

УДК 531.04

О.Ю. Шурда

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

Національний авіаційний університет, Україна

*Проведений аналіз основних характеристик методів і засобів вимірювань параметрів ГТД дозволяє спростити математичну обробку при оптимізації рішень по вибору складу засобів і методів вимірювань з урахуванням вимог, що пред'являються до випробувань двигунів.*

*Аналіз метрологічних і технічних характеристик засобів вимірювань за видами вимірювань, що застосовуються при випробуваннях ГТД, дозволяє створити банк даних в програмі ЕОМ по застосовуваних засобах вимірювань з мінімізацією витрат на метрологічне забезпечення випробувань на підприємстві.*

*Ключові слова: метрологічне забезпечення виробництва, методи та засоби вимірювання, газотурбінні двигуни, прилади неруйнівного контролю.*

**Вступ**

Подальше підвищення ефективності метрологічного забезпечення виробництва та випробувань газотурбінних двигунів (ГТД) має проводитися з урахуванням таких положень:

Підвищення ресурсу та надійності газотурбінних двигунів - одна з важливих завдань, яке вирішується, зокрема, при проведенні вимірювань з усім арсеналом приладів та технічних засобів, необхідних для контролю та випробувань двигунів. Ефективність цих приладів закладається на стадії розробки двигуна, коли реалізуються вимоги, що забезпечують можливість оптимального контролю та вимірювань всіх основних параметрів двигуна з оптимальними витратами.

Аналіз вимог, що пред'являються до точності параметрів ГТД, дозволяє отримувати вихідні дані для вибору методики вимірювань, автоматизованого вибору засобів і методів вимірювань, процедури градування вимірювальних каналів, обробки результатів вимірювань.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Метрологічне забезпечення випробувань це - становлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, метрологічних правил до норм, необхідних для отримання достовірної вимірювальної інформації про значення показників якості та безпеки продукції та послуг, а також про значення характеристик впливають факторів і (або) режимів функціонування об'єкта при випробуваннях, інших умов випробувань [1-7].

В даний час метрологічне забезпечення прийнято розуміти в широкому і у вузькому значенні. У широкому значенні воно включає: теорію і методи вимірювань і контролю, теорію і методи забезпечення точності та єдності вимірювань; методи і засоби забезпечення достовірного контролю параметрів і характеристик технічних пристроїв; засоби вимірювань і контролю; організаційно-технічні питання забезпечення єдності і точності вимірів, включаючи нормативно-технічні документи, що регламентують порядок і правила виконання робіт із забезпечення єдності і точності вимірів, а також забезпечення працездатності та ремонту засобів вимірювань і контролю [5-7].

На підприємствах авіаційної галузі, де проводять випробування з метою обов'язкової сертифікації та в інших сферах поширення державного метрологічного контролю і нагляду, повинна бути створена метрологічна служба чи інша організаційна структура по забезпеченню єдності вимірювань [3-5].

**Постановка задачі.** Проаналізувати сучасний стан метрологічного забезпечення випробувань на підприємствах авіаційної галузі

**Розв'язання задачі**

В останні роки приділяється все більше уваги зміни та аналізу швидкозмінних процесів, що відбуваються в газоповітряному тракті і механічних конструкціях. Обробка великого обсягу одержуваної інформації здійснюється автоматизованими вимірювально-обчислювальними комплексами і пристроями.

При здійсненні аналізу методів і засобів, що застосовуються при випробуваннях ГТД, далі будуть розглянуті такі види вимірювань, як тиск, температура, сила, витратометрія, частота і швидкість, а також перетворювачі, реєструючі прилади та токоз'ємні пристрої, прилади

неруйнівного контролю та технічної діагностики, що дозволяє отримати вихідні дані для призначення методик виконання вимірювань, автоматизованого вибору засобів вимірювань, процедури градування вимірювальних каналів, обробки результатів вимірювань. Аналіз вимог, що пред'являються до точності параметрів ГТД, засобів вимірювань, дозволяє отримати алгоритм пошуку оптимальних рішень по вибору складу засобів вимірювань з урахуванням вимог, що пред'являються до випробувань. Результатом загальної оцінки технічного і метрологічного рівня засобів вимірювань, що застосовуються при випробуваннях, є оцінка допустимої похибки вимірювань з урахуванням норм точності на параметри ГТД.

