

УДК 681.518.5

DOI 10.31471/1993-9981-2022-1(48)-78-87

**ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ТРАНСПОРТУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ НА ЗАСАДАХ СИСТЕМ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ****О. В. Кучмистенко, Р. О. Олексин, М. В. Шавранський, О. І. Белей, О. Ю. Мірзосєва, Р. Б.
Стасюк***Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ,
вул. Карпатська, 15, kafatp@nung.edu.ua*

В роботі досліджується проблеми контролю, моніторингу та керуванню об'єктів транспортування рідких продуктів, а саме трубопроводи, насоси та вузлами обліку. На сьогоднішній час кількість трубопроводів малого і середнього діаметрів найбільш поширена серед постачальників рідких продуктів тому отримати повністю автономні транспортні системи які оснащені системами моніторингу та керування є досить привабливими.

При дослідженні існуючих підходів контролю та керування трубопровідними системами можна зауважити той факт, що промислові транспортні системи забезпечені системами контролю та керування які мають достатнє забезпечення технічними засобами автоматизації. Проте остаточну автоматизацію на безлюдній основі так і не отримали оскільки особливість таких транспортних систем потребують постійного нагляду і контролю. Насамперед це пов'язано з тим, що експлуатація такого обладнання супроводжується значними величинами параметрів технологічного процесу і зношенням основного і допоміжного обладнання. Вихід з цієї ситуації можна намітити за рахунок розробки більш надійного обладнання транспортних систем з використанням новітніх технологій і відповідних систем моніторингу та керування об'єктів транспортування рідких продуктів на засадах систем обчислювального інтелекту.

Сучасні можливості у розробці систем автоматизованого керування значно випереджують бажання проєктувальників фахівців з експлуатації трубопровідних систем це насамперед пов'язано з виникненням нових технологій і засад обчислювального інтелекту. Тому рух у напрямку вдосконалення підходів до організації підходів систем транспортування є перспективним і має кінцеву мету, яка полягає у подальшому удосконаленню та створенню систем автоматизованого порадника при прокладанні трубопроводу та систем ефективного моніторингу та керування при транспортуванні рідких продуктів.

Ключові слова: трубопровідна транспортна система, система автоматичного моніторингу і керування, об'єкт керування.

The paper examines the problems of control, monitoring and management of facilities for the transportation of liquid products, namely pipelines, pumps and metering units. To date, the number of small and medium-diameter pipelines is the most common among suppliers of liquid products, so get fully autonomous transport systems that are equipped with monitoring and control systems are quite attractive.

When studying the existing approaches to control and management of pipeline systems, it can be noted that industrial transport systems are equipped with control and management systems that have sufficient technical means of automation. However, the final automation on a deserted basis has not been received because the peculiarities of such transport systems require constant supervision and control. This is primarily due to the fact that the operation of such equipment is accompanied by significant parameters of the technological process and the wear of the main and auxiliary equipment. The way out of this situation is to develop more reliable equipment for transport systems using the latest technologies and appropriate systems for monitoring and managing the transportation of liquid products on the basis of computational intelligence systems.

Modern possibilities in the development of automated control systems are far ahead of the desires of designers of specialists in the operation of pipeline systems, this is primarily due to the emergence of new technologies and principles of computational intelligence. Therefore, the movement towards improving approaches to the organization of transport system approaches is promising and has the ultimate goal, which is to further improve and create automated guidance systems for pipeline laying and effective monitoring and control systems for transportation of liquid products.

Keywords: pipeline transport system, automatic monitoring and control system, control object.

Вступ. Однією з найважливіших завдань системи моніторингу та керування об'єктів транспортування рідких продуктів є виявлення факту зміни тиску та ідентифікація причини такої зміни. Вирішення цього питання дозволяє вирішити питання повної автоматизації транспортування рідких продуктів та намітити клас обладнання для його реалізації.

Для якісної роботи будь-якої системи, трубопровід не виняток, потрібен постійний контроль, моніторинг технологічних параметрів та коректне керування процесом транспортування з підтримкою справності та цілісності всіх елементів системи. Велика протяжність прокладання та віддаленість місць пролягання транспортних систем значно ускладнює обслуговування та контроль стану трубопроводів. Саме тому, щоб уникнути економічних втрат, аварій, неполадок, необхідно застосовувати методи дистанційного моніторингу стану трубопроводів та їх ефективне керування.

Постановка завдання: продовження теоретичних досліджень в напрямку розвитку трубопровідних систем, що будуються на засадах штучного інтелекту для моніторингу та керування об'єкта транспортування рідких продуктів.

