

УДК 681.533.56(045)

А. П. Козлов, канд. техн. наук,
О. К. Горбач

ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ УДАРНОГО ТИСКУ В ЗАКРИТОМУ ОБ'ЄМІ

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Розглянуто основні конструктивні реалізації засобів вимірювання та контролю тиску. Подано розроблені алгоритми функціонування пристрою вимірювання ударного тиску в трубопроводі та наведено опис запропонованих способів його реалізації. Запропоновано використання конструкції пристрою для автоматизації транспортування нафти й газу трубопроводом та контролю цілісності трубопроводу.

Ключові слова: датчик тиску, ємнісний перетворювач, чутливий елемент, трубопровід, конструкція пристрою, вимірювання мікропереміщень.

Актуальність проблеми. Натеper проблема енергоресурсів в Україні дуже актуальна, особливо це стосується нафти й газу. Основну частину нафтопродуктів для України постачає Росія. Ціни на нафтопродукти постійно підвищуються, що ускладнює проблеми в енергетиці України. Вирішенням проблеми енергоресурсів є розвідка і розроблення українських джерел нафти та газу, впровадження нових технологій видобутку і транспортування, використання існуючих альтернативних джерел енергії.

Будь-які розробки, які можуть бути застосовані для поліпшення енергетичних ресурсів України – досить актуальні. Одним з підходів до вирішення проблем енергетики є контроль і автоматизація процесів нафтогазових транспортувань, спалювання газу в теплоелектростанціях (ТЕС), подачі або відбору газу в газосховищах, систем газопостачання житлових будинків. Для безпеки роботи нафтогазопроводів необхідно поліпшити автоматизацію процесу транспортування й застосування автоматизованих систем контролю (АСК), що, у свою чергу, забезпечить істотну економію ресурсів і часу, оскільки людина не в змозі забезпечити ефективне керування швидкоплинними процесами, збирати й опрацьовувати величезні обсяги інформації, що потрібна для керування складними об'єктами. Короткий огляд методів автоматизації показав, що найбільш значущим параметром для автоматизації роботи нафтогазопроводу є тиск. Прилади контролю тиску необхідні при автоматизації виробництва для досягнення максимальної її ефективності. За допомогою датчиків тиску забезпечуються керування й оптимізація технологічних процесів не тільки в енергетиці, металургії, нафтовій, газовій промисловості, але й у багатьох інших галузях.

Як показує огляд і аналіз існуючих засобів вимірювання тиску у трубопроводах контроль тиску здійснюється шляхом відбору речовини і подачі його в прилад, що вимірює його тиск. Такий спосіб дає деяке запізнення результатів вимірювання, що ускладнює керування швидкоплинними процесами. Потреба у застосуванні швидкодійних датчиків тиску останнім часом зростає у зв'язку з аваріями, що пов'язані з недосконалістю засобів автоматизації. Це спричиняє величезні економічні збитки як безпосередньо від втрати енергоносіїв, пошкодження й виходу з ладу обладнання, так і від екологічних наслідків зумовлених викидами енергоносіїв у навколишнє середовище.

Проблема вимірювання миттєвого (ударного) тиску характерна для різних галузей промисловості. Засоби контролю миттєвих (ударних) значень тиску необхідно застосовувати в різних пневматичних пристроях для контролю їх нормальної роботи й запобігання виходу з ладу в результаті стрибка тиску (наприклад, автомати, що сортують деталі на виробництві), в озброєнні для контролю міцності ствола під час пострілу, на нафтогазопроводах для попередження їх прориву й скорочення терміну експлуатації.

Огляд і аналіз існуючих приладів. Для вимірювання неелектричної величини електричними методами вимірювальну величину (тиск) потрібно перетворювати в електричну за допомогою датчика тиску, який безупинно змінює один зі своїх електричних параметрів за безперервної зміни вимірюваної величини.

