

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Системи та обладнання авіаційної техніки»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Аеронавігація**

**за темою №2 - Вхідні пристрої**

**Харків 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2022 № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 22.08.2022 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 10.08.2022р. № 1

**Розробники:**

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Царенко Андрій Олександрович

**Рецензенти:**

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.

2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

## План лекції

1. Призначення і вимоги.
2. Дозвукові і надзвукові вхідні пристрої, їх схеми і конструктивні елементи, способи регулювання. Матеріали, що використовуються для виготовлення вхідних пристроїв.
3. Захисні пристрої повітрозбірників.
4. Сили, діючі на елементи повітрозбірника і викликаємі напруги.

## Рекомендована література:

### Основна:

1. Кулик М.С., Тамаргазін О.А. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів. Київ: НАУ, 2009. 477 с.
2. Терещенко Ю.М. Газотурбінні двигуни літальних апаратів, Київ: Вища школа, 2000. 319 с.
3. Іноземцев А.А., Сандрацький В.Л. Газотурбінні двигуни. П.: ВАТ «Авіадвигун», 2006. 1024 с.
4. Данилейко І.І., Капустін Л.Н., Фельдман Е.Л. Основи конструкції авіаційних двигунів. Москва: Транспорт, 1988. 296 с.

### Додаткова:

5. Лозицький Л.П. Конструкція і міцність авіаційних газотурбінних двигунів. Москва: Повітряний транспорт, 1992. 536 с.
6. Нечаєв В.М. Авіаційні газотурбінні двигуни. Л.: Видавництво Академії цивільної авіації, 1973. 86 с.

## Текст лекції

### 1. Призначення і вимоги.

Вхідні пристрої призначені для підведення до двигуна потрібної кількості повітря та перетворення швидкісного напору в тиск, можуть бути або складовою частиною двигуна, або частиною конструкції повітряного судна.

Вхідні пристрої повинні забезпечувати:

- можливо більші значення коефіцієнта збереження повного тиску;
- мале зовнішній опір;
- достатню рівномірність потоку на вході в компресор;
- стійку й надійну роботу двигуна на всіх режимах польоту і роботи двигунів.

### 2. Дозвукові і надзвукові вхідні пристрої, їх схеми і конструктивні елементи, способи регулювання. Матеріали, що використовуються для виготовлення вхідних пристроїв.

Найпростіший дозвуковий вхідний пристрій ТРД складається із зовнішнього обтічника 1 (рис. 1), корпусу 2 і внутрішнього обтічника 3. Зовнішній обтічник має профільовану передню кромку, що забезпечує плавне її обтікання повітрям і усуває зрив потоку, коли його напрямок не збігається з віссю. Для підвищення жорсткості до стінки обтічника приварені поздовжні та

поперечні профільовані елементи.

Внутрішній обтічник служить для плавного перетворення повітряного потоку кругового перерізу кільцевої потік. Обтічник виготовлені з листового матеріалу АМц та АМг. Його роблять нероз'ємним або з роз'ємом у поздовжній площині.

У вхідному пристрої ТГД внутрішній обтічник утворюється обтічниками втулки повітряного гвинта 1 (рис. 2) і редуктора корпусу 4.

