

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

**Циклова комісія аеронавігації**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
**Аеронавігація**

за ТЕМОЮ 1. «Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки.  
Фізико-механічні властивості рідин і газів»

**Харків 2021**

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 23.09.2021 № 8

### **СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету внутрішніх  
справ  
Протокол від 22.09.2021 № 2

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 10.09.2021  
№ 2

**Розробник:** професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач циклової  
комісії аеронавігації, к. т. н., с. н. с., спеціаліст вищої категорії, викладач –  
методист, Тягній В. Г.

### **Рецензенти:**

1 Професор Кременчуцького Державного національного університету ім.  
Михайла Остроградського, д. ф - м. н., професор, лауреат Державної премії  
України в галузі науки і техніки, Єлізаров О. І.

2 Викладач-методист циклової комісії природничих дисциплін КЛК  
ХНУВС, к. т. н., доцент, спеціаліст вищої категорії, лауреат Державної премії  
України в галузі науки і техніки, Лісовенко В. Д.

## **ЛЕКЦІЯ 1.2: Принципи польоту ЛА, види і типи ПС. Будова атмосфери землі**

### **План лекції:**

- 1 Принципи польоту ЛА, види і типи ПС
- 2 Будова атмосфери Землі, її основні фізичні параметри

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016. – 402 с.: іл.
- 3 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 5 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
- 6 Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.
- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.

#### **Допоміжна література:**

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник. - М.: Транспорт, 1976. – 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.
- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Підручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.

- 5 Володко А. М., Безпека польотів вертольотів. Підручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довідник по аеродинаміці, динаміці польоту вертольоту. Навчальний посібник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинаміка і динаміка польоту вертольоту. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинаміка, Ч.1. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинаміка ЛА і гідравліка їх систем, Ч.1. Аеродинаміка. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Літальні апарати і безпека польоту. Підручник. - М.: ВПА ім. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинаміка вертольотів. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатації вертольотів. Аеродинаміка. Підручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинаміка літака. Підручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна література:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати винтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка летальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавн. стандартів, 1976.

### **ЛЕКЦІЯ 1.2: ПРИНЦИПИ ПОЛЬОТУ ЛА, ВИДИ І ТИПИ ПС.**

## БУДОВА АТМОСФЕРИ ЗЕМЛІ

### План лекції:

1.2.1 Принципи польоту ЛА, види і типи ПС

1.2.2 Будова атмосфери Землі, її основні фізичні параметри

#### 1.2.1 Принципи польоту ЛА, види і типи ПС

##### 1.2.1.1 Поняття про літальні апарати і принципах їх польоту.

Літальний апарат- це технічний пристрій важчий за повітря, призначений для керованого переміщення в повітрі або космічному просторі. Політ ЛА ґрунтується на подоланні сили ваги і сили опору повітря.

В теорії аеродинаміки розрізняють 3-и основних принципи польоту ЛА:

- **аеростатичний принцип**, який ґрунтується на законі Архімеда: на тіло занурене в рідину (газ) діє виштовхувальна сила, спрямована вгору і рівна вазі витісненої ним об'єму рідини (газу) (рис 1.2.1).

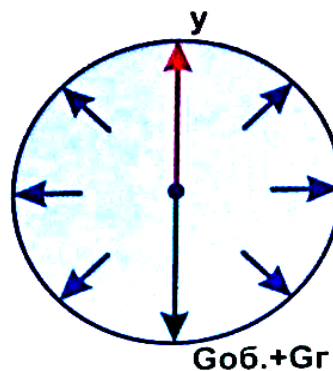


Рис 1.2.1 Аеростатичного принцип польоту

- 1)  $y > (G_{об.} + G_2)$  - збільшення  $H$ ; 2)  $y = (G_{об.} + G_2)$  -  $H = const$ ;  
3)  $y < (G_{об.} + G_2)$  - зменшення  $H$  (занурення).