За принципом дії датчики тиску можна розділити на параметричні й генераторні. Генераторні датчики тиску під час вимірювань виробляють ЕДС, або заряд, тобто перетворюють неелектричну енергію в електричну. Параметричні датчики в процесі вимірювання змінюють свої параметри (опір, ємність, індуктивність), що зумовлює зміну параметрів електричного кола (струму, напруги, частоти), у яке ввімкнено датчик. Параметричні й генераторні датчики тиску можна класифікувати за видозміною електричного параметра (зі змінним активним опором, індуктивністю, ємністю) або за видом перетворення неелектричної енергії в електричну (на основі електромагнітної індукції, п'єзоелектричного ефекту та ін.). Параметричні й генераторні датчики добре вивчено й описано у великій кількості технічної літератури, що присвячена електричним вимірюванням неелектричних величин і тензометричним, ємнісним, індуктивним, реостатним та п'єзоелектричним перетворювачам.

Під час вимірювання та контролю нестаціонарних тисків або миттєвих тисків у закритому просторі імпульси тиску мають крутий фронт, а їх тривалість змінюється в межах від декількох одиниць до декількох сотень мілісекунд. При цьому вимірюване середовище може мати високу температуру, а в ряді випадків на експериментальних установках можуть виникати потужні електромагнітні поля. Унаслідок цього датчики тиску, установлені з міркування швидкодії якомога ближче до середовища, у якому вимірюється тиск, випробовують вплив потужних змінних теплових потоків і електромагнітних полів, дія яких на вторинні апаратури може перевищувати корисний сигнал датчика. За конструкцією найпоширенішими сучасними методами та приладами вимірювання тиску є датчики, які встановлюються безпосередньо в трубопровід або для яких необхідно створювати відведення трубопроводу з вимірювальною речовиною. Але на особливо небезпечних ділянках трубопроводу неможливо врізати датчик, оскільки він може порушити його цілісність. Відведення трубопроводу зумовлює значне запізнювання та різьке послаблення вимірювального сигналу, що призводить до значних похибок або неможливості реалізації.

Таким чином, необхідний пошук нових технічних рішень, що дозволять забезпечити більш прийнятні результати вимірювання. Огляд технологій вимірювання тиску дозволив підібрати найкращий варіант параметрів засобу вимірювання тиску. Такий датчик, що задовольняв би всі вимоги важко підібрати. Тому в кожному конкретному випадку доводиться задовольняти лише найбільш важливі вимоги, що виставлені до датчиків тиску. У розглядуваному випадку основною вимогою до датчика тиску є швидкодія. У разі швидкоплинних процесів (наприклад, вибухів або миттєвої зміни тиску) запізнювання показань неприпустиме.

Призначення та принцип дії. Пристрій призначено для вимірювання ударного (миттєвого) тиску в нафтогазопроводі, наприклад у разі раптового закупорювання, аварійної відмови редуктора, у місцях пошкодження трубопроводу (тріщини, зламу, розриву) або з інших причин, що спричиняють перевищення допустимого значення тиску.

Структурну схему пристрою зображено на рис. 1.

Основу пристрою вимірювання ударного тиску в закритій порожнині становить датчик, чутливим елементом якого є трубопровід, тобто принцип дії полягає в перетворенні зміни діаметра трубопроводу (унаслідок зміни тиску) в електричний сигнал.

Основною функцією чутливого елемента є перетворення тиску в трубопроводі в зміну його діаметра. Залежність діаметра трубопроводу від тиску в трубопроводі можна отримати з наближеної формули:

$$\Delta D = \frac{D}{E} \left(\frac{pD}{2\delta} - \mu \left(\mu \frac{pD}{2\delta} - E\alpha\Delta t + \frac{pD}{2\delta} \right) \right) \quad (1)$$

де P – тиск у трубопроводі; D – діаметр трубопроводу; E – модуль пружності Юнга; μ – коефіцієнт Пуассона; δ – товщина стінки трубопроводу; α – коефіцієнт лінійного розширення; $\Delta t = t - t_y$ – температурний перепад; t і t_y – температура стінки трубопроводу відповідно в розглянутий момент часу й у час укладання.

