

Лекція 4

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВТ

Як вже було розглянуто на попередніх лекціях, розрізняють статичні (функція перетворення) та динамічні (передатна функція, перехідна та імпульсна характеристики) характеристики. Існує декілька методів досліджень цих характеристик:

1. Метод лінійного сигналу.
2. Аналітичний метод
3. Метод розв'язання оберненої задачі вимірювань.

Розглянемо більш детально метод лінійного сигналу при якому вхідна дія подається безпосередньо на ЗВТ.

1. Визначення ДХ методом лінійного сигналу.

Для визначення ДХ датчиків тиску методом лінійного сигналу використовують спеціалізовані вимірювальні стенди. На рис.4.1 приведено стенд з використанням атестованої ударної камери та ступінчатого тиску для отримання динамічних характеристик датчиків тиску. Ступінчатий тиск створювався за допомогою підриву відповідного піропатрона. З датчиком проводилось 10 випробовувань, отримані вимірювальні дані потім усереднювались. Всі вимірювання проводились синхронно в єдиному масштабі часу. Періодичність вимірювань в кожній з 10 серій становила 30 хв., а тривалість часової вибірки кожної серії – 1 хв. Періодичність вимірювань в 30 хв визначалась необхідністю скидання тиску до сталого атмосферного та заміни піропатрона. Дискретність вимірювань всередині однієї часової вибірки становила 5 мкс. Отже, отриманий масив даних розмірністю $1 \times 12 \cdot 10^6$ вимірюваних часових вибірок записувався на жорсткий диск для подальшої обробки. Обробка отриманих в результаті серії експериментів вимірювальних

часових вибірок імпульсних характеристик проводилась з використанням пакету Origin Pro. Для кожного датчика дані усереднювались за 10 випробовувань.

В результаті експериментальних випробовувань датчиків тиску були визначені:

- перехідна характеристика датчика $G(t)$;
- постійна часу датчика тиску τ_{δ} ;
- час затримки датчика t_3 ;
- імпульсна характеристика датчика $H(t)$;
- ширина імпульсної характеристики τ_{ix} .

Визначені за результатами експериментів усереднені перехідна та імпульсна характеристики датчика тиску з терміном служби 1 рік приведені відповідно на рис. 4.2 та рис. 4.3. Були визначені такі параметри перехідної характеристики датчика як його постійна часу τ_{δ} та час затримки t_3 . Для того щоб підтвердити лінійність датчика тиску, були проведені додаткові дослідження його функції перетворення (ФП) на калібрувальному стенді виробника датчиків ПрАТ "Манометр-Харків". Результати досліджень у вигляді графіка ФП показані на рис. 4. 4.

Для того щоб підтвердити лінійність датчика тиску, були проведені додаткові дослідження його функції перетворення (ФП) на калібрувальному стенді виробника датчиків ПрАТ "Манометр-Харків". Результати досліджень у вигляді графіка ФП показані на рис. 2.6.

Експериментально встановлено, що функція перетворення (рис. 4.4) має лінійний характер і з досить високою точністю може бути апроксимована виразом:

$$U = 0.098 + 0.184 \cdot P.$$

Відносна похибка δ_U апроксимації експериментально отриманої ФП $U(P)$ не перевищує $\delta_U \leq \pm 0.3\%$, що в повній мірі відповідає вимогам технічних умов ДК ПП 33.20.52.830 на випробовувані датчики тиску - $\delta_{TV} \leq \pm 0.5\%$.

Таким чином, можна вважати, що датчик тиску є лінійним, а незначні перехідні процеси у перехідній характеристиці викликані не нелінійністю датчика. Для виявлення причин подібних перехідних процесів було проведено дослідження впливу "старіння" датчика тиску на його статичні та динамічні характеристики.

2. Вплив «старіння» датчиків на статичні характеристики ЗВТ

Дослідження впливу процесу "старіння" датчиків тиску на їх статичні та ДХ проводилось у два етапи. Спочатку з однотипними датчиками тиску однієї партії виготовлення згідно з розробленою методикою проводились випробовування методом прискореного термічного "старіння". Тривалість випробовування визначалась еквівалентним терміном роботи датчика (рівнем його "старіння"). Після термічного випробовування на калібрувальному стенді перевірялось калібрування кожного датчика, тобто досліджувались статичні характеристики датчиків – їх ФП. Метою цих досліджень було вивчення впливу "старіння" датчика на його лінійність та визначення відхилень характеристик перетворення датчиків від номінальної статичної характеристики.

На другому етапі досліджень для кожного датчика з відповідним рівнем "старіння" визначались ДХ, які потім порівнювались з ДХ, які він мав до його випробовування методом прискореного термічного "старіння". Метою досліджень було: вивчення впливу "старіння" датчика тиску на його перехідну характеристику, постійну часу, час затримки та імпульсну характеристику; виявлення певних закономірностей зміни статичних і ДХ датчиків.

"Старіння" датчиків тиску викликане внутрішніми деградаційними процесами в процесі тривалої експлуатації на ТСО. Такі процеси можна створити штучно шляхом впливу на датчик підвищеної температури. Для цього проводились випробування згідно з технічними умовами на випробовування

(ТУ). При цьому застосовувалось обладнання і ЗВТ, які були повірені відповідно до ДСТУ 2708, калібровані відповідно до ДСТУ 3989 і опломбовані. Все випробне обладнання мало паспорти й було атестоване відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 24555. Використання ЗВТ і випробного обладнання, що не мали документів, які підтверджують їхню справність і метрологічну придатність, не допускались.