- **аеродинамічний принцип**, який ґрунтується на 3-му законі Ньютона: тіла впливають одне на інше з силою завжди однаковою за величиною, але спрямованої в протилежному напрямку. Така взаємодія виникає між твердим тілом і обтічним його потоком рідини або газу (рис 1.2.2).

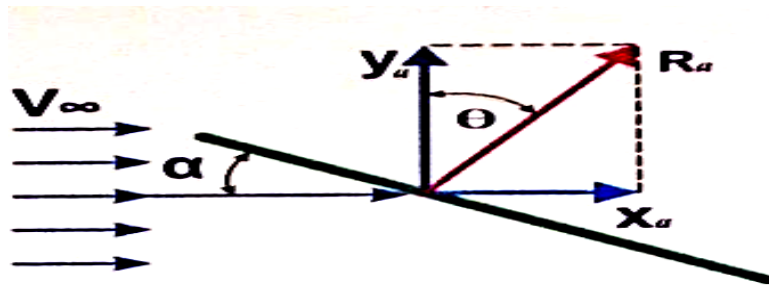


Рис 1.2.2 Аеродинамічний принцип польоту

де

***R*** - це результуюча аеродинамічних сил, як результат взаємодії повітря з плоскою пластиною, встановленої під певним кутом щодо напрямку вектора швидкості руху повітряного потоку, ***H***.

$$V_1 * S_1 = V_2 * S_2 = Q_w = \text{const} - \text{рівняння Л. Ейлера}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1} \text{ звідси } V_2 = V_1 \frac{S_1}{S_2},$$

$$\frac{\rho}{2} V_1^2 + p_{cm1} = \frac{\rho}{2} V_2^2 + p_{cm2} = P_n (p^*) = \text{const} - \text{рівняння Д. Бернуллі}$$

$$Y_a = (p_n - p_v) * S - \text{рівняння підйомної сили профілю.}$$

- **балістичний принцип**- це політ у повітряному або космічному середовищі вільно кинутого тіла, який здійснюється за визначеною траєкторії під дією сили ваги тіла з урахуванням дії на нього сил опору. Такий політ може здійснюватися тільки за рахунок попередньо накопиченої кінетичної енергії (*вихідного імпульсу сили*) (рис 1.2.3), при цьому імпульс сили викликає зміну кількості руху.

$$P * t = m (V_2 - V_1)$$

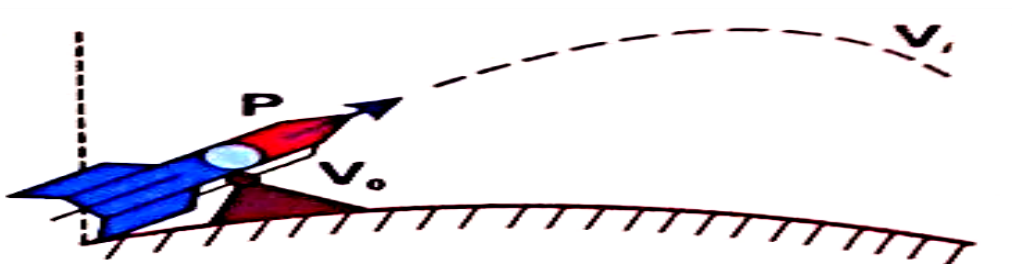


Рис 1.2.3 Балістичний принцип польоту

### 1.2.1.2 Види і типи повітряних суден

Повітряні судна, які здійснюють польоти в атмосфері землі, використовують аеродинамічний принцип створення підйомної сили. Рушійна сила створюється за рахунок підведення енергії від силової установки до

повітряного потоку. На ЛА несучі поверхні можуть бути нерухомими щодо корпусу ЛА, або що обертаються чи махають.

До ЛА важчого за повітря відносяться: планери, літаки, гвинтокрилі і космічні апарати.

1 Планери - це ЛА, які здійснюють політ за рахунок використання потенційної енергії після набору висоти і руху зі зниженням при вільному польоті. Рушійною силою є поздовжня складова власної ваги планера, спрямована вперед. Планер перетворює потенційну енергію вихідної висоти польоту планера в кінетичну енергію руху зі зниженням. Компенсація витрати висоти може здійснюватися за рахунок використання піднімальних потоків повітря.

