтервалів, збільшення кількості помилкових дій і т. п., що може призвести до часткового або повного неузгодженості ергатичній системи «ЕПС - ПС - зовнішнє середовище».

Після припинення надходження кисню до тканин працездатність людини ще більше погіршується, бо запаси кисню в організмі зникають порівняно швидко, а через 5 - 6 хв настає загроза життю.

---

<sup>1</sup> **Маневр Вальсави** — процедура вирівнювання тиску во внутрішніх порожнинах черепа (синусах, внутрішньому вухі, тощо) з тиском навколишнього середовища. Дії в ході процедури спрямовані на збільшення тиску в ковтку, щоб повітря могло пройти по евстахієвим трубам в порожнину середнього вуха. Маневр міститься в спробі зробити потужний видих при затисненому роті і носі і зімкнутих голосових зв'язках.



## 2.1 Вплив кисневого голодування на організм

З комплексу факторів висотного польоту, які можуть шкідливо діяти на організм людини, основними є зниження атмосферного тиску з підйомом на висоту і пов'язане з ним зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі. Однак обидва ці чинники по-різному впливають на організм і викликають різні за характером функціональні розлади. При цьому головну роль відіграє зниження парціального тиску кисню.

До інших несприятливих факторів висотного польоту відносяться:

- різкі перепади барометричного тиску;
- низька температура повітря;
- погіршення умов зорової орієнтування та ін.

**Гіпоксія** - це стан, при якому недолік кисню у вдихуваному повітрі призводить до зменшення його кількості в гемоглобіні крові. Коли такий недолік стає значним, за ним швидко слід втрата свідомості. У польоті вказане явище може відбуватися миттєво або поступово. Миттєве наступ гіпоксії вимагає негайної реакції екіпажу, а поступове - має спонукати екіпаж вжити відповідних заходів до того, як він може втратити свідомість.

Існують великі розбіжності у ставленні індивідуальної сприйнятливості до гіпоксії.

Крім збільшується брак кисню на великих висотах, будь-який чинник, що знижує здатність крові переносити кисень, може сприяти гіпоксії (анемії, окис вуглецю і певні лікарські препарати).

Крім того, алкоголь і деякі ліки знижують толерантність мозку до гіпоксії. У мозку немає вбудованої системи попередження, яка б інформувала про те, що він не отримує достатньої кількості кисню.

Неможливо передбачити, коли і де виникне гіпоксія під час даного польоту або яким чином вона проявиться.

Найбільш чутливими до кисневої недостатності є центральна нервова система, м'язи серця, тканини нирок, печінки.

**Основним раннім симптомом гіпоксії** є підвищене почуття благополуччя (зване ейфорією). Цей стан призводить до сповільненої реакції, ослаблення розумових здібностей, незвичайної стомленості і тупих головних болів.

Залежно від причин появи гіпоксія поділяється найчастіше на чотири форми:

**1. Гіпоксична** гіпоксія виникає як від зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, так і в результаті утруднення проникнення кисню в кров через дихальні шляхи, а також внаслідок розлади системи дихання.

**2. Гемічна** гіпоксія виникає, з одного боку, в результаті зниження і вмісту кисню як в артеріальній, так і в венозній крові (анемічних форма), з іншого - в результаті впливу різних отруйних продуктів, що інактивують гемоглобін крові

**3. Циркуляторна** гіпоксія виникає в результаті розлади кровообігу і зниження доставки кисню тканинам. Вона проявляється у вигляді двох форм - застійної і ішемічної. Циркуляторна гіпоксія може спостерігатися при диханні киснем під надлишковим тиском

**4. Тканинна гіпоксія** виникає в результаті порушення тканинного дихання. Її ще нерідко називають гістотоксичної. Причинами її появи найчастіше є отруєння отруйними продуктами, надають паралітичну дію на тканинне дихання



При польотах на великі висоти спостерігається в основному гіпоксична гіпоксія, тому при розгляді подальших матеріалів під словом **гіпоксія** буде розумітися саме гіпоксична гіпоксія.