Якщо необхідно скористатися активним опором для вимірювання температури, як вихідний матеріал застосовують звичайно мідь або платину. Як резистивні перетворювачі температури використовуються і напівпровідники. Індуктивні перетворювачі засновані на зміні індуктивності.

Розглянемо найбільш простий індуктивний перетворювач, що складається з магнітопровода з обмотками  $W$ , якоря і електричного кола, що живиться змінним струмом. Індуктивність ланцюга, що містить сердечник з залізом і повітряний зазор, дорівнюватиме:

$$L = \frac{W^2}{R_M} = \frac{W^2}{R_{M.ст} + \frac{2\delta}{\mu_0 S}} \quad (1)$$

де  $R_M$ -повний опір магнітної ланцюга,  $R_{M.ст}$ - магнітний опір сердечника з залізом,  $\delta$ -зазор,  $\mu_0$ -магнітна проникність повітря.

Для спрощення завдання можна вважати, що

$$R_{M.ст} \ll \frac{2\delta}{\mu_0 S} \quad (2)$$

Тому

$$L \approx \frac{W^2 \mu_0 S}{2\delta} \quad (3)$$

Таким чином, якщо зазор  $\delta$  дорівнює нулю, то індуктивність  $L$  велика, а струм у вимірювальному колі, що протікає через опір  $R$ , близький нулю.

Якщо якір переміщати, збільшуючи зазор  $\delta$ , опір магнітної ланцюга зростає, індуктивність  $L$  при цьому падає, а вихідний сигнал збільшується. Однак такий спрощений перетворювач має ряд недоліків і застосовується рідко. Тому частіше використовують диференціальну схему. Перетворювач складається з двох секцій з обмотками  $W_1$  і  $W_2$ , і, коли якір знаходиться в середньому положенні і зазори рівні, диференціальна схема симетрична і врівноважена, тобто точки  $J_1$  і  $J_2$  рівні й протилежні за напрямком. Якщо якір перемістити, симетрія схеми порушується і у вихідний ланцюга з'являється напруга, що характеризує переміщення якоря. Диференціальна схема дає більш лінійну характеристику.

На газоперекачувальному агрегаті передбачено вимір великого числа параметрів: температури, тиску, різниці тисків, оборотів, рівня. Основна частина параметрів вимірюється дистанційно за допомогою перетворення поточного значення в аналоговий електричний сигнал, який передається на вимірювальний прилад, встановлений на головному щиті управління компресорним цехом. З числа дистанційно вимірюваних виділяється сім найбільш важливих параметрів, що визначають режим агрегату:

- температура продуктів згоряння перед ТВД і за ТНД;
- частоти обертання валів ТВД і ТНД;
- тиск газу до і після нагнітача;
- тиск повітря після компресора;
- перепад тиску "масло-газ" в системі ущільнення нагнітача.

Для вимірювання цих параметрів на пристрої подання інформації установки централізованого контролю та управління А-705-15-03 є індивідуальні показуючі і реєструючі прилади. Вимірювання інших параметрів в установці А-705-15-03 здійснюється перетворенням всіх дистанційно вимірюваних параметрів в аналоговий сигнал з поданням на багатошкальний прилад за викликом.

Частина параметрів, поточні значення яких зрідка можуть зацікавити оператора при нормальній експлуатації агрегату, вимірюються приладами, встановленими в машзалі в районі агрегату. Зазвичай ці прилади одночасно виконують роль датчиків в ланцюгах управління і захисту, перетворюючи вимірюваний параметр в дискретний електричний сигнал.

