

УДК 389:621.532.3

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙ ТИСКУ НЕСТАЦІОНАРНИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

© Долишній Б. В., Середюк О. Є., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Описано конструктивне вдосконалення манометра на базі серійного перетворювача тиску з метою підвищення точності вимірювання швидкоплинних нестационарних процесів. Проведені експериментальні дослідження його динамічних властивостей і описано апаратне забезпечення таких досліджень. Розглянуті особливості функціонування вдосконаленого манометра, завдяки яким досягається зменшення його похибки**

Підвищення ефективності функціонування енерготранспортного і енерго-використовуючого обладнання неможливе без детального вивчення його технологічних параметрів, які переважно є нестационарними процесами. Це стосується, насамперед, дослідження роботи поршневих газоперекачувальних агрегатів і спеціальних утилізаційних установок з використання теплоти нестационарних потоків відпрацьованих газів цих агрегатів і установок [1,2]. Враховуючи, що ефективність функціонування поршневих газоперекачувальних агрегатів, які експлуатуються в нафтогазовій галузі України, є невеликою (менше 30%), питання максимальної утилізації теплоти відпрацьованих газів є безумовно актуальним. Успішне вирішення цієї задачі дає можливість не тільки підвищити ефективність використання теплоти моторного палива, але й зменшити забруднення довкілля.

Порівняно із усталеними режимами роботи газотранспортного обладнання дослідження нестационарних умов теплообміну і руху газових потоків характеризується значно складнішим марематичним описом і базується на результатах експериментального вивчення вказаних процесів як функції параметрів досліджуваних потоків, наприклад, тиску, температури, витрати [3].

Аналіз інформаційно-довідкових матеріалів стосовно засобів вимірювання тиску і перепаду тиску [4-6] показав, що в них практично відсутні оцінки динамічних властивостей приладів у поєднанні з основними паспортними технічними і метрологічними характеристиками. Ця обставина вгаслідок наявності методичної похибки або виникнення суттєвої додаткової похибки в багатьох випадках може звести нанівець всі результати досліджень або спричинити до виявлення цілком неприродних і навіть з протилежним ефектом стосовно фізичної суті явищ і процесів. Тому питання вивчення і

кількісної оцінки динамічних властивостей засобів вимірювання тиску є актуальним.

Метою роботи є вдосконалення конструкції серійного манометра і експериментальна оцінка його динамічних властивостей для технічного за безпечення дослідження нестационарних швидкоплинних процесів газових потоків і, зокрема, відпрацьованих газів двигунів.

Практична основа вдосконалення манометра полягала у використанні як базового стандартного серійного високоточного перетворювача тиску, який водночас був би доступним, відносно недорогим, з уніфікованим стандартним електричним вихідним сигналом, доповненим електронними блоками з реєструючим вузлом, що дозволить суттєво розширити технічні характеристики приладу з метою точного вимірювання і реєстрації пульсацій тиску газового потоку.

Первинним перетворювачем розробленого швидкодіючого реєструючого вимірювача пульсацій тиску є перетворювач ППТс (рис. 1), технічна реалізація якого виконан на базі перетворювача тиску типу ИПД моделі 89007 з аналоговим вихідним сигналом (0 – 1) В для кожного із чотирьох діапазонів вимірювання з верхніми межами (6; 6.3; 10; 16) кПа і класом точності 0.06 [6]. Вихідний сигнал з ППТс поступає до вторинного перетворювача тиску ВПТс, який конструктивно реалізований на базі цифрового диференціального вольтметра постійного струму типу В2-34 і містить всі необхідні складові електронні блоки: задавач опорної напруги ЗОН, вимірювач різниці напруг ВРН, попередній підсилювач ПП. Під час вимірювання аналоговий вихідний сигнал перетворювача ППТс порівнюється з еталонним значенням напруги, яке задається за допомогою пристрою ЗОН диференціального вольтметра. Різниця напруг з ВРН підсилюється блоком ПП і

