

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Аеродинаміка, конструкції і системи вертольотів»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів

за темою 2 - Навантаження и міцність ПС

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 технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.2021 р. № 1

Розробник:

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Дерев'янка Іван Григорович
2. Викладач циклової комісії аеронавігації Ножнова Марина Олександрівна
3. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Копичко Руслана Русланівна

Рецензенти:

1. Кандидат технічних наук, доцент Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського Павленко Олександр Володимирович.
2. Викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх справ, викладач-методист, к.т.н., с.н.с Тягній В.Г.

План лекції

1. Навантаження, що діють на ПС: масові та поверхневі, та їх розподіл. Поняття про загальні й місцеві навантаження. Теплові навантаження ПС.

2. Перевантаження ПС: повне перевантаження в центрі мас та їх складові, перевантаження поза центром мас, фізична сутність перевантаження. Поняття про вимірювання перевантаження.

3. Перевантаження літака в польоті: режимні (на віражі та при криволінійному польоті в вертикальній площині) й випадкові (при грубій посадці та польоті в бовтанці).

4. Міцність ПС: поняття про коефіцієнт безпеки й знаходження розрахункових навантаження. Поняття про "Норми міцності та жорсткості". Поняття про проектування ПС.

Рекомендована література

Основна:

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2001. – 383 с.
2. Дерев'янюк І.Г.. «Модуль 12. Аеродинаміка, конструкції і системи вертольотів (категорія В1). Конспект лекцій», Кременчук: КЛК НАУ, 2013.

Допоміжна:

1. Кузнецов А.Н. "Основы конструкции и технической эксплуатации воздушных судов", М., Транспорт, 1990.
2. Комаров А.А. и др. "Конструкция и эксплуатация воздушных судов", М., Транспорт, 1986.
3. Зайцев В.Н., Рудаков В.Л. "Конструкция и прочность самолетов", Киев, Вища школа, 1978.
4. Миртов К.Д. и др. "Конструкция и прочность летательных аппаратов гражданской авиации", М., Машиностроение, 1991.
5. Матвеев А. М. и др. "Системы оборудования летательных аппаратов", М., Машиностроение, 1986.
6. Домотенко М.Т. и др. "Авиационные силовые установки". М., Транспорт, 1976.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

7. www.google.com.ua, Www.meta.ua, www.yandex.ua - пошукові ресурси
8. <https://ru.wikipedia.org> - енциклопедія онлайн

Текст лекції

1. Навантаження, що діють на ПС: масові та поверхневі, та їх розподіл. Поняття про загальні й місцеві навантаження. Теплові навантаження ПС

На ПС в польоті діють аеродинамічні, гравітаційні і інерційні навантаження. Характер їх дії може бути статичним - що не змінюється протягом щодо тривалого часу, динамічним - швидко мінливих в процесі дії, і циклічним. Деякі навантаження є розподіленими по поверхні або обсягу

конструкції, інші зосередженими, прикладені точково - на невеликій ділянці конструкції.

Всі сили, що діють на ПС, діляться на поверхневі і масові. До поверхневих силам відносяться аеродинамічні (підйомна сила, сила лобового опору), тяга і реверсивна тяга двигунів, сили реакції землі на опори шасі та інші зовнішні сили. До масових відносяться сили тяжкості та інерційні сили конструкції.

Інерційні сили діють на ПС не завжди. У горизонтальному сталому польоті на літак діють сила тяжіння (вага) G , підйомна сила Y , тяга двигунів P , сила лобового опору X (рис. 2.1). Під дією цих сил літак знаходиться в рівновазі: $Y = G$; $X = P$ і інерційні сили не виникають.

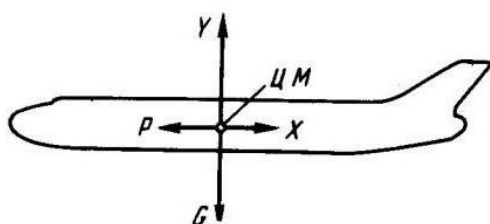


Рис. 2.1. Сили, действующие на самолет в горизонтальном полете

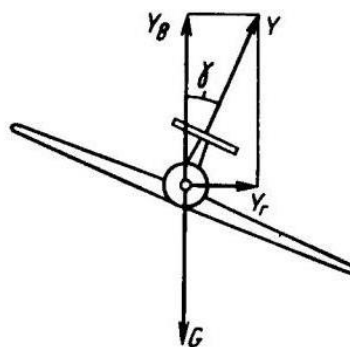


Рис. 2.2. Перегрузка самолета при вираже

У польоті зі змінною швидкістю тяга не дорівнює силі лобового опору, і, якщо вона перевищує останню, політ протікає з прискоренням. Отже зміна швидкості польоту забезпечує появу інерційних сил, спрямованість *них в сторону, протилежну прискоренню*. Сили інерції виникають при будь-якому несталому або криволінійному польоті, вони додаються до сили тяжіння і, в залежності від напрямку дії прискорення, створюють додаткові навантаження або розвантажують ПС.