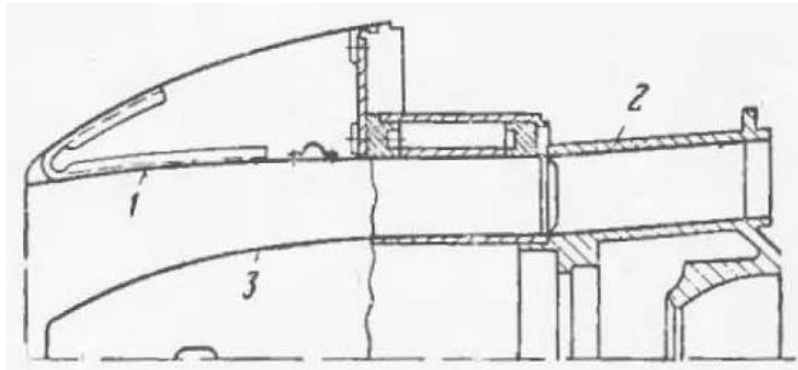


Рис. 1. Дозвуковий вхідний пристрій ТРД

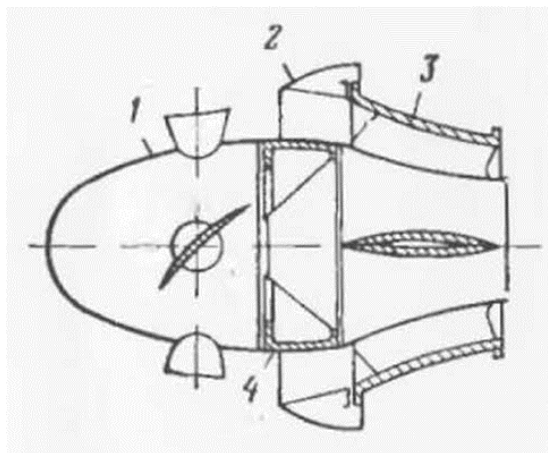


Рис. 2. Вхідний пристрій ТГД: 1-обтічник втулки повітряного гвинта; 2 - зовнішнім обтічником; 3 - корпус вхідного пристрою; 4 - обтічник корпусу редуктора

Надзвукові вхідні пристрої застосовують на великих надзвукових швидкостях польоту ( $M > 1,5$ ) для максимальної ефективної тяги. Ці вхідні пристрої діляться на дифузори із внутрішнім, зовнішнім та змішаним стисненням (рис.3).

У дифузорі із зовнішнім стисненням (рис. 3, а) стиск здійснюється в системі косих стрибків ущільнення, число яких залежить від геометрії центрального тіла. Перший косий стрибок утворюється на вершині першого конуса, два інших - у місцях переходу одного конуса в інший, і закінчується система косих стрибків прямим стрибком, який виникає у горлі дифузора.

Для виготовлення зовнішньої обичайки та конуса застосовують:

- при розрахунковій швидкості польоту в діапазоні малих надзвукових чисел  $M$ -листовий матеріал з алюмінієвих сплавів товщиною 1,2-2,5 мм;
- для числа  $M = 2,5$  – сталь (температура нагріву  $215^{\circ}\text{C}$  та більше);
- при числі  $M = 3,5$  - жароміцну леговану сталь, (температура нагріву більше  $475^{\circ}\text{C}$ ).

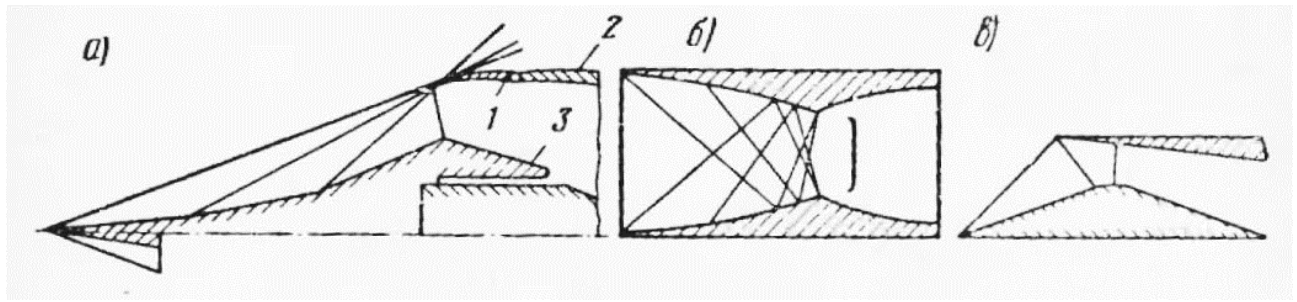


Рис. 3. Схеми надзвукових дифузорів:

а - дифузор із зовнішнім стисненням (1-ступка; 2-зовнішній обтічник; 3-центральне тіло);  
б-дифузор з внутрішнім стисненням; в-дифузор зі змішаним стисненням