2 Літаки - це ЛА, які здійснюють політ за рахунок створюваної силовою установкою рушійної сили і підйомної сили, яка створюється крилом при його поступальному русі щодо повітряного середовища. Рушійна сила для руху літака створюється силовою установкою.

3 Гвинтокрилі літальні апарати - це ЛА, які здійснюють політ за рахунок створення підйомної сили, несучими гвинтами, що обертаються. У доповненні до гвинтів, можуть встановлюватися нерухомі крила. До таких ЛА відносяться: автожири, вертольоти, гвинтокрилих.

3.1) Автожири - це ЛА, підйомна сила яких створюється НГ, що обертається від набігаючого повітряного потоку при поступальному русі автожиру, який рухається вперед зі зниженням за рахунок поздовжньої складової сили ваги автожиру або сили тяги силової установки.

3.2) Вертольоти - це ЛА, підйомна сила, яких створюється одним або декількома НГ, які приводилися в обертання силовою установкою. Управління вертольотом здійснюється нахилом вектора тяги НГ в потрібну сторону і зміною величини тяги НГ.

**1 За кількістю НГ вертольоти поділяються на:**

- одnogвинтові;
- гвинтові;
- багатогвинтові.

**2 За способом передачі потужності СУ на НГ:**

- з механічним приводом;
- з газодинамічними приводом;
- з реактивним приводом НГ.

**Одногвинтові вертольоти** мають один НГ і віддалений від його осі обертання кермовий гвинт. Основними недоліками цієї схеми є: витрата потужності на обертання рульового гвинта РГ, малий діапазон поздовжнього центровок і великі лінійні розміри через наявність рульової балки.

***Гвинтові вертольоти виконуються по:***

- поздовжньої схемою;
- поперечної схемою;
- соосної схемою;
- схемою з перехресними осями НГ.

***Вертольоти поздовжньої схеми*** мають два НГ розташованих по поздовжній осі фюзеляжу вертольота. Гвинти обертаються в протилежному напрямку для врівноваження їх реактивних моментів.

- *недоліком* вертольотів такої схеми є великі індуктивні втрати в поступальному польоті, задній НГ працює в обуреної зоні від переднього НГ.
- *перевагою* вертольотів такої схеми є великий діапазон подовжнього центрування, хороша поздовжня стійкість, великий обсяг фюзеляжу, що дозволяє перевозити об'ємні вантажі.

***Вертольоти поперечної схеми*** мають два НГ розташованих по поперечній осі, на кінцях крила або фермах. Гвинти обертаються в протилежні сторони для взаємного врівноваження реактивних моментів.

- *недоліком* вертольотів такої схеми є великий лобовий опір каркасів крила і ферм, ускладнення системи управління в поздовжньому і поперечному каналах, малий діапазон поздовжніх центровок;
- *перевагою* вертольотів такої схеми є аеродинамічна симетрія, що дозволяє досягти великих швидкостей польоту при порівняно малих індуктивних втратах.

***Вертольоти соосної схеми*** мають два НГ розташованих на одній вертикальній вісі, протилежного напрямку обертання. Для забезпечення поздовжнього управління на режимі авторотації вертолiт обладнаний звичайним хвостовим оперенням.

- *перевагою* вертольотів такої схеми є компактність, малі габарити, хороша маневреність;
- *недоліком* вертольотів такої схеми є великий взаємовплив НГ, недостатня шляхова керованість на малих швидкостях польоту і на режимах самообертання.

***Вертольоти з перехресними вісями НГ***, Мають два НГ з нахиленими в сторони осями протилежної синхронного обертання.

- *недоліком* вертольотів такої схеми є складність трансмісії і системи управління, небезпека зіткнення лопатей НГ з землею при зльоті та посадці, труднощі забезпечення безпеки експлуатації вертольоту на землі.



**Багатогвинтові вертольоти** мають більше ніж два НГ симетрично розташованих в подовжній і поперечній площинах фюзеляжу в різному компонуванні.