**Час активного свідомості TUC** (Time of Useful Consciousness) може бути дуже нетривалим, тому:

**- льотний екіпаж:** повинен пройти відповідне навчання, щоб інстинктивно і миттєво надягати кисневу маску в разі явних ознак несподіваною розгерметизації, при цьому пілоти зобов'язані перевірити, що повітряне судно послідовно реагує на їх команди.

### **Захист від поступової гіпоксії**

До числа перших симптомів гіпоксії не належать відчуття дискомфорту або болю, швидше за їх може помітити пасажир, який піддався цьому явищу в меншій мірі. Існують такі ознаки, як більш часте і глибоке дихання, але буває й інша реакція, характерна для конкретної людини.

Льотний екіпаж зобов'язаний строго дотримуватися Стандартні експлуатаційні правила (SOP), що передбачають перевірку герметизації, що дозволяє визначати перші ознаки можливих відмов до надходження сигналів від систем попередження. У разі надходження сигналів про розгерметизацію, слід діяти відповідно до інструкцій Короткого довідника (QRH). Своєчасне реагування запобіжить необхідність для льотного екіпажу надягати свої кисневі маски, а пасажиром вдаватися до використання масок, автоматично випадають всалоні (як правило, ця автоматика спрацьовує починаючи з висоти 14 000 футів, але на деяких повітряних судах існує режим ручного налаштування).

**Таблиця часу активного свідомості (TUC) при настанні розгерметизації на різних висотах (1 фут = 0,3048 м)**

Н (фут)	Ешелон польоту	T, °C	TUC
15 000	150	-14.7	>30 хв.
18 000	180		20 – 30 хв.
22 000	220		5 – 10 хв.
25 000	250	-34.5	3 – 5 хв.
28 000	280		2.5 – 3 хв.
30 000	300	-44.4	1 – 3 хв.
35 000	350	-54.2	30 – 60 сек.
40 000	400	-56.5	15 – 20 сек.
45 000	450		9 – 15 сек.
50 000	500		6 – 9 сек.

### **Важлива інформація**

1. Час активного свідомості (**TUC**) залежить від фізичного стану людини. У хворого воно менше.

2. **TUC** менше у людей, що знаходяться під фізичним навантаженням, наприклад, що переміщаються по салону.

3. У разі миттєвої декомпресії TUC може скоротитися вдвічі через швидке виділення кисню з тканин людини.

**Гіпервентиляція** - прискорене дихання, яке не викликане фізичним навантаженням. Призводить до зменшення рівня вмісту вуглекислого газу в крові до небажано низького рівня, викликаючи запаморочення, поколювання в кінцівках і почуття обмеженості в грудях. Тривала гіпервентиляція може привести до втрати свідомості.

Гіпервентиляція, або надмірне дихання, являє собою порушення дихання, яке може виникати у людей в результаті емоційної напруги або занепокоєння. Під впливом емоційного стресу, переляку або болю частота дихання може збільшитися, викликаючи підвищену вентиляцію легенів, хоча при цьому виробництво вуглекислого газу клітинами організму не збільшується. В результаті вуглекислий газ «вимивається» з крові, найбільш поширені симптоми гіпервентиляції - нудота, відчуття жару і холоду, поколювання в руках, ногах і стопах, судом, блювота, сонливість і, нарешті, втрата свідомості.

Якщо виникають симптоми, які не можна точно віднести до гіпоксії або гіпервентиляції, рекомендується вжити таких заходів:

- візьміть маску з чистим киснем, перевірте запас кисню, кисневе обладнання та систему подачі;

- після трьох або чотирьох глибоких вдихів стан має помітно покращитися; Якщо це гіпоксія, відновлення відбувається швидко.

Якщо симптоми зберігаються, свідомо сповільніть дихання до тих пір, поки симптоми не зникнуть, а потім поверніться до нормальної частоти дихання. Щоб уповільнити дихання, можна дихати в пакет або голосно розмовляти.