Метою даної роботи є створення системи моніторингу та керування об'єктів транспортування рідких продуктів з використанням хмарних

технологій та гібридних систем обчислювального інтелекту.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу та керування ділянкою трубопроводу в автоматичному режимі на засадах хмарних технологій з використанням гібридних систем обчислювального інтелекту.

Результати: досягнення вказаної мети забезпечується вирішенням таких завдань: аналіз методів і способів сучасних систем моніторингу та керування трубопровідних систем; Теоретичні дослідження у напрямку удосконалення існуючих методів моніторингу і керування; вибір способу реалізації сформульованих завдань за допомогою інтелектуальних технологій на засадах систем обчислювального інтелекту.

При будівництві унікальних трубопровідних систем (водопостачання, продуктопроводів, нафтопроводів та ін.) завдання забезпечення конструктивної безпеки та високої експлуатаційної надійності набувають особливо високий пріоритет. Одним з нових елементів забезпечення безпеки таких трубопровідних систем є розробка і впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану та експлуатації цих систем.

Обладнання системи моніторингу та керування (СМтаК) поділяють за типами обладнання що використовується та принципами дії (рис. 1.1.).

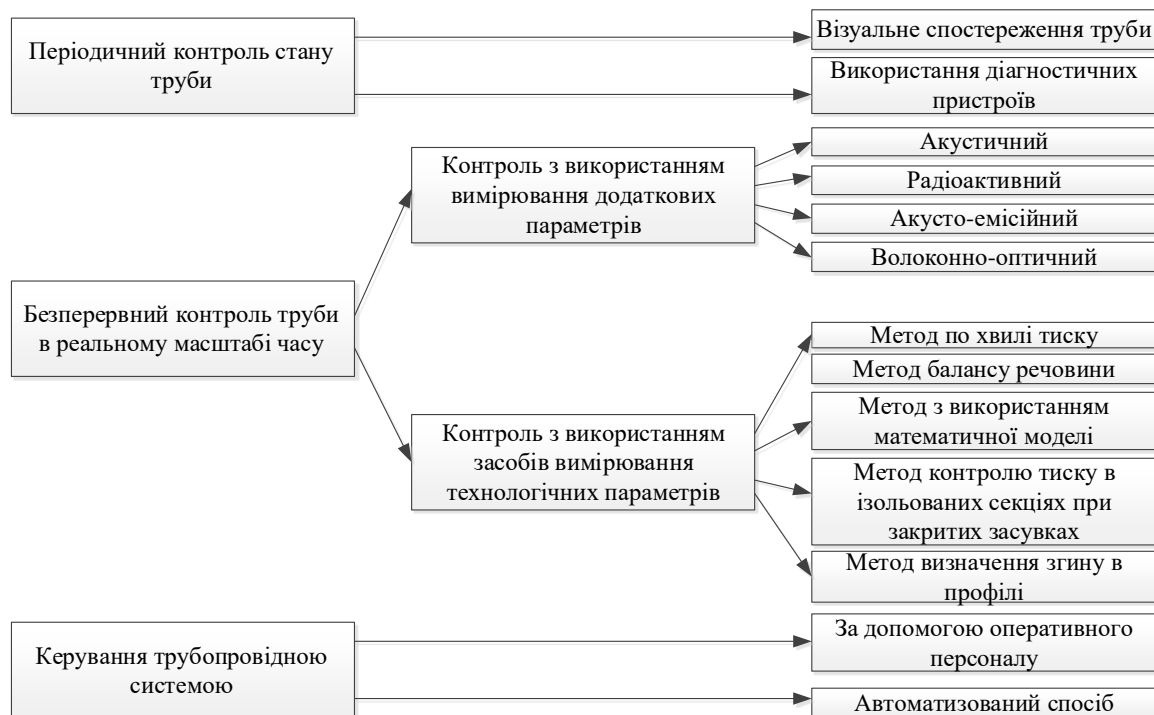


Рисунок 1 – Класифікація СМтаК за принципами дії і типам застосовуваного обладнання.

До періодичного контролю стану трубопроводу відносять візуальне спостереження труби лінійними обхідниками і методи з використанням діагностичних засобів. Візуальне спостереження дозволяє виявити вихід перекачуваного продукту на поверхні землі [1]. За допомогою внутрішньотрубних дефектоскопів можна виявити з великою ймовірністю всі дефекти в трубопроводі, але цей метод відрізняється істотною дорожнечою. Також у періодичного контролю стану трубопроводу є