- *перевагою* є: велика вантажопідйомність і великий діапазон як поздовжньої, так і поперечної центровок вертольоту.

**Гвинтокрил** - є комбінацією літака і вертольоту. Він обладнаний: **НГ**, крилом і тягнущими гвинтами. При вертикальному відриві і на малих поступальних швидкостях польоту підйомна сила створюється НГ. У міру збільшення поступальної швидкості потужність СУ перемикається на НГ або обертають тягнущі гвинти, а підйомна сила створюється частково крилом і **НГ**.

**Вертольоти з реактивними НГ** здійснюють політ за рахунок обертання НГ від невеликих реактивних двигунів, встановлених на кінцях лопатей. При такій схемі реактивний момент не виникає. На корпус передається момент тертя обертання, який врівноважується моментом від вертикального оперення або від РГ. Існує альтернативна схема в якій на кінцях лопатей НВ встановлюються сопла, через які видувається стиснене повітря з великою швидкістю витікання і великого об'єму, що підводиться від бортової компресорної установки.

## **1.2.2 Будова атмосфери Землі, її основні фізичні параметри**

**1.2.2.1 Атмосфера Землі** - це повітряна оболочка навколо земної кулі. Нижньою межею атмосфери є поверхня Землі. Верхньою межею вважається висота 2 - 3 тис.км, де масова щільність повітря в  $16 \cdot 10^{17}$  разів менше ніж щільність біля поверхні Землі ( $\rho_0 = 1,225 \text{ кг / м}^3$ ).

Повітря яке створює атмосферу, являє собою суміш газів. У землі повітря містить наступний склад газів:

- 78% - азот;
- 21% - кисень;
- 0,93% - аргон;
- 0,03% - вуглекислий газ.

Стан і фізичні властивості повітря характеризуються:

- тиском; щільністю;
- температурою; вологістю;
- швидкістю звуку.

### **1.2.2.2 Будова атмосфери землі**

Атмосфера має шарову структуру (рис 1.2.4 ... 1.2.6).

Умовно атмосфера поділяється на 4-е основних шарів, які розрізняються за складом повітря і законами зміни температури і тиску по висоті атмосфери:

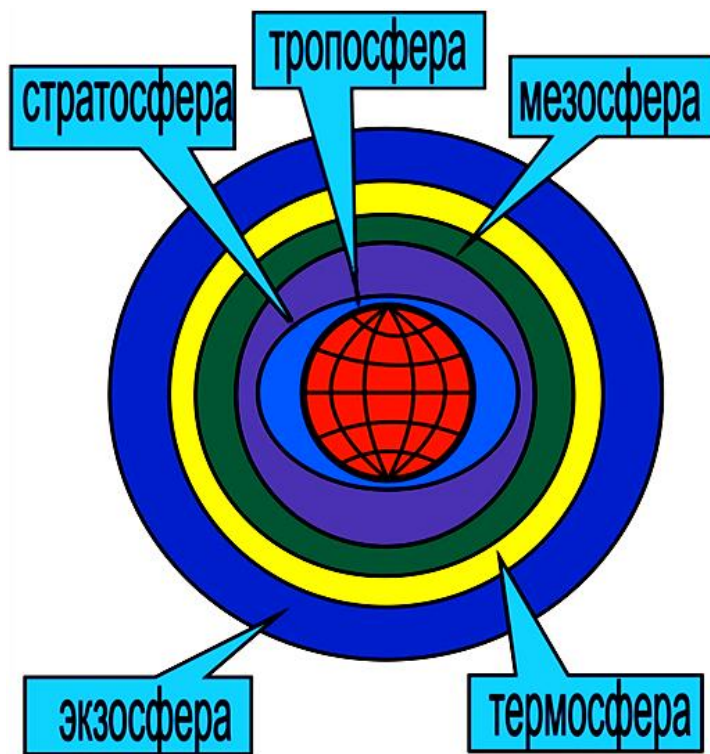


Рис 1.2.4 Схема атмосфери Землі

**1 Тропосфера** - це шар атмосфери, що прилягає до поверхні Землі. Висота шару над полюсами дорівнює 8 км., а над екватором - 18 км, умовно вважається, що середня висота тропосфери дорівнює 11 км. У тропосфері зосереджено 80% усієї маси повітря атмосфери. Температура повітря в цьому шарі знижується на  $6,5^{\circ}\text{C}$  на кожен кілометр висоти. У тропосфері спостерігається метеорологічні явища: хмарність та опади. Перехідний шар між тропосферою і стратосферою називається - тропопаузою.