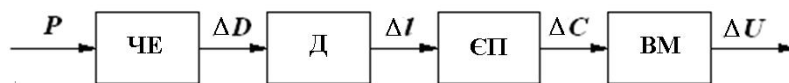


Рис. 1. Структурна схема проектного пристрою: P – значення вимірюваного тиску; ΔD – зміна діаметра трубопроводу; Δl – зміна положення діелектрика між пластинами конденсатора; ΔC – зміна ємності конденсатора; ЧЕ – чутливий елемент; Д – датчик; ЄП – ємнісний перетворювач; ВМ – вимірювальний міст

Залежність лінійного переміщення датчика від діаметра трубопроводу має вигляд

$$L_{\text{эл}} = 2\pi \left(\frac{D_1 + \frac{D_1}{\cos \beta}}{2} \right) = 2\pi D_1 \frac{(\cos \beta + 1)}{2 \cos \beta}. \quad (2)$$

Слід зазначити, що чутливість датчика прямо пропорційно залежить від кількості витків навколо трубопроводу. У залежності (1) враховано кількість витків, що дорівнює 2, відповідно це збільшує чутливість у три рази.

Ємнісний перетворювач являє собою два конденсатори, між якими перебуває рухливий електрод, тобто використовуємо схему диференціального ємнісного датчика зі змінною активною площею (рис. 2). Основний параметр перетворювача – ємність, що залежить від відстані між електродами, їх площі й діелектричної проникності середовища між електродами конденсатора, тобто від зміни положення екрана між електродами конденсаторів. Залежність ємності від площі електродів конденсатора становить $C = f(S)$.

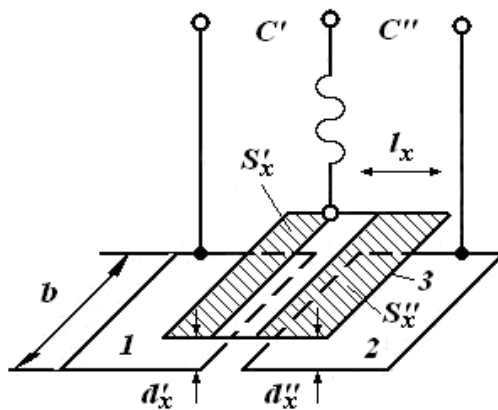


Рис. 2. Схема диференціального ємнісного датчика: 1, 2 та 3 – відповідно нерухомі та рухомий електроди; S'_x , S''_x – активні площі електродів 1, 2 та 3 (площі перекриття); l_x – переміщення рухомого електрода; d'_x , d''_x – міжелектродні зазори

Конструкція датчика. Загальний вигляд конструкції датчика зображено на рис. 3.

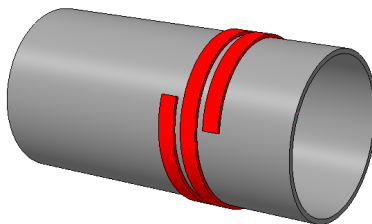


Рис. 3. Загальний вигляд розташування датчика

Основні частини датчика:

– прокладка із сталевим пружною пластиною намотаною у два витки на неї (перетворює зміну діаметра трубопроводу у переміщення кінців пластини) (рис. 4).

– ємнісний перетворювач закріплений на кінцях пластини (перетворює переміщення кінців пластини у зміну ємності) (рис. 5).