2. Перевантаження ПС: повне перевантаження в центрі мас та їх складові, перевантаження поза центром мас, фізична сутність перевантаження. Поняття про вимірювання перевантаження

Інерційні сили можуть діяти в польоті в напрямку будь-якої осі ПС, однак по осях X і Z вони відносно невеликі і зазвичай не розглядаються. Тому при визначенні навантажень на ВС надалі будуть враховуватися лише інерційні сили, що діють в напрямку осі Y , т. Е. В напрямку підйомної сили. У польоті підйомна сила врівноважує силу тяжіння ВС і інерційну силу, тому зі зміною останньої змінюється і підйомна сила.

Дія сил інерції на ПС враховується коефіцієнтом перевантаження (перевантаженням) n , який виражається відношенням підйомної сили до сили тяжіння ВС. Оскільки сила тяжіння дорівнює добутку маси m на прискорення вільного падіння, перевантаження може бути виражена відносинами:

$$n = Y / G = Y / (mg).$$

У разі сталого горизонтального польоту $Y = G$ тому перевантаження дорівнює одиниці. При несталому або криволінійному польоті перевантаження не дорівнює одиниці, так як до сили тяжіння BC додаються інерційні сили. підйомна

сила в цих випадках визначається твором перевантаження на силу тяжіння:

$$Y = nG.$$

Перевантаження залежить від режиму польоту, а також від випадкових явищ, наприклад від дії турбулентної атмосфери. Розглянемо для прикладу перевантаження, що виникають при маневрі літака в горизонтальній і вертикальній площинах: при віражі, виведення з планування та введенні в нього.

3. Перевантаження літака в польоті: режимні (на віражі та при криволінійному польоті в вертикальній площині) й випадкові (при грубій посадці та польоті в бовтанці)

При правильному сталому віражі (рис 2.2) силу тяжіння літака врівноважує вертикальна складова підйомної сили YB , рівна. Таким чином, $Y \cos \gamma$

$$G = YB = Y \cos \gamma$$

Перевантаження при віражі

$$n = Y / G = 1 / \cos \gamma$$

залежить тільки від кута крену і пропорційна його значенням. γ

При виведенні літака з планування (рис. 2.3) підйомна сила врівноважує складову силу тяжіння $G \cos \theta$ і відцентрову силу N , тобто

$$Y = G \cos \theta + N; N = m j = m V^2 / r$$

Де j - доцентрове прискорення;

V - швидкість літака;

r - радіус кривизни траєкторії.

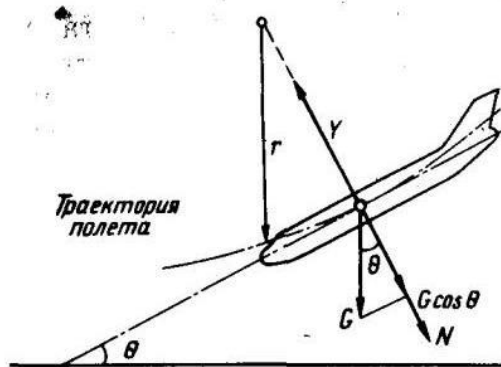


Рис. 2.3. Перегрузка самолета при выводе из планирования

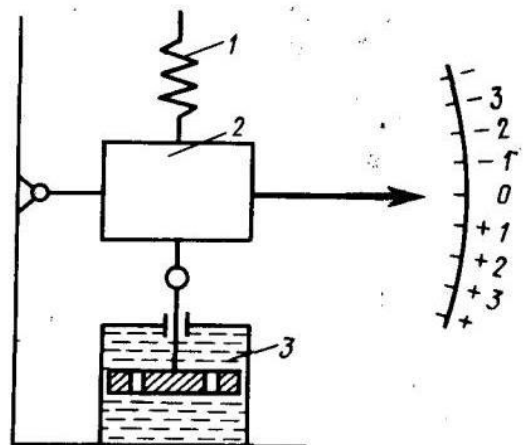


Рис. 2.4. Схема акселерометра:
 1 – пружина; 2 – грузик; 3 – демпфер

Таким чином,

$$Y = G \cos \theta + m V^2 / r \text{ т } = mg \cos \theta + m V^2 / r.$$

Перевантаження при виведенні літака з планування пропорційна куту планування Θ і квадрату швидкості V , обернено пропорційна радіусу кривизни r .

$$n = Y / (mg) = \cos\Theta + V^2 / (gr)$$

У разі введення літака в планування траєкторія польоту має зворотну кривизну і відцентрова сила - зворотний напрямок. Тому перевантаження

$$n = \cos\Theta - V^2 / (gr)$$

Звідси випливає, що введення літака в планування досягається зменшенням підйомної сили в порівнянні з силою тяжіння і значення перевантаження стає менше одиниці. При різкому введенні перевантаження може стати негативною і підйомна сила буде направлена вниз.