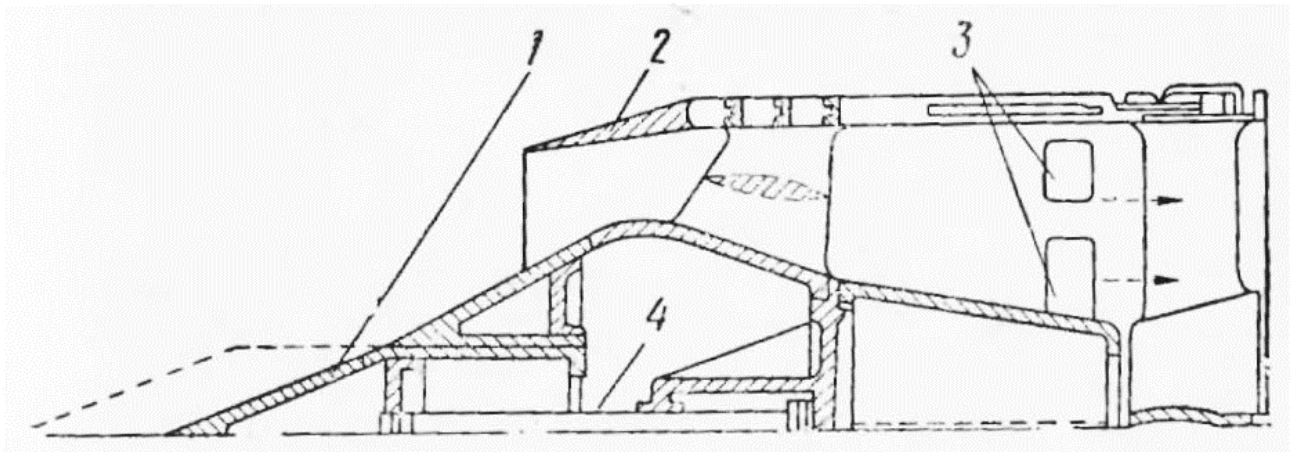


Рис. 4. Надзвуковий регульований вхідний пристрій із зовнішнім стиском: 1-ступінчастий конус; 2-зовнішній обтічник; 3-вікна; 4-сервопоршень

Перевага - здатність сталої роботи у широкому діапазоні швидкостей польоту, у результаті збільшується надійність роботи силової установки. Недолік – порівняно великий лобовий опір через наявність центрального тіла.

У дифузорі з внутрішнім стисненням (див. рис. 3 б) виникає система первинних і відбитих косих стрибків, число яких може бути різним і визначається профілюванням каналу. Перевага - малий зовнішній опір. Недолік - не вдається здійснити стійкий процес стиснення з високим к. к. д. в досить широкому діапазоні чисел  $M$  польоту.

У дифузорі зі змішаним стисненням (див. рис. 3, в) стрибки ущільнення розташовані і всередині та поза дифузорею. За своїми властивостями він займає проміжне положення між двома вищеописаними.

Важливою особливістю роботи надзвукового дифузора є узгодження витрати повітря, що проходить через дифузор та компресор. Це можливо тільки на розрахунковому режимі польоту, коли всі стрибки ущільнення проходять через передній край зовнішньої обичайки. У польоті на надзвукових швидкостях при невідповідності витрати повітря, що проходить через дифузор, з необхідною кількістю повітря для нормальної роботи двигуна відбувається порушення стійкої роботи вхідного пристрою, настає помпаж.

Для забезпечення стійкої роботи вхідного пристрою у широкому діапазоні чисел  $M$  польоту застосовують регульовані дифузори.