Вплив "старіння" датчиків тиску на їх статистичні характеристики досліджувався для кожної з груп датчиків окремо, результати експериментальних досліджень потім усереднювались. Експериментальні дослідження впливу "старіння" датчика на його лінійність та визначення відхилень ФП датчиків від номінальної статичної характеристики та аналіз їх результатів дозволили зробити важливі висновки. Експериментально встановлено, що незалежно від терміну їх експлуатації ФП датчиків на робочій ділянці (2...24 МПа) має лінійний характер (рис. 4.5).

Слід відзначити, що за рахунок "старіння" датчиків їх ФП зміщуються відносно ФП нового датчика (опорної ФП) і чим більший термін експлуатації, то тим більше це зміщення, але цілком піддається коректуванню в процесі калібрування датчиків. Проведені дослідження також показали, що "старіння" датчиків до еквівалентного терміну служби до 3 років практично не впливає на їх ФП. Характер графіка ФП не змінюється – ФП залишається лінійною. Таким чином, можна зробити висновок, що "старіння" датчиків не впливає на їх лінійність. В процесі експериментальних досліджень статичних характеристик датчиків було також вивчено вплив "старіння" датчиків на основну похибку вимірювань датчика тиску γ_c в залежності від діапазону зміни його вихідного сигналу:

$$\gamma_c = \pm \frac{P_g - P_H}{P_g} \cdot 100\% ,$$

де P_g – верхня межа вимірювань тиску;

P_n – нижня межа вимірювань тиску.

Встановлено, що з ростом терміну роботи датчика має зміщення ФП датчика, а це, в свою чергу, приводить до росту основної похибки вимірювань γ_c (рис.4.6). Слід відзначити, що у всіх експериментах відносна похибка вимірювань не перевищувала межі допустимої основної похибки вимірювань $\gamma_c < \pm 0.5\%$, але наближалась до неї. Факт росту відносної похибки вимірювань датчика тиску з ростом терміну його експлуатації свідчить про наявність дрейфу цієї похибки в часі. Зростання основної похибки вимірювань $\Delta\gamma_c$ носить систематичний характер і залежить як від діапазону зміни вихідного сигналу P_g/P_n датчика тиску, так і від терміну його роботи та лежить в межах від 0.02% до 0.04% (рис. 4.7).

Дослідження показали, що якщо термін експлуатації датчика тиску $t = (1...3)$ роки, то незалежно від діапазону зміни вихідного сигналу P_g/P_n датчика зростання основної похибки вимірювань $\Delta\gamma_c < \pm 0.01\%$. Для датчика з 10 річним терміном експлуатації $\pm 0.17\% \leq \Delta\gamma_c \leq \pm 0.45\%$, а це близько до межі допустимої основної похибки вимірювань $\gamma_c < \pm 0.5\%$.

Отже, основний вплив процесу "старіння" датчика тиску на його статичну ФП полягає в її зсуві і, як наслідок, в зростанні відносної допустимої похибки вимірювань тиску та появі дрейфу цієї похибки в часі.

3. Вплив «старіння» датчиків на динамічні характеристики ЗВТ

В процесі досліджень визначались перехідна та імпульсна характеристики і постійна часу датчиків тиску. Досліджувались датчики тиску рівень "старіння" яких був еквівалентний терміну експлуатації відповідно 1 рік, 5 років та 10 років. Результати експериментальних досліджень ПХ приведені на рис. 4.9.

Вони свідчать про те, що чим довше датчик знаходився в експлуатації, тим значніше проявляються випадкові спотворення переднього фронту його ПХ. Певної закономірності не було виявлено. Встановлено що визначений сумарний час затримки становив $t_3 = 20$ мс.

Постійні часу датчиків тиску τ_∂ визначались за їх ПХ. Так усереднені постійні часу τ_∂ для датчиків з термінами експлуатації 1, 5 та 10 років відповідно становили $\tau_{\partial 1} = 93$ мс, $\tau_{\partial 2} = 127$ мс, $\tau_{\partial 3} = 157$ мс. За отриманими експериментальними даними була встановлена залежність τ_∂ від терміну експлуатації t (рис. 4.10):

$$\tau_\partial = 77 + 12.6 \cdot t^{0.98} - 0.66 \cdot t^{1.9}.$$

Встановлено, що зростання τ_∂ в найбільшій мірі проходить в перші 5 років експлуатації (рис. 4.10), а в подальшому воно не є значним.

Таким чином, встановлено, що постійна часу датчика має властивість змінюватись при експлуатації і потребує, враховуючи специфіку ТСО, постійного контролю для кожного типу датчика і для кожного місця його установки.

Експериментальні дослідження датчиків тиску свідчать про те, що з ростом терміну експлуатації його імпульсна характеристика $H(t)$ спотворюється (рис. 4.11). Вона розширюється і деформується, а її амплітуда зменшується.

Відновлені за експериментальними імпульсними характеристиками АЧХ датчиків приведені на рис. 4.12. Внаслідок "старіння" датчиків зменшується амплітуда АЧХ.

Суттєвим є те, що за аналогією з тривалістю переднього фронту ПХ датчика це зменшення від A_{\max} до $0.632 \cdot A_{\max}$ проходить в перші 5 років експлуатації. Ширина смуги пропускання АЧХ датчика $\Delta f_{0.7} = 11$ Гц, на протязі досліджуваного терміну експлуатації залишається незмінною, а

амплітуда АЧХ в смузі 18...40 Гц (рис. 4.12) зменшується в залежності від рівня "старіння" датчика майже в 2 рази.