поступає на один з каналів швидкодіючого самописця С типу Н3030-4, який характеризується робочим частотним діапазоном (0 – 150) Гц. Самописець С має ступеневе поканальне підсилення реєстрованих сигналів, яке змінюється вибором

чутливості з ряду (0.1; 0.25; 0.5; 1.0; 2.5; 5.0) мВ/мм. Швидкість паперового носія (стрічки) можна також ступенєво змінювати згідно значень – (0.2; 0.5; 1.0; 5.0; 10; 25; 50; 100) мм/с.

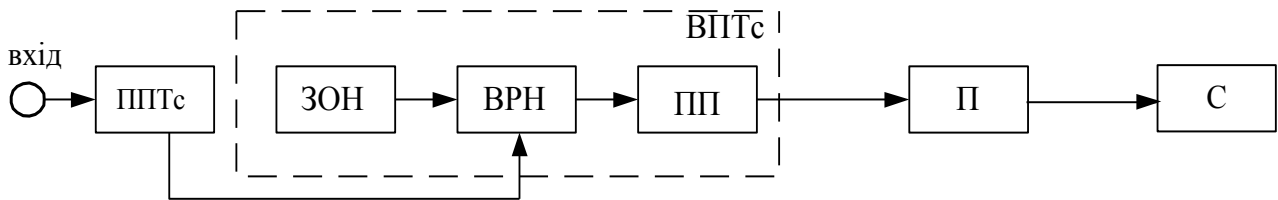


Рис. 1. Структурна схема пристрою для вимірювання пульсації тиску газового потоку

Так як розроблений пристрій не є стандартним засобом вимірювання і призначений перш за все для вимірювання та реєстрації пульсації тиску, то розглянемо його динамічні властивості в контексті з очікуваними значеннями досліджуваних параметрів.

Виходячи з умови, що робочий частотний діапазон обертів колінчастого валу досліджуваного агрегата знаходиться в межах  $(600 - 1600) \text{ хв}^{-1}$  [7,8], то очікуваний діапазон частоти пульсації визначається з формули:

$$\nu = \frac{1}{60} \cdot \frac{n}{k_u}, \quad (1)$$

де  $\nu$  – частота пульсації тиску, Гц;  $n$  – частота обертів колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $k_u$  – коефіцієнт циклічності пульсації, який залежить від тактності двигуна та кількості робочих циліндрів і, наприклад, для досліджуваного дизеля типу Д21А становить  $k_u = 2$ .

Згідно (1) максимальна досліджувана частота пульсації агрегата не перевищує 13.3 Гц.

Враховуючи, що робочий частотний діапазон самописця типу Н3030-4 (0 – 150) Гц суттєво перевищує розраховане значення очікуваного діапазону частот вимірюваних пульсацій, а застосовуваний при цьому електронний вольтметр типу В2-34 є практично безінерційним засобом порівняно з іншими використаними приладами, то стає очевидним, що динамічні властивості вдосконаленого манометра визначаються постійною часу первинного перетворювача тиску ППТс. Однак, враховуючи те, що як первинний перетворювач тиску застосовується серійний вимірювальний перетворювач типу ИПД-89007, а відомості про його динамічні властивості в паспортних даних [6] не наводяться, то динамічні характеристики цього перетворювача визначалися дослідним шляхом.

Розроблена схема дослідження динамічних характеристик (рис.2а) структурно відображає канал

вимірювання пульсації тиску, який містить три основні складові: первинний перетворювач тиску ППТс, диференціальний вольтметр ДВ і самописець С.