**2 Стратосфера** - це шар атмосфери, розташований над тропопаузою і поширюється до висоти 40 км. Температура до висоти  $H = 25$  км постійна і дорівнює мінус  $56,5^{\circ}\text{C}$ , а далі підвищується з кожним кілометром на  $1-2^{\circ}\text{C}$ . Перехідний шар між стратосферою і мезосферою називається стратопаузою.

**3 Мезосфера** - це шар атмосфери розташоване над стратопаузою і поширюється до висоти  $H = 80$  км. У мезосфері температура знижується до мінус  $88^{\circ}\text{C}$  і далі залишається постійною до висоти  $H = 95$  км. У мезосфері формуються вітри, швидкість яких досягає декількох сотень км/год. Між мезосферою і термосферою є перехідною шар, який називається мезопаузою.

**4 Термосфера** - це шар атмосфери, розташований на висотах від 80 км до 2 ... 3 тис. км і характеризується підвищенням температури до плюс  $2000^{\circ}$  ...  $3000^{\circ}\text{C}$ . Так на висоті  $H = 600$  км температура досягає  $1500^{\circ}$  -  $2000^{\circ}\text{C}$ . Однак,

внаслідок низької щільності повітря висока температура середовища не викликає нагрівання поверхні тіл.

У свою чергу, термосфера умовно розділяється на два проміжні шари:

– *іоносферу і екзосферу.*

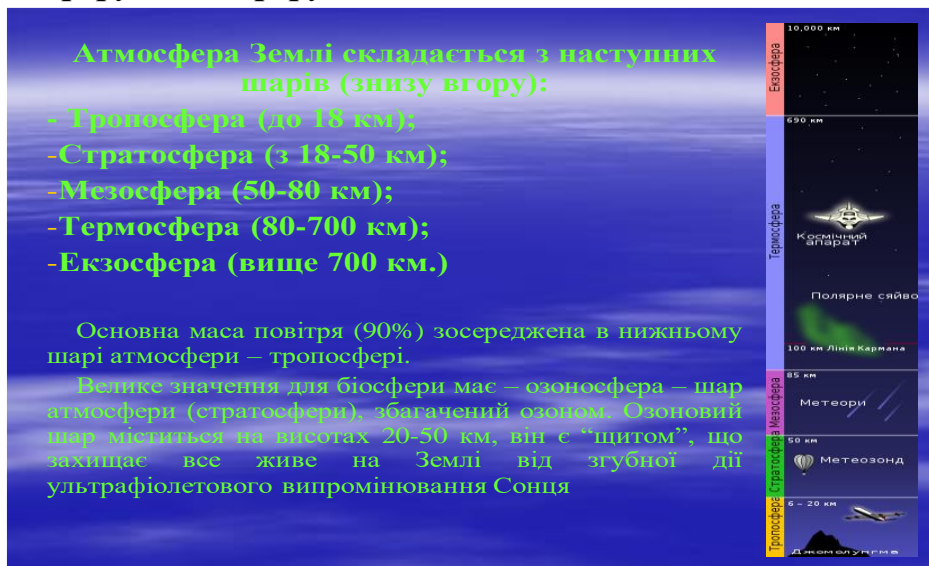


Рис 1.2.5 Структура атмосфери і склад повітря Землі

**4.1 Іоносфера** - це частина термосфери, яка поширюється від висоти 80 км і до висоти 600 км та характеризується тим, що в ній проявляється властивість відбиття радіохвиль, яке забезпечує можливість подовжити радіозв'язок, в ній формується полярне сяйво. Повітря через високу температуру іонізується і стає електропровідним. Тому, крім аеродинамічного впливу на обтікаємі тіла, необхідно враховувати і електромагнітний вплив на молекули повітря.