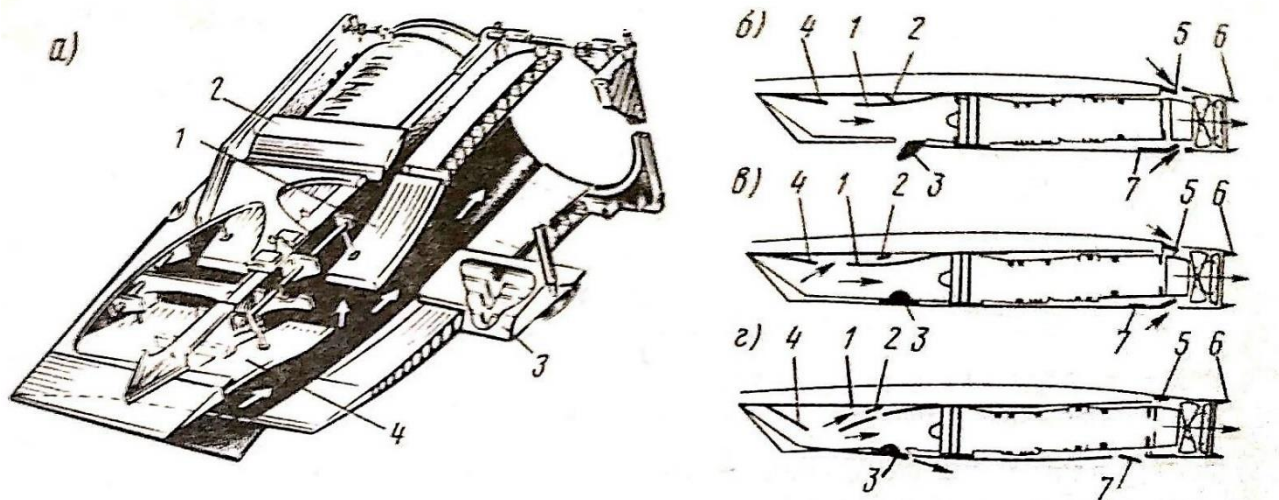


Рис. 5. Надзвуковий регульований дифузор зі змішаним стисненням

Регулювання дифузора може здійснюватися:

- застосуванням рухомого центрального тіла 1 (див. рис. 4), яке при зміні швидкості польоту переміщується в каналі змінного діаметра, регулюючи площу горла дифузора та забезпечуючи розрахункове положення стрибків ущільнень, завдяки чому узгоджуються витрати повітря через дифузор та компресор;

- застосуванням перепускних стулок 1 (див. рис. 5, а), які забезпечують додаткове надходження повітря з атмосфери (крім надходження його через основний вхід) та стулок 1 (див. рис. 5, в), які перепускають частину повітря в атмосферу.

### 3. Захисні пристрої повітрозбірників.

#### Захист від льоду

Зледеніння елементів вхідного пристрою і лопаток вхідного напрямного апарату стає можливим, якщо в польоті або при роботі двигуна на землі температура зовнішнього повітря буде  $5^{\circ}\text{C}$  і нижче, а вологість повітря лежить в межах  $1\text{--}2\text{ г/м}^3$  і більше. Крім того, зледеніння можливе при польоті в тумані та хмарах.

Краплі води, перебуваючи у зваженому стані навіть при температурі нижче  $-20^{\circ}\text{C}$  і маючи діаметр близько  $10\text{--}20\text{ мк}$ , при зустрічі з перешкодою замерзають на ньому, утворюючи лід. Зледеніння елементів двигуна призводить до зменшення площі прохідних перерізів, внаслідок чого знижується витрата повітря через двигун, що супроводжується падінням його тяги, зростанням питомої витрати палива, збільшенням температури газу перед турбіною та нерівномірності потоку на вході в компресор. Частинки льоду, що відкололися в результаті трясіння елементів конструкції, потрапляють на робочі лопатки компресора і викликають появу вибоїн, які згодом можуть розвинути в тріщини, що призводить до обриву лопаток і руйнування компресора. У ГТД лід утворюється на носку повітрозбірника, лопатках напрямного апарату і лопатках першого ступеня компресора, а також

нерухомих поверхнях, розташованих у вхідному каналі двигуна.

Для запобігання зледеніння використовуються такі способи:

- підігрів стінок елементів вхідного пристрою, а також лопаток перших ступенів компресора;
- впорскування під вхідний пристрій двигуна рідини;
- нанесення спеціальних покриттів і матеріалів, що перешкоджають накопиченню льоду на елементах двигуна.

Для авіаційних двигунів в даний час найбільше застосування знайшов перший спосіб - підігрів елементів вхідного пристрою і деталей компресора (повітрозабірник, приймачі тиску і температури на вході в двигун, конус-обтічник, стійки, лопатки ВНА).