## 7. Прискорення (перевантаження).

### *Фізіологічні механізми і особливості просторового орієнтування*

Польоти на сучасній авіаційній техніці супроводжуються складними маневрами ПС в просторі, особливу складність представляє політ в хмарах, вночі (як в ПМУ так і в СМУ), при обмеженій видимості вдень і вночі. І, як наслідок цього, специфічним впливом на льотний склад (насамперед пілотів) механічних сил (кутових, лінійних прискорень і прискорень Кориоліса), які сприймаються поруч органів і систем організму.

У той же час у людини є специфічний аналізатор - вестибулярний апарат (ВА), який є органом акцелеративної чутливості і який адекватно реагує на переміщення тіла в просторі.

### *Короткі відомості про вестибулярний аналізатор*

**Вестибулярний аналізатор.** Периферичний відділ вестибулярного аналізатора (апарату) розташований в мішечках передодня і півколових каналах внутрішнього вуха. На внутрішній поверхні мішечків передодня є скупчення особливих нервових клітин. Один кінець кожної з цих клітин звужений і закінчується коротким волоском, зверненим в порожнину мішечка. На

закінченнях волосків знаходяться дрібні вапняні кристалики - отоліти. Нервові клітини, волоски і отоліти утворюють отолітовий апарат (рис.5).

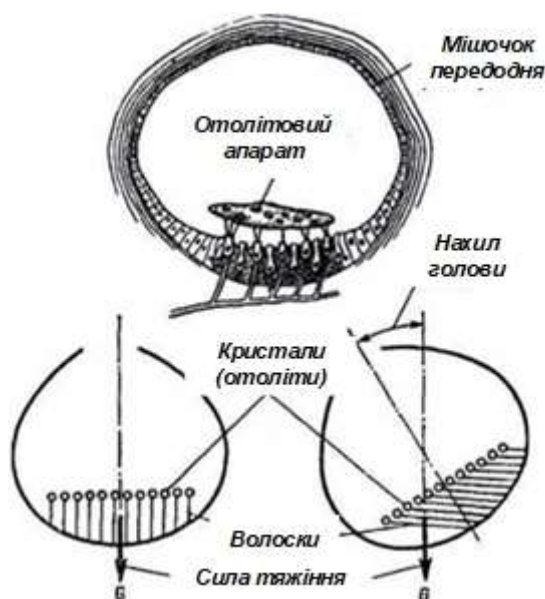


Рисунок 5. Схема отолітового апарату

При зміні положення голови або всього тіла, при вібрації, прискорення або уповільнення прямолінійного руху отоліти переміщуються і натягують волоски знаходяться під ними чутливих клітин. Це викликає утворення потоку нервових імпульсів, що йдуть до довгастого мозку, - а від нього - до мозочка і корі великих півкуль головного мозку.

Під впливом цих імпульсів виникають рефлексії, що змінюють напругу скелетних м'язів і сприяють збереженню нормального положення тіла в просторі.

Півкруглі канали (Рис.6 а,б) - вузькі, мають форму півкола і розташовані в трьох взаємно перпендикулярних площинах (Рис.6 в).