Розглянуті перевантаження виникають в ЦМ повітряного судна. У криволинейном польоті літак здійснює ще і обертальний рух щодо ЦМ, тому має місце приріст перевантаження уздовж поздовжньої осі літака, пропорційне відстані від ЦМ. При виведенні з планування попереду ЦМ приріст перевантаження буде позитивним, а ззаду - негативним.

Перевантаження при польоті в неспокійному повітрі залежить від висоти і швидкості польоту, швидкості вертикального пориву вітру, маси літака, питомого навантаження на крило (стосовно ваги літака до площі крила). Збільшення висоти польоту супроводжується падінням щільності повітря, і перевантаження з висотою зменшується. Збільшення швидкості польоту і вертикального пориву вітру призводить до зростання перевантажень, збільшення питомого навантаження на крило спричиняє зменшення перевантаження. В реальних умовах польоту в турбулентній атмосфері зниження перевантажень досягається зменшенням швидкості польоту.

Вплив перевантажень на організм людини залежить насамперед від їх значення і часу дії. Невеликі і нечасто повторювані перевантаження (до 2 - 3) помітного впливу на людину не роблять. З ростом значення перевантаження або часу її дії відчувається зміщення внутрішніх органів, погіршення кровообігу і порушення зору. Подальше збільшення перевантажень може викликати втрату свідомості і пов установою внутрішніх органів, важкий результат.

Перевантаження вимірюють акселерометрами - вимірювачами прискорень. У найпростішому вигляді акселерометр можна представити у вигляді грузика на пружному підвісі (рис. 2.4). Інерційні сили, пропорційні перевантажень, зміщують грузик, деформуючи підвіс. Рідина, залита в демпфер, при переміщенні грузика перетікає через отвори в поршні і створює опору, що перешкоджають коливань грузика і спотворення показань приладу.

4. Міцність ПС: поняття про коефіцієнт безпеки й знаходження розрахункових навантажень. Поняття про "Норми міцності та жорсткості". Поняття про проектування ПС

При проектуванні ВС важливо задати оптимальні навантаження, на які розраховується його міцність. Якщо задати надмірно великі навантаження, ВС

виявиться перетяжеленою; якщо ж поставити занадто малі розрахункові навантаження, виявиться недостатньо міцним для безпечної експлуатації.

Розрахункові навантаження для проєктованих ВС задаються нормативами (нормами міцності), які входять до складу Норм льотної придатності літаків і вертольотів. Рівень міцності ВС і його окремих частин (крила, фюзеляжу, оперення, шасі та ін.) Задається за допомогою максимально допустимих в експлуатації позитивної n_{max} і негативної n_{min} перевантажень і максимально допустимого швидкісного напору $q_{\text{max}} = (\rho V^2 / 2)_{\text{max}}$.

Перевантаження нормами міцності задається в залежності від необхідної в експлуатації маневреності ВС. Для літаків, що здійснюють різкі маневри, максимальна експлуатаційна перевантаження задається зазвичай в межах 8 - 10, для обмежено маневрених - 5 - 7. Для неманеврених літаків, до яких відносяться і транспортні літаки ГА, $n_{\text{max}} = 2,5 \div 4,0$.

Вертольоти діляться на маневрені і неманеврені. Для перших максимальна експлуатаційна перевантаження задається від 3,5 до 4,0, для неманеврених - 2,5 - 3,0.

Вертольоти діляться на маневрені і неманеврені. Для перших максимальна експлуатаційна перевантаження задається від 3,5 до 4,0, для неманеврених - 2,5 - 3,0.

Максимально можлива в умовах експлуатації навантаження P_{max} діюча на ВС в цілому, визначається твором максимальною експлуатаційною перевантаження на вагу:

$$P_{\text{max}} = n_{\text{max}} G$$

Авіаційна конструкція не є монолітною - вона складається з набору тонкостінних силових елементів, кожен з яких сприймає один або кілька видів навантажень, причому в одних режимах польоту найбільш навантаженими виявляються одні силові елементи, в інших режимах - інші елементи. Тому навантаження на силові елементи ВС визначаються для різних випадків навантаження, що відображають найбільш важкі режими польоту і посадки, які можуть зустрітись в процесі експлуатації даного типу ВС.

Для літаків і вертольотів передбачено по шість основних польотних і ряд посадочних випадків навантаження. Польотні випадки навантаження відповідають входу в планування і виходу з нього, польоту в неспокійному повітрі; для літаків - маневр з відхиленням елеронів, для вертольотів - розворот на режимі висіння і ін.