Джерелами тепла для підігріву елементів вхідного пристрою та деталей компресора можуть бути:

- повітря, що відбирається через одного із ступенів компресора;
- масло з маслосистеми двигуна;
- гази, що відбираються з камери згоряння або з турбіни двигуна;
- гази, що виробляються в спеціальній допоміжній камері згоряння;
- електричний підігрів.

Обігрів теплим повітрям з температурою до  $250^{\circ}\text{C}$ , що відбирається від компресора, є найбільш простим, і тому він набув найбільшого поширення (Рис.6). Повітря підводиться до обігріваємих деталей тільки при умовах обледеніння. Пройшовши систему підігріву, тепле повітря зазвичай викидається в проточну частину зовнішнього контуру двигуна. В одноконтурних двигунах повітря скидається в атмосферу.

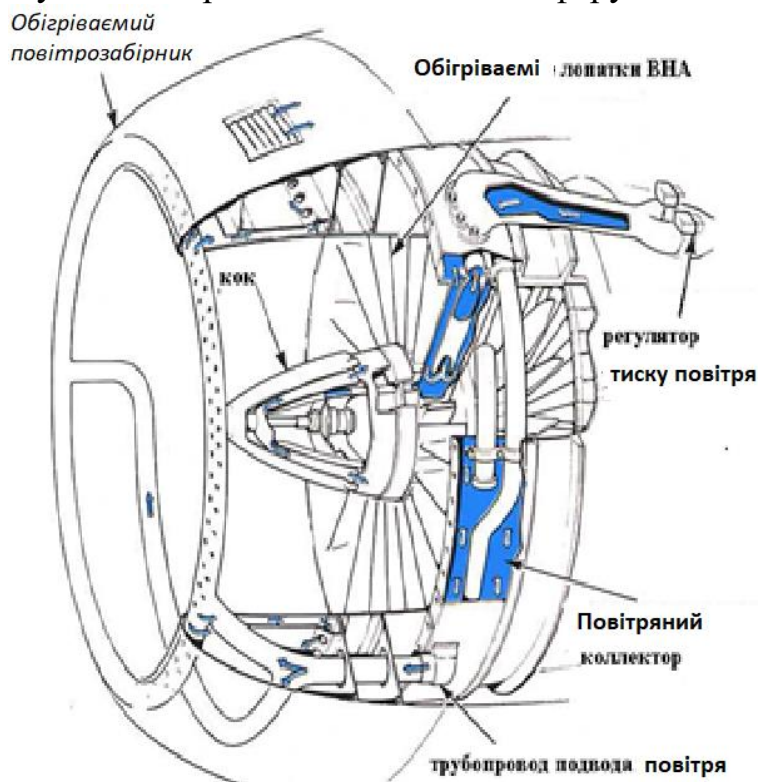


Рис.6. Схема повітряно-теплової ПОС двигуна

### *Захист від попадання сторонніх предметів*

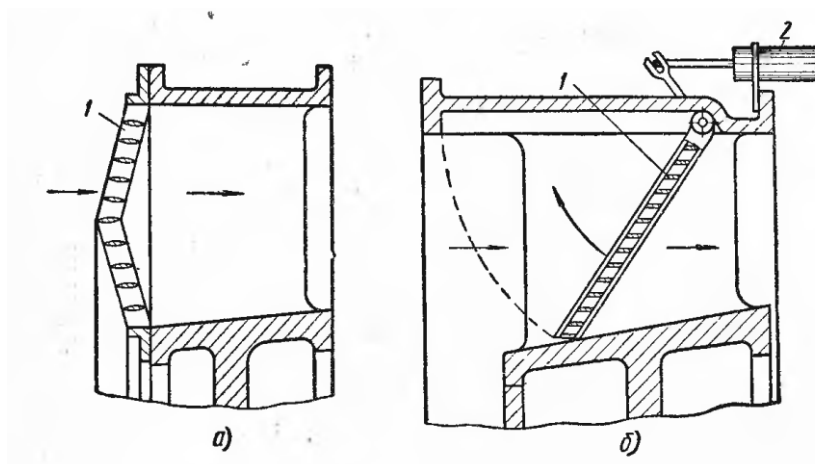
Велика кількість двигунів знімається з повітряного судна до відпрацювання ними гарантійного ресурса через пошкодження компресора сторонніми предметами, які потрапили на вхід двигуна при експлуатації.