До ППТс пневматичними лініями під'єднані задавач тиску (ЗТ), манометр показуючий (МП) і вентиль (В). Під час дослідження задавачем ЗТ створювався тиск на вході ППТс, значення якого контролювалося манометром МП типу ММН-240. Потім при різкому зменшенні цього тиску шляхом відкриття вентиля В здійснювалася реєстрація перехідного процесу давача ППТс. Отримані результати (рис.2б) засвідчують, що динамічні властивості давача тиску відповідають за формою перехідної характеристики аперіодичній ланці першого порядку. Це дало можливість визначити постійну часу давача шляхом відліку тривалості досягнення вихідним сигналом амплітуди, яка відповідає 0.632 долі усталеного амплітудного значення [9]. При цьому значення постійної часу визначалося, виходячи із швидкості переміщення стрічки самописця. За графіком (рис.2б) експериментально зафіксоване значення постійної часу  $T_p$ , яке становить 0.24 с. Це вказує на необхідність врахування динамічних властивостей давача при вимірюванні амплітуди пульсації тиску.

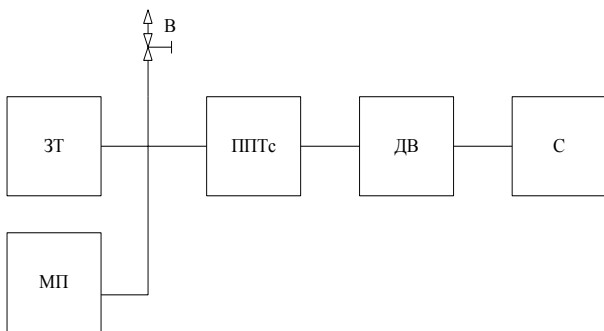
Виходячи з структурної схеми розробленого манометра і експериментально встановлених динамічних властивостей використаного давача тиску застосовувався такий алгоритм [8] визначення амплітуди пульсації тиску:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \frac{D \cdot S_p \cdot h_p}{U_o \cdot A_p \cdot K_{vp}}, \quad (2)$$

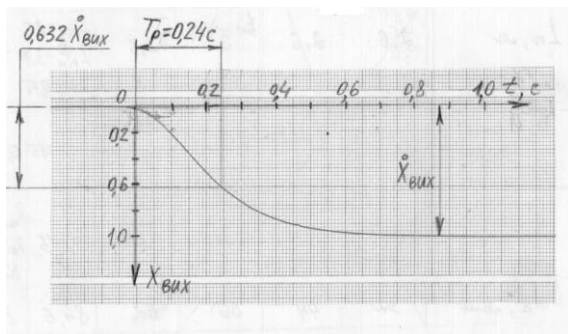
$$\text{де } A_p = \sqrt{\left[ \frac{1}{1 + (2\pi\nu_p T_p)^2} \right]^2 + \left[ \frac{2\pi\nu_p T_p}{1 + (2\pi\nu_p T_p)^2} \right]^2}, \quad (3)$$

де  $h_p$  – діапазон зміни значень тиску за осцилограмою, мм;  $D, U_o$  – діапазон вимірювання (Па) і стандартизоване значення вихідного сигналу (мВ) давача тиску відповідно;  $S_p$  – чутливість самописця каналу реєстрації тиску, мВ/мм;  $K_{vp}$  – коефіцієнт підсилення вихідного сигналу диференціального вольтметра;  $A_p$  – коефіцієнт амплітудно-частотної характеристики давача, який відображає ступінь зменшення амплітуди зареєстрованих пульсацій тиску;  $\nu_p$  – частота зареєстрованих пульсацій тиску, Гц;  $T_p$  – стала часу давача тиску, с.

У формулі (2) введений коефіцієнт 0,5, який вказує, що як оцінюваний параметр пульсацій тиску використовується амплітуда, як це прийнято при описі періодичних коливань.



а)



б)

а – структурна схема дослідження динамічних характеристик; б – графік перехідної функції

Рис. 2. Динамічні характеристики давача тиску

З врахуванням застосування для вдосконалення манометра диференціального методу вимірювання пульсацій тиску і реєстрації самописцем підсиленого різницевого сигналу очевидним є можливе зменшення похибки самописця і її зведення до необхідного мінімуму. Зважаючи, що ці міркування повинні бути підтвержені відповідними математичними викладами, здійснимо їх.