### Вимірювання тиску

Вимірювання тиску по газоповітряного тракту двигуна характеризується великим числом точок вимірювань, широким діапазоном вимірювань величин та вимогами високої точності. Значна частина вимірів є проміжним етапом для визначення і розрахунку витрати повітря. Крім вимірювань тиску повітря й газу, вимірюється тиск палива і масла. Для дослідження газодинамічної стійкості вимірюється пульсуюче тиск в широкому діапазоні частот.

У загальному випадку розрізняють абсолютну, надмірне і диференціальне тиск. Диференціальне тиск або перепад тисків вимірюють як різниця двох тисків, де одне тиск вимірюють щодо іншого. Тиск по відношенню до вакууму є барометричний тиск  $B_0$ . Зв'язок між абсолютним тиском  $P_{абс}$ , надлишковим

$$P_{надл} \text{ і барометричним встановлюється формулою} \\ P_{абс} = P_{надл} + B_0 \quad (2.1)$$

Якщо вимірювання тиску проводиться в рухомому потоці, що має місце при випробуванні двигунів, вводиться поняття повного  $p^*$  та статичного  $p$  тисків. Під повним тиском розуміють тиск адіабатично загальмованого потоку, тобто тиск, який відчуває плоске тіло, поставлене перпендикулярно вектору швидкості.

Статичний тиск визначається по впливу на нерухомий плоский елемент, розташований паралельно вектору швидкості.

Застосовувані засоби вимірювань тисків досить різноманітні:

- 1) пружинні (механічні) манометри;
- 2) рідинні п'єзометри;
- 3) електромеханічні (електричні та параметричні перетворювачі потенціометричного, тензометричного, індуктивного і ємнісного типів);
- 4) вібраційно-частотні;
- 5) з силовою компенсацією.

Цей перелік далеко не повний і відображає тільки основні типи засобів вимірювань, що застосовуються при випробуваннях ГТД.

На рис.1.1 наведено схеми класифікації та основні похибки перетворювачів тиску і перепадів тисків, які використовуються при випробуваннях ГТД. В основу системи класифікації покладений принцип дії та схема перетворень тисків.

Найбільш поширеними є пружинні і рідинні манометри. В пружинних манометрах як чутливий елемент, що сприймає тиск, використовують різного виду мембрани, сільфони, трубки Бурдона, з'єднані з передавальним механізмом і відліковим пристроєм, виконаним зазвичай у вигляді стрілки і шкали. Точність їх невисока (хоча існують і зразкові манометри більш високого класу), але вони чутливі до вібрацій. З рідинних манометрів найбільш відомі водяні п'єзометри, що набираються в батареї з декількох трубок для виміру перепадів тисків. Вони володіють високою точністю, але громіздкі і незручні в експлуатації. Ці прилади були замінені більш досконаліми і зручними в експлуатації електричними засобами вимірювань тиску з тензометричними і індуктивними перетворювачами. Ємнісні перетворювачі не знайшли широкого застосування.

Вимірювання тиску і перепаду тисків проводиться манометрами і дифманометрами, які встановлюються на щиті районі агрегату або за місцем.

Для вимірювання перепаду тиску на сітці датчика утворення льоду використовується сільфонний дифманометр типу ДСП-778-Н. Принцип дії сільфонного блоку заснований на залежності між вимірюваним перепадом тиску і пружною деформацією гвинтових циліндричних пружин сільфона. Датчик утворення льоду являє собою сітку, вбудовану в інжектор. Інжектор встановлений на зовнішній стороні камери повітроочисного пристрою після пиловловлюючих сіток. До інжектору підводиться стиснуте повітря з осьового компресора, який, розширюючись, підсмоктується повітря з камери фільтрів. За умов, що сприяють утворенню льоду на лопатках вхідного направляючого апарату осьового компресора, на сітці датчика утворюється лід, що супроводжується збільшенням перепаду тисків на сітці, який фіксується дифманометрів. Подається попереджувальний сигнал, що необхідно включити систему обігріву.

Для дистанційного вимірювання перепаду тисків газу на конфузорові нагнітача, перетворення його в електричний сигнал і передачі сигналу на вторинний прилад використовується

дифманометр мембранний типу ДМ.