Нормами для кожного випадку навантаження задається максимальна або мінімальна експлуатаційна перевантаження і максимальний швидкісний напір або ж тільки перевантаження. Міцність кожної основної частини ВС перевіряється для декількох випадків навантаження, і виявляються найбільш важкі умови навантаження силових елементів.

Розрахунок конструкції на міцність ведеться не на максимальну експлуатаційну навантаження, а на розрахункову (руйнує) навантаження

$$P_P = f P_{\text{max}}$$

де f - коефіцієнт безпеки - число, що показує, у скільки разів розрахункове навантаження більше максимальною експлуатаційною. Коефіцієнт безпеки можна виразити також ставленням розрахункової перевантаження до максимальною експлуатаційною:

$$f = N_p / n_{\text{max}}$$

Коефіцієнт безпеки встановлюється з таких міркувань. При дії на конструкцію максимальною експлуатаційною навантаження в ній не повинні виникати залишкові деформації, т. Е. Напруги не повинні перевищувати межі пропорційності $\sigma_{0,2}$, а при дії розрахункового навантаження напруги повинні бути близькими до тимчасового опору σ_B . Отже, ставлення R_R / R_{max} має бути приблизно рівним відношенню $\sigma_B / \sigma_{0,2}$.

Для більшості конструкційних матеріалів, що застосовуються в авіабудуванні, ставлення $\sigma_B / \sigma_{0,2} = 1,2 \div 1,5$ тому для різних випадків навантаження коефіцієнт безпеки задається нормами міцності в межах 1,5 - 2,0. Для навантажень, часто повторюваних і діючих тривалий час, задаються має більше значення коефіцієнта безпеки, для рідко повторюваних і короточасних - мінімальні значення цього коефіцієнта.

Норми міцності встановлюють певні вимоги і до жорсткості конструкції, так як значні пружні деформації зовнішніх форм ВС ведуть до погіршення характеристик стійкості і керованості, викликають додаткові навантаження в польоті і можуть привести до втрати статичної та динамічної стійкості конструкції, появи різних вібрацій.

Розрахунок ВС по руйнівних навантажень ще не забезпечує повною надійності роботи конструкції, оскільки не враховує впливу змінних навантажень. В результаті дії багаторазово повторюваних навантажень конструкція може зруйнуватися при напруженні значно менше тих, які виникають при дії максимальної експлуатаційної навантаження.

Повторювані навантаження викликають в матеріалі втома - поступове накопичення пошкоджень, що призводять до утворення і розвитку тріщин, які з плином часу можуть викликати руйнування конструкції.

Втомна міцність - властивість конструкції протистояти втомі - знижується при наявності різного роду концентраторів напруги: отворів під заклепки і болти, вирізів в конструкції, різких змін перетинів деталі, рисок, забоїн, вогнищ корозії і інших концентраторів.

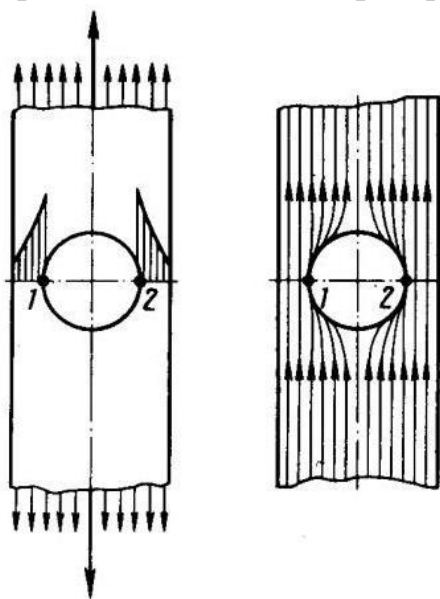


Рис. 2.5. Концентрація напружень у виріза

Наявність отвору або іншого концентратора напружень викликає зміна потоку розподілених сил від дії зовнішнього навантаження (рис. 2.5). До вирізу потік сил розподіляється рівномірно по перетину, потім, обтікаючи отвір, розподілені сили ущільнюються (концентруються) у країв отвору, і в точках 1 і 2 напруги досягають приблизно триразового значення в порівнянні з напруженнями за межами вирізу. Виникає концентрація напружень різко знижує здатність конструкції чинити опір втомі. Особливо небезпечна концентрація напружень для конструкцій з високоміцних сплавів, а також для конструкцій, схильних до динамічним

навантаженням і вібрацій. Тривалість безаварійної експлуатації ПС, його надійність залежать перш за все від його втомної міцності. Її підвищення досягається підбором матеріалу, зменшенням напруги в конструкції,

При розрахунку конструкції на міцність враховують і інші навантаження: надлишковий тиск в герметичній кабіні, вплив на міцність матеріалу підвищених температур від двигунів і ін.