З цією метою спочатку запишемо залежність,

вихідної напруги давача тиску від відхилення  $h_c$  стрілки самописця на діаграмній стрічці:

$$h_c = \frac{(U_p - U_v) \cdot K_{vp}}{S_p}, \quad (4)$$

де  $U_p$  – вихідна напруга давача тиску;  $U_v$  – опорна напруга, яка формується задавачем ЗОН диференціального вольтметра.

Мінімальне відхилення  $(h_c)_{\min}$ , яке відповідає границі основної допустимої статичної похибки  $\delta_c$ , самописця у відсотках становить:

$$(h_c)_{\min} = \delta_c \cdot B_c / 100, \quad (5)$$

де  $B_c$  – ширина діаграмної стрічки самописця.

Аналогічно запишемо вираз для мінімально допустимої різниці вихідних напруг ЗОН і давача тиску, прийнявши за базове значення для визначення цієї різниці основну допустиму похибку  $\delta_p$  давача тиску:

$$(U_p - U_v)_{\min} = \frac{\delta_p \cdot U_o}{100}, \quad (6)$$

де  $U_o$  – стандартизоване максимальне значення вихідного сигналу давача тиску.

Підставляючи (5) і (6) у (4), отримаємо вираз для розрахунку необхідного значення чутливості самописця  $S_p$ , при якій його похибка не зумовлює похибки, що перевищувала б основну допустиму похибку давача тиску:

$$S_p = \frac{\delta_p \cdot U_o \cdot K_{vp}}{\delta_c \cdot B_c}. \quad (7)$$

Приймаючи паспортні значення  $\delta_c = \pm 4\%$ ,  $B_c = 50$  мм;  $\delta_p = \pm 0.06\%$ ,  $U_o = 1$  В (значення вихідного сигналу при верхній границі вимірювання) і задаючи  $K_{vp} = 1$  (режим роботи диференціального вольтметра при відсутності підсилення) згідно формули (7), отримаємо, що розрахункове значення  $(S_p)_{\text{розрах}} = 3 \cdot 10^{-4}$  В/мм.

Таким чином, необхідна точність, яка дозволяє прирівняти похибку самописця при його максимальній чутливості  $(S_p)_{\text{max}} = 0.002$  В/мм до похибки давача, досягається при коефіцієнті  $K_{vp}$ , що дорівнює:

$$K_{vp} = \frac{(S_p)_{\text{max}}}{(S_p)_{\text{розрах}}} = 6.66. \quad (8)$$

Враховуючи, що коефіцієнт підсилення диференціального вольтметра типу В2-34 можна задавати із ряду (1; 10; 100; 1000), то вже при  $K_{vp}=10$  досягається необхідна точність. Таким чином формула для розрахунку мінімального необхідного відхилення стрілки самописця, згідно якої розраховується достатня амплітуда реєстрованих пульсацій тиску, має вигляд:

$$(h_c)_{\min} = \frac{\delta_p \cdot U_o \cdot K_{vp}}{S_p} \cdot \frac{1}{100} \quad (9)$$

і з врахуванням конкретних числових параметрів настроювання буде дорівнювати 3 мм.

Отримана залежність (9) дає можливість розраховувати мінімальне необхідне відхилення стрілки самописця, при якому його похибка не перевищує похибки  $\delta_p = \pm 0.06\%$ , тобто похибки застосовуваного давача тиску. Безпосередня підстановка будь-яких значень всіх коефіцієнтів в (9) неможливе, так як спочатку необхідно згідно алгоритму (7) і (8) обчислити мінімальні значення  $S_p$  і  $K_{vp}$ , а вже потім з врахуванням цих значень визначати величину  $(h_c)_{\min}$ . Таким чином похибку вузла реєстрації самописця можна суттєво зменшити і звести її до похибки давача тиску, чим досягається підвищення точності вимірювання тиску розробленим манометром.