Пошкодження газоповітряного тракту в основному походять від попадання в двигун часток зносу з ЗПС, пилу, льоду, води, дроту щіток снігоочисників, граду, птахів і т.д.

У зв'язку з необхідністю базування літальних апаратів (особливо вертольотів) на ґрунтових аеродромах, а також польотів поблизу землі в районах з високою запиленістю повітря, конструкція вхідного пристрою повинна забезпечувати очистку повітря від сторонніх предметів.

Очищення повітря на вході в двигун від сторонніх предметів здійснюється:

- застосуванням керованих сіток, перекриваючих вхід в двигун на відповідних режимах (рис.7);
- використанням викривлень повітропідвідних каналів для організації інерційної очистки повітря шляхом установки в місцях повороту потоку віконпасток;
- застосуванням роторних систем захисту, в котрих очищення повітря від сторонніх предметів здійснюється спеціальним ступенем, встановленим перед входом в двигун.



- Рис.7 Застосування керованих сіток



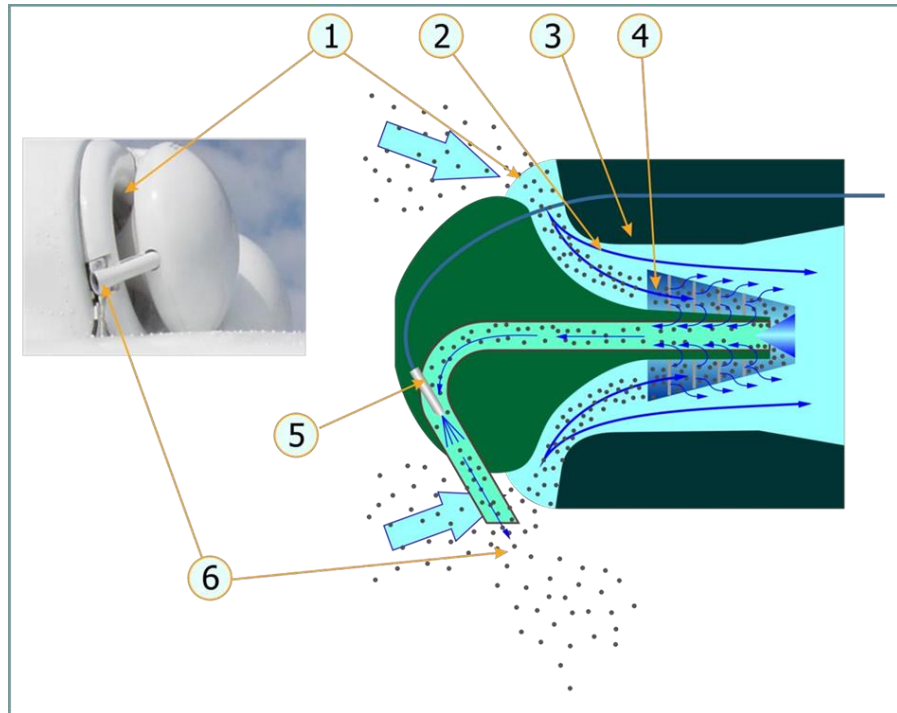


Рис.8 Пилозахисний пристрій інерційного типу

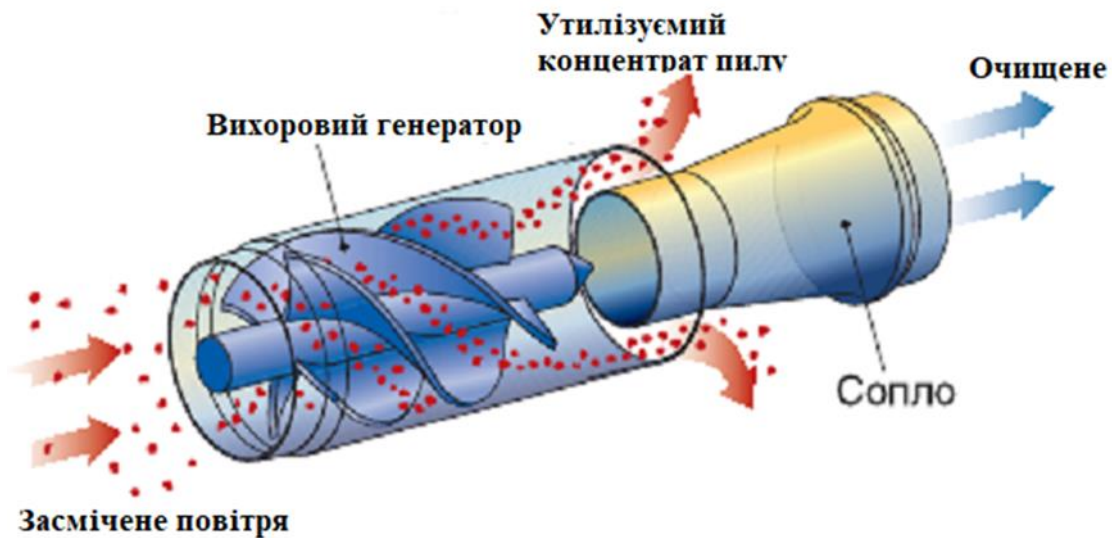


Рис.9 Пилозахисний пристрій циклонного типу