**4.2 Екзосфера** - це частина термосфери, яка поширюється від висоти 600 км до висоти 2 ... 3 тис. км., вона є середовищем розсіювання частинок. Швидкість руху молекул повітря досягає 12 км/с (більше ніж II - а космічна швидкість), тому частина молекул з часом виходить з гравітаційного поля тяжіння землі.

Примітка, розмір космічних швидкостей польоту:

- 1) **Перша** - 7,9 км/с, що дозволяє вийти космічному апарату на космічну орбіту і стати супутником Землі;
- 2) **Друга** - 11,2 км/с, що дозволяє вийти космічному апарату з гравітаційного поля Землі і виконати політ до планет нашої Сонячної системи;
- 3) **Третя** - 16,5 км/с, що дозволяє вийти космічному апарату за межі нашої Сонячної системи і виконати переліт в іншу систему.

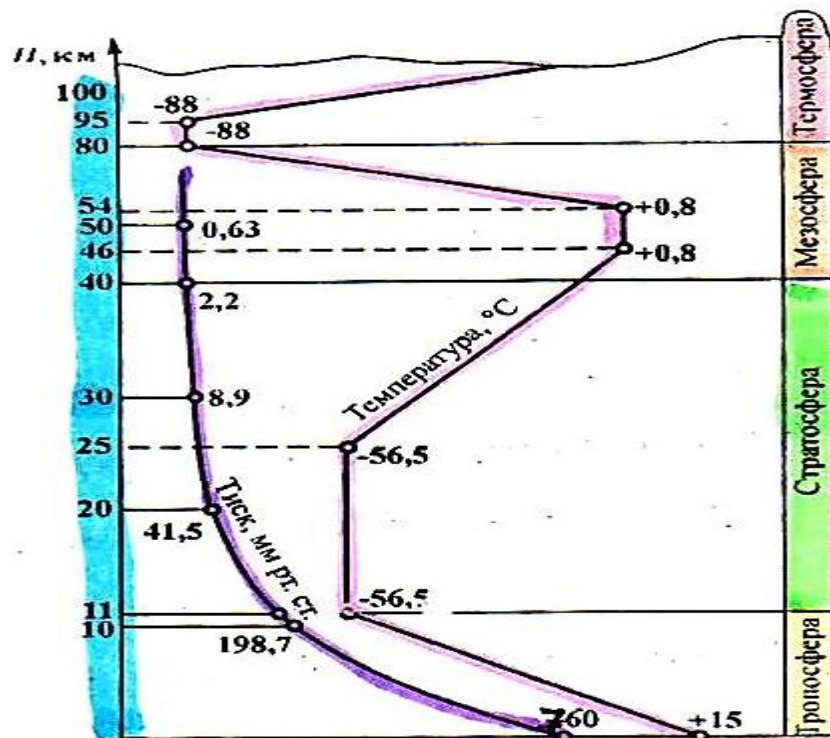


Рис 1.2.6 Схема будови атмосфери і зміна параметрів Землі

**Міжнародна стандартна атмосфера (МСА)** - це умовна повітряне середовище, стан якої відповідає середньорічним значенням параметрів повітря для середніх широт на рівні світового океану.

При нормальних умовах стандартної атмосфери відповідають фізичні параметри повітря:

- $T_0 = 288^{\circ}K$  ( $273 + 15$ );  $p_0 = 101325$  Па (760 мм. рт. ст.);
- $\rho_0 = 1,225$  кг/м<sup>3</sup>;  $a_0 = 340,28$  м/с.

При проектуванні і створенні ЛА всі розрахунки здійснюються для умов стандартної атмосфери. Результат випробувань перераховуються з істинних атмосферних умов до стандартних умов. Це дає можливість порівнювати різні ЛА по їх льотним характеристикам.