Для контролю перепаду тисків газу на крані 1, "масло-газ" в системі ущільнення нагнітача, масла на фільтрах тонкого очищення і повітря на фільтрах в системі регулювання використовується реле тиску диференціальне типу РДД-1. Основне завдання реле - видати електричний сигнал при досягненні встановленого значення. Межі налаштування різниці тисків, при якій спрацьовує реле, від 0,03 до 0,63 МПа. Статичний тиск робочого середовища не більше 8,8 МПа.

Ступінь розрідження перед осьовим компресором визначається за допомогою датчика тяги ДТ-250, принцип дії якого заснований на зрівноважуванні сили, створюваної розрідженням контрольованого середовища на чутливий елемент (мембрану), силами пружних деформацій гвинтовий пружини. Датчик виготовляється із зоною нечутливості, спрямованої в бік підвищення (щодо уставки) розрідження контрольованого середовища. Встановлення здійснюється за шкалою датчика або по контрольному манометру при прямому спрацьовуванні мікроперемикача.

Захист по осьовому зрушенню здійснюється за допомогою двох електроконтактів манометрів (осьовий зсув ТНД - одним манометром), нормально розімкнуті контакти, яких Запаралеленими і замикаються в залежності від напрямку зсуву. Зсув валу і збільшення тиску при зменшенні зазору більш помітні, ніж зменшення тиску при збільшенні зазору.

Для безперервного перетворення тисків газу на вході і виході нагнітача в пропорційний електричний сигнал використовуються вибухозахищені манометри типу МП з вихідним електричним аналоговим сигналом 0-20 мА постійного струму. Датчики побудовані на принципі електричної силової компенсації і складаються з трьох уніфікованих блоків: вимірювального блоку, електросилового перетворювача і напівпровідникового підсилювача.

Для безперервної видачі інформації про тиск масла мастила у вигляді 10 мВ -- уніфікованого сигналу - взаємної індуктивності 0 використовується манометр типу ПЕД. Принцип дії датчика заснований на деформації манометричної пружини при наявності надлишкового тиску.

Для контролю тиску та перепадів тиску використовуються також перетворювачі тензорезисторні вибухозахищені типу "Сапфір". Вони забезпечують безперервне перетворення тиску (надлишкового або абсолютного) і різниці тисків в уніфікований вихідний сигнал 0-20 мА. Перетворювачі складаються з двох функціональних пристроїв: первинного перетворювача, блоку живлення і захисту.

Принцип дії перетворювача заснований на використанні тензоефекту в напівпровідниках. Вплив вимірюваного параметра викликає зміну опору тензорезисторів, нанесених на чутливий елемент тензомодуля, який розміщений усередині вимірювального блоку первинного перетворювача. Ця зміна опору тензорезисторів перетвориться за допомогою вбудованого електронного пристрою в пропорційний струмовий вихідний сигнал первинного перетворювача. Зазначений вихідний сигнал перетвориться в уніфікований струмовий сигнал 0-20 мА.

### **Висновки**

Встановлені задачі метрологічної служби газоперекачувального підприємства відповідно до діючих стандартів та нормативних документів.

Встановлено, що метрологічне забезпечення випробувань має чотири основи: наукову, організаційну, технічну та нормативно-правову.

Встановлено цілі та задачі метрологічного забезпечення випробувань.

Розроблені методи і вибрані засоби вимірювань та контролю за випробуванням вживані при випробуваннях ГТД.

### **Література**

1. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений — М.: Мир, 1990.
2. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. — М.: 1/1 изд-во стандартов 1991.
3. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. — М.: Высш. шк., 2001.— 205 с.
4. Кузьминов Г.П. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. ЛПА им. С.М.Кирова- Л, 1974.- 89с.
5. Казаков А.В., Кулаков М.В., Мелюшев Ю.К. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М.: Машиностроение, 1970.- 374 с.
6. Зайдель А.Я. Ошибки измерений физических величин /А.Я.Зайдель. - Л.: Наука, 1974.
7. Бурдук Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.; Издательство стандартов, 1984.