### 5. Сили, діючі на елементи повітрозбірника і викликаємі напруги.

Повітряний потік, проходячи через профільований канал вхідного пристрою, взаємодіє з ним. Статична дія повітряного потоку на елементи вхідного пристрою визначається статичним тиском повітря на відповідну площу. При цьому з'являються напруги стиснення, якщо двигун працює на землі, і розтягування - у польоті.

$$P_{\text{овх}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}} = p_2 F_2 - p_1 F_1 + \frac{G_{\text{в}}}{g} (c_2 - c_1).$$

Ця сила діє на внутрішні стінки каналу вхідного пристрою та на стінки внутрішнього конуса (обтікача).

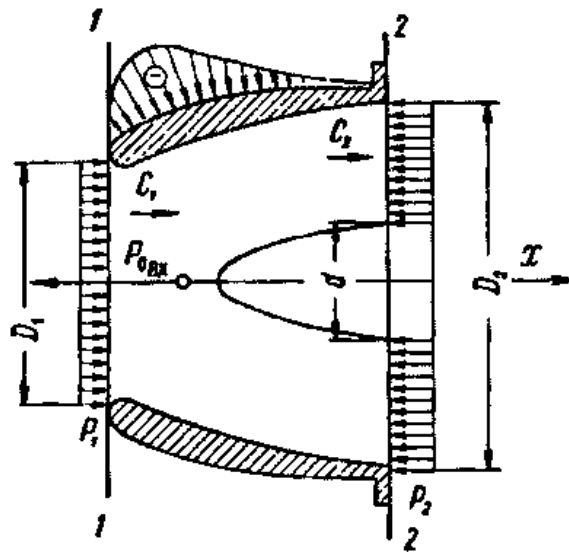


Рис. 10. До визначення осової сили, що діє на вхідний пристрій ТРД із осовим компресором

Напрямок  $P_{0вх}$  збігається з напрямком польоту, тому болти кріплення вхідного пристрою двигуна працюють на розтяг, а сам вхідний пристрій бере участь у створенні реактивної тяги.

Для визначення сил, що діють на фланець кріплення вхідного пристрою, потрібно врахувати (за допомогою розрахунку або за даними продування в аеродинамічній трубі) тиск повітря на зовнішню обшивку обтічника. Епюр тиск на передній поверхні показаний на рис. 10. Крім зусиль від впливу потоку, у вхідному пристрої виникають зусилля від ваги конструкції та від інерційних навантажень, що з'являються під час еволюції літака.