Запропоноване конструктивне вдосконалення манометра разом з алгоритмом (2) – (3) і проведеним аналізом його динамічних властивостей та особливостей функціонування дає можливість підняти достовірність і точність результатів досліджень при вимірювання пульсацій тиску відпрацьованих газів. При цьому застосування в алгоритмі (2) коефіцієнта  $A_p$  надає можливість враховувати динамічні властивості давача при вимірюванні швидкозмінних параметрів. Вид формули (3) ґрунтується на експериментально встановленій аперіодичності першого порядку давача і теоретично підтверджується аналітичним виразом амплітудно-частотних характеристик цього типу ланок обробки сигналів. Водночас з виразу (3) слідує, що значення коефіцієнта  $A_p$  залежить від двох змінних, тобто як від частоти досліджуваних пульсацій, так і від сталої часу давача. Проведений аналіз засвідчив суттєве (майже чотирикратне) зменшення коефіцієнта  $A_p$  стосовно досліджуваного діапазону зміни пульсацій для дизеля типу Д21А, які становлять (5 – 13.3) Гц. При цьому ступінь зменшення амплітуд зафіксованих пульсацій від їх фактичних значень будуть суттєво відрізнятись між собою. Так на мінімальних обертах двигуна

амплітуда сприйнятих перетворювачем ИПД моделі 89007 пульсацій тиску буде складати близько 12% від їх фактичного значення. Поряд з цим на максимальних обертах виміряне значення за рахунок динамічних властивостей давача буде становити всього 5% від фактичного. Це вказує на необхідність обов'язкового врахування динамічних властивостей давача при вивченні пульсацій і засвідчує про практичну цінність проведених досліджень.

Розроблений малоінерційний манометр знайшов застосування при дослідженні тиску пульсуючого потоку як у лабораторних, так і у промислових умовах, а також при дослідженні тепловіддачі пульсуючої течії, зокрема для експериментального визначення коефіцієнта тепловіддачі [10].

Запропонований методичний підхід з відповідним технічним забезпеченням може бути реалізований для будь-яких сенсорних давачів, в тому числі й з цифровим вихідним сигналом.

Дана концепція вдосконалення вимірювача тиску може знайти застосування при експериментальних дослідженнях стабільності тиску і відтворюваних витрат газу в еталонних дзвонових витратовимірювальних установках [11] під час їх метрологічних досліджень і атестації, а також забезпечує один із можливих напрямків практичної реалізації контрольно-вимірювальних приладів в установках для градування та повірки лічильників і витратомірів газу з функціонуванням згідно нового способу [12], який передбачає вимірювання миттєвих значень змінного тиску в еталонній ємності фіксованого об'єму.

1. Захаров В.П., Патыченко А.С., Шелковский Б.И. Разработка и внедрение тепло-утилизационного оборудования для газоперекачивающих агрегатов. – М.: ВНИИЭгазпром, 1988. – С. 21 – 23. 2. Долишній Б.В., Козак Ф.В. Про утилізацію теплоти відхідних газів двигуна внут- рішнього згорання // Вісник держ. у-ту "Львів.політехніка". – Львів, 1998. – С. 92-94. 3. Осипова В.А. Экспериментальные исследования процессов теплообмена. – М.: Энергия, 1979. – 307 с. 4. Каталог продукции на 1999 рік ВАТ «Промприлад». – Надвірна: ЗАТ «Надвірянська друкарня», 1999. – 48 с. 5. Номенклатурный каталог на 2001 год АООТ «Теплоприбор». – Рязань: АООТ «Теплоприбор», 2001. – 288 с. 6. Преобразователи давления измерительные электрические ИПД. Техническое описание и инструкция по эксплуатации: 3.9026.269 ТО. – М.: МПО «Манометр», 1991. – 32 с. 7. Костин А.К., Пугачев Б.П., Коничев Ю.Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с. 8. Дослідження

якісних параметрів дизельних двигунів / Б.В.Долішній, Ф.В.Козак, О.Є. Середюк, С.А. Чеховський // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – №5. – С. 79 – 83. 9. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 1997. – 544 с. 10. Долішній Б.В. Дослідження тепловіддачі пульсуючого газового потоку // Науковий Вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ: Факел. – 2002. – №2 (3). – С.57-61.