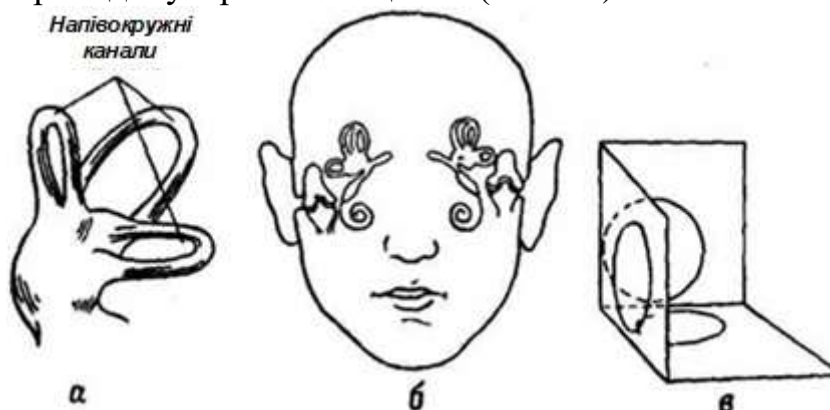


Рисунок 6. Схема вестибулярного апарату

Порожнина каналів заповнена рідиною, яка переміщується при прискоренні або уповільненні обертального руху. Переміщуючись, рідина створює роздратування, яке сприймається нервовими клітинами на стінках розширених кінців каналів. У цих клітинах виникають нервові імпульси, що йдуть в головний мозок. У головному мозку вони викликають ряд рефлексів, які допомагають формувати так зване просторове почуття, тобто, допомагають визначати і зберігати відповідне положення тіла в просторі.

Порушення функції вестибулярного апарату (мішечків передодня і півколових каналів) може викликати відчуття запаморочення і нудоти,

неправильне уявлення про становище в просторі.

Нормальна робота вестибулярного аналізатора особливо необхідна для осіб льотних професій, так як їх діяльність пов'язана з частими змінами положення тіла в просторі.

### *Основні механізми порушень просторового орієнтування, ілюзії просторового положення*

Пілот, виконуючи політ, стає здатним сприймати просторове положення в результаті діяльності багатьох аналізаторів. Провідну роль серед них займає зоровий аналізатор (зір). Крім нього у визначенні положення тіла в просторі приймає участь вестибулярний, руховий, тактильний аналізатори. Відоме значення для орієнтування має і положення внутрішніх органів, які можуть зміщуватися при еволюціях літака, викликаючи роздратування інтерцепторів і потік імпульсів, що йдуть в центральну нервову систему.

У звичайних умовах на землі людина здатна досить легко визначати своє положення в просторі.

Однак в польоті психофізіологічний процес визначення просторового положення літака набагато складніше. Тут вже недостатньо тільки вестибулярних подразливостей і м'язового почуття. У ряді випадків вони самі можуть бути джерелом помилкових просторових відчуттів. Тому в польоті (особливо в СМУ, вночі, в умовах обмеженої видимості та інше) льотчик повинен керуватися тільки показаннями приладів, не покладаючись на свої відчуття і нерідко діючи навіть всупереч їм.

При польоті в СМУ необхідно враховувати несприятливий вплив на зорову функцію людини різких змін освітленості (пробивання хмар вгору і вниз, вихід з під хмар в умовах обмеженої видимості та інше). У зв'язку з цим підвищується напруженість в польоті, неприємні відчуття, з'являються помилкові уявлення (ілюзії), що заважають виконанню польоту, а в інших випадках - бути причиною АП.

Ілюзіями називаються неправильні, помилкові образи дійсності. Виникнення ілюзій не передбачає вплив на пілота будь-яких виняткових факторів (некерований рух літака, сильна бовтанка, раптове потрапляння в хмари та інше). Вони можуть виникати, і досить часто виникають, у будь-якої нормальної і здорової людини, що знаходиться в спокійній обстановці, так як в їх основі лежать строго певні, однакові для всіх людей фізіологічні механізми.

### *Ілюзії, що виникають в польоті*

Ілюзії, що виникають в польоті, як правило, називають льотними ілюзіями, які можуть виникати і періодично виникають у всіх пілотів. Практика опитувань 100% показала, що ілюзіям піддаються всі пілоти. Порушення просторового орієнтування різного ступеня випробовується усіма пілоти, причому число важких випадків запаморочення у пілотів реактивної авіації в 5 разів перевищує число подібних випадків в поршневій. Особливо підвищується небезпека виникнення ілюзій при польоті в хмарах, вночі, в умовах обмеженої видимості і при виконанні енергійних маневрів.