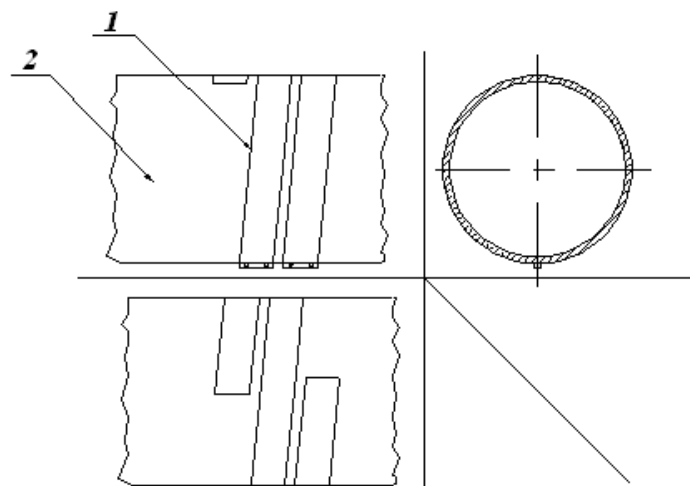


Рис. 4. Конструкція датчика: 1 – пружна пластина, 2 – трубопровід

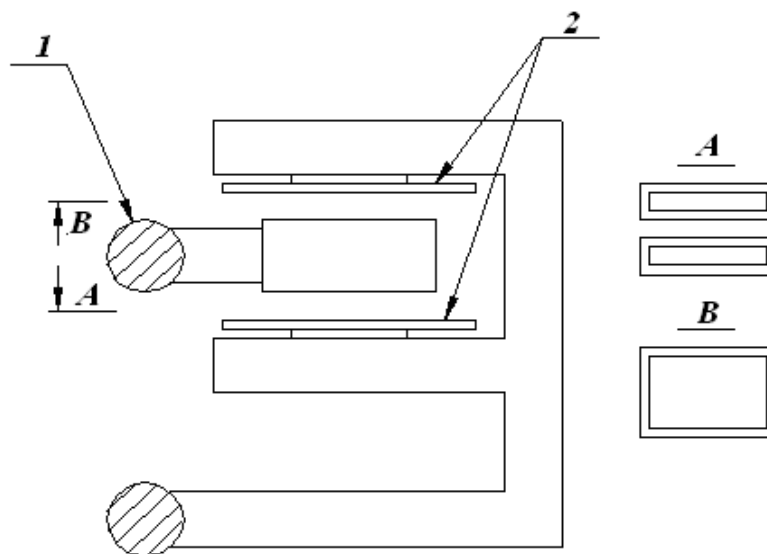


Рис. 5. Конструкція ємнісного перетворювача:

1 – кінець пружного дроту із рухомим електродом; 2 – нерухомі електроди

Висновки: Наведено обґрунтування необхідності розроблення пристрою вимірювання ударного тиску в трубопроводі для контролю параметрів нафтогазопроводу. Наявні методи та засоби вимірювання тиску не здатні належним чином виконувати контроль параметрів у замкненому об'ємі. Наведений опис способу реалізації, технологія виконання й розроблені алгоритми пристрою вимірювання ударного тиску в трубопроводі мають значні переваги перед існуючими. Серед основних переваг цього пристрою можливість застосування конструкції без урізання у трубопровід на будь-якій його ділянці (що дозволяє контролювати тиск у разі швидкої його зміни, а це дуже важливо для контролю параметрів стану нафтогазопроводів), а також за неможливості використання трубопроводу як чутливого елемента, заміни його частини на матеріал, що найбільше підходить для вимірювання. Конструкція розробленого пристрою не важка у виготовленні та встановленні на ділянку, де проводиться контроль.

Список літератури

1. *Алиев Р. А.* Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р. А. Алиев, В. Д. Белоусов, А. Г. Немудров – М.: Недра. – 1988. – 368 с.
2. *Ацюковский В. А.* Емкостные дифференциальные датчики перемещения / В. А. Ацюковский – М.: Гос. энерг. изд-во, 1960. – 105 с.
3. *Бойков Н. А.* Измерение давлений при быстропротекающих процессах / Н. А. Бойков. – М.: Энергия, 1970. – 66 с.
4. *Камерштейн А. Г.* Расчет трубопровода на прочность / А. Г. Камерштейн, В. В. Рождественский, М. Н. Ручимский – М.: Недра, 1969. – 440 с.
5. *Подлесный Н. И.* Элементы систем автоматического управления и контроля / Н. И. Подлесный, В. Г. Рубанов – К.: Вища шк., 1991. – 461 с.
6. http://mysopromat.ru/uchebnye_kursy/sopromat/napryazheniya_deformatsii/obobschennyi_zakon_guka_dlya_izotropnogo_tela/

А. П. Козлов, О. К. Горбач

Устройство измерения ударного давления в закрытом объеме

Рассмотрены основные конструктивные реализации средств измерения и контроля давления. Представлены разработанные алгоритмы функционирования устройства измерения ударного давления в трубопроводе и приведено описание предложенных способов его реализации. Предложено использование конструкции устройства для автоматизации транспортировки нефти и газа трубопроводом и контролю целостности трубопровода.

A. P. Kozlov, O. K. Horbach

Measuring device of shock pressure in the closed volume

Basic structural realization of facilities of measuring and control pressure is considered. The developed algorithms of shock pressure measuring device in a pipeline functioning are presented and description of the offered methods of his realization is resulted. The use of device's construction is offered for automation oil and gas's transporting by a pipeline and to control of pipeline's integrity.