11. Середюк О.Є. Математичне моделювання похибки від непостійності тиску в дзвонових витратомірних установках // Методи та прилади контролю якості. – 1998. – № 2. – С.23-27. 12. Пат. 54463 Україна, МКВ G01F25/00. Спосіб градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / В.О. Козак, Б.І. Прудніков, О.Є. Середюк, І.С. Петришин, Я.С. Федоришин (Україна). – №99052563; Заявл. 06.05.99; Опубл. 17.03.03. – 3 с.

УДК 504.36:574

## ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ СТАНУ ЛАНДШАФТІВ МЕТОДАМИ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ РЕГІОНУ, ОБЛАСТІ, РАЙОНУ І МІСТА

© Пендерецький О.В., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Запропоновано алгоритм розрахунку кількісної оцінки та контролю навколишнього середовища для організації екологічного моніторингу території регіону, адміністративних областей, районів і міст**

В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) розроблена методика екологічного контролю та стану ландшафтів з використанням комп'ютерної системи екологічного моніторингу та екологічної безпеки, яку можна впровадити на території будь-якої адміністративної одиниці. Така методика необхідна:

1) для екологічно безпечного функціонування об'єктів народногосподарського комплексу;

2) для того, щоб народногосподарський комплекс не породжував складних екологічних ситуацій, криз і катастроф, шкідливо не впливав на здоров'я населення і не руйнував довкілля.

Проблемам екологічного контролю та екологічним оцінкам сучасної екологічної ситуації в Україні і Карпатського регіоні присвячено ряд робіт [1 – 14]. В цих роботах показано, що рівень небезпеки об'єкту для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого відхилення від норми до критичного і навіть катастрофічного. При цьому сама норма є досить невизначеною і, як правило, вона відповідає первинному екологічному стану довкілля, який був до будівництва промислового об'єкту. Такий стан називають нульовим екологічним фоном.

Екологічний стан довкілля — нормальний, задовільний, напружений, складний, незадовільний, передкризовий, критичний, катастрофічний — був притаманний природним системам і до появи людини. Завжди в історії Землі були виверження вулканів,

землетруси, повені, зсуви, посухи, похолодання і навіть зледеніння. Такі природні надзвичайні катастрофічні ситуації приводили до змін ландшафтів, направляли еволюцію рослинного і тваринного світу.

Після появи людини і прогресуючого втручання її в природні процеси. Антропогенний прес відбувався поступово і в останні роки став співрозмірним з природними екологічними кризами і катастрофами. Техногенні аварії, як і передуючі їм забруднення і руйнування довкілля в зонах впливу промислових об'єктів, є одними з найбільш екологічно небезпечних. І тому дуже важливим є створення систем контролю за екологічною (природно-техногенної) безпекою, які б дозволяли стежити за змінами екологічної ситуації в зоні впливу об'єкту, прогнозувати ці зміни для запобігання негативного впливу на довкілля та попередження переростання поступових змін у критичні, що завершуються потужними техногенними катастрофами і аваріями.

Розроблена нами методика ґрунтується на використанні комп'ютерних геоінформаційних систем. Вона складається із 4 блоків:

1) оцінка сучасного стану всіх компонентів довкілля в зоні впливу об'єкту (екологічний аудит);

2) екологічний моніторинг на об'єкті і в зоні його впливу;

3) прогноз розвитку екологічної ситуації в залежності від різних сценаріїв функціонування