

Очевидно, що абсолютна й відносна висота польоту ЛА пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$H_{\text{від}} = H_{\text{абс}} - H_3$$

де H_3 – геометрична висота точки, що прийнята за початок відліку на поверхні. Землі.

Залежно від обраної СК відносно якої визначають швидкість польоту ЛА, відрізняють повітряну, земну і абсолютну швидкість польоту.

Істинна повітряна швидкість \vec{V} – це швидкість ЛА відносно повітряного середовища (відносно набігаючого потоку повітря).

Земна швидкість ЛА \vec{V}_k – це швидкість ЛА відносно обраної системи координат, що зв'язана з Землею.

Проекція земної швидкості ЛА на горизонтальну площину (горизонтальна складова швидкості ЛА відносно Землі) називається *шляховою швидкістю* $\vec{V}_{\text{ш}}$. Вектор шляховою швидкості спрямований як дотична до лінії шляху.

Земна швидкість ЛА \vec{V}_k є векторною сумою його повітряної швидкості \vec{V} і швидкості вітру \vec{W} .

Швидкість вітру \vec{W} – це швидкість переміщення повітряного середовища, що не обурене ЛА, відносно обраної СК, яка зв'язана з Землею.

Якщо спроектувати вектори повітряної швидкості та швидкості вітру на площину місцевого горизонту, то горизонтальні складові вектора повітряної швидкості \vec{V}_r вектора швидкості вітру \vec{W}_r , а також вектора шляховою швидкості $\vec{V}_{\text{ш}}$ створюють так званий

навігаційний трикутник швидкості, що зображених на рис. ДЗ.3.

Кут $\beta_{\text{зн}}$ між горизонтальною проекцією вектора повітряної швидкості \vec{V}_r і напрямком шляховою швидкості $\vec{V}_{\text{ш}}$ називають *кутом знесення*.

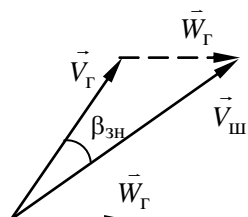


Рис. ДЗ.3

У теперішній час у зв'язку з використанням на борту ЛА інерціальних систем навігації широко застосовують поняття *абсолютна швидкість* \vec{V}_a ЛА. Термін "абсолютна" тут застосовується з ціллю підкреслити той факт, що визначення швидкості здійснюється в деякій інерціальній або умовно інерціальній системі відліку. Зазвичай при цьому розглядається рух ЛА і відповідно визначають його абсолютну лінійну швидкість відносно геоцентричної СК, осі якої не обертаються в інерціальному просторі. Величина вектора абсолютної швидкості \vec{V}_a ЛА у цьому випадку може бути подана як сума його відносної земної швидкості \vec{V}_k і переносної швидкості $\vec{V}_{\text{пер}}$, тобто лінійної швидкості точки повітряного простору, в якій знаходиться ЛА. Величина і напрямком переносної швидкості обумовлені обертовим переносним рухом Землі. При цьому

$$\vec{V}_a = \vec{V}_k + \vec{V}_{\text{пер}} = \vec{V}_k + \vec{\Omega}_3 \times \vec{R},$$

де $\vec{\Omega}_3$ – вектор кутової швидкості обертання Землі; \vec{R} – радіус-вектор, що спрямований із центра Землі в точку знаходження ЛА.

Величина переносної швидкості в цьому випадку може бути визначена за формулою

$$\vec{V}_{\text{пер}} = \Omega_3 R \cos \varphi = \Omega_3 l,$$

де φ – геоцентрична широта ЛА; l – відстань від літака до полярної осі.

Вектор переносної швидкості спрямований, як дотична до географічної паралелі від заходу на схід.

Застосовуючи термін абсолютна лінійна швидкість, необхідно мати на увазі, що він не може бути визнаним вдалим з точки зору принципу відносності класичної механіки (принципу Галілея), який встановлює рівність усіх інерціальних систем відліку.

Інформація про швидкість польоту ЛА використовується для розв'язання навігаційних задач: обчислення шляху, визначення часу прибуття літака в задану точку маршруту.

Для запобігання виходу літака або двигуна на критичні за керування режимом використовується інформація про число М польоту.

Число M – це відношення істинної повітряної швидкості V до швидкості звуку a :

$$M = \frac{V}{a} = \frac{V}{\sqrt{kRT}}$$

тут k – стала адіабатичного процесу; $R = 287,05287$ (дж/кг К) – питома стала повітря; T – температура повітря (К).

Кутову орієнтацію ЛА у повітряному потоці визначають кути атаки та ковзання.

Кут атаки α – кут між поздовжньою віссю ЛА та проекцією вектора повітряної швидкості на площину симетрії ЛА.

Кут ковзання β – кут між вектором повітряної швидкості та площиною симетрії ЛА.

Як кінематичні параметри, що характеризують рух центра мас ЛА, у повітряній навігації використовують траєкторні кути, які показані на рис.Д3.4.

При цьому кут Ψ визначається як кут шляху – кут між віссю OX_g , нормальної системи координат (напрямок істинного меридіана) і напрямком вектора шляхової швидкості $\vec{V}_{ш}$.

Кут нахилу траєкторії Θ – кут між вектором земної швидкості $\vec{V}_к$ і горизонтальною площиною X_gOZ_g . На рис.Д3.4 показані позитивні напрямки відліку цих кутів.

Зауважимо, що поняття шляховий кут Ψ , яке використовується в навігації, відповідає поняттю кут шляху, але позитивні значення шляхового кута як і курсу відраховуються за годинниковою стрілкою від фіксованого у площині горизонту напрямку.

Положення ЛА (зв'язаної СК $OXYZ$) відносно площини горизонту (нормальної СК $OX_gY_gZ_g$) визначається кутами тангажа ϑ і крену γ .

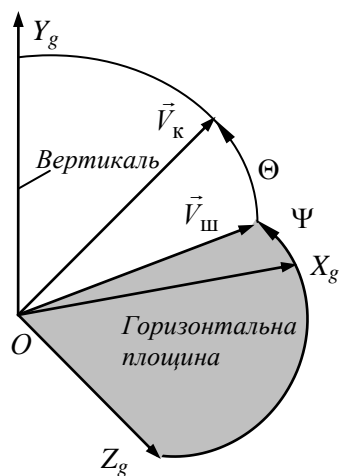


Рис. Д3.4

Кут тангажа ϑ – це кут між поздовжньою віссю ЛА та горизонтальною площиною OX_gZ_g . Діапазон вимірювання кута тангажа визначається співвідношенням $-90^\circ \leq \vartheta \leq 90^\circ$.

Кут крену γ – це кут між нормальною віссю ЛА і вертикальною площиною, що проходить крізь поздовжню вісь ЛА. Діапазон вимірювання кута крену будемо визначати співвідношенням $-90^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$. При позитивному (правому) крені поперечна вісь ЛА знаходиться нижче горизонтальної площини OX_gZ_g .

На закінчення введемо ще два взаємозв'язаних параметри польоту ЛА – прискорення та перевантаження.

Абсолютне прискорення центра мас ЛА $\vec{w}_{абс}$ визначається відповідно другого закону Ньютона відношенням рівнодійних усіх зовнішніх сил, діючих на ЛА, до його маси m , тобто

$$\vec{w}_{абс} = \vec{F} / m. \quad (Д3.1)$$

Напрямок вектора абсолютного прискорення $\vec{w}_{абс}$ збігається з напрямком вектора рівнодійної сила \vec{F} . При розгляданні руху ЛА відносно поверхні Землі вектор абсолютного прискорення можна подати як суму відносного $\vec{w}_{від}$, переносного $\vec{w}_{пер}$ і коріолісового $\vec{w}_{кор}$ прискорень:

$$\vec{w}_{абс} = \vec{w}_{від} + \vec{w}_{пер} + \vec{w}_{кор}$$

Відносне прискорення $\vec{w}_{від}$ може бути визначене як похідна за часом вектора земної швидкості ЛА $\vec{V}_к$. Переносне прискорення $\vec{w}_{пер}$ – це прискорення точки навколоремного простору, в якій знаходиться ЛА, і яке обумовлене обертанням Землі. Вектор цього прискорення завжди спрямований як перпендикуляр до осі обертання Землі, а його величина визначається рівнянням

$$w_{пер} = \Omega_3^2 l,$$

де l – відстань до осі обертання Землі

Величина та напрямок вектора коріолісового прискорення визначається залежністю

$$\vec{w}_{кор} = 2\vec{\Omega}_3 \times \vec{V}_к$$

Подовження додатку 3

Інколи здається зручним рівнодійну усіх зовнішніх сил, діючих на ЛА, подати, як суму сил гравітаційного притягання \vec{Q} і, так званої, результуючої сили \vec{R} . Результуюче сила \vec{R} – це рівнодійна усіх сил негравітаційного походження (сила тяги двигуна, аеродинамічна сила, ін.). У цьому випадку замість рівняння (ДЗ.1) маємо

$$\vec{w}_{\text{абс}} = \frac{\vec{Q}}{m} + \frac{\vec{R}}{m} = \vec{g}_\Gamma + \vec{a}.$$

Звідси

$$\vec{a} = \vec{w}_{\text{абс}} - \vec{g}_\Gamma$$

де \vec{g}_Γ – вектор напруженості гравітаційного поля в точці знаходження ЛА; \vec{a} – вектор так званого позірною прискорення або прискорення від результуючої сили \vec{R} . Інколи вектор \vec{a} називається вектором питомої результуючої сили, яка припадає на одиницю маси ЛА. Практично тотожне цьому поняттю поняття "перевантаження ЛА".

Перевантаження об'єкта \vec{n} – це відношення результуючої сили \vec{R} , що діє на об'єкт до добутку маси m об'єкта і стандартного прискорення сили ваги g , тобто $\vec{n} = \frac{\vec{R}}{mg}$.

Враховуючи, що $\frac{\vec{R}}{m} = \vec{a}$ маємо $\vec{n} = \frac{\vec{a}}{g}$.

Звідси видно, що перевантаження є безрозмірна векторна величина, яка кількісно відрізняється від вектора прискорення під впливом негравітаційних сил постійним множником $(g)^{-1}$, який має розмірність, зворотну розмірності прискорення.

Напрямок вектора перевантаження \vec{n} відповідає напрямку так званої позірної (уявної) вертикалі. Уявна вертикаль – це напрямок, який фіксує вестибулярний апарат людини або фізичний маятник, що застосовується для визначення напрямку вертикалі на рухомому об'єкті. В умовах рухомості основи напрямок, що фіксується фізичним маятником, визначається як напрямком вектора напруженості гравітаційного поля так саме і складовими вектора абсолютного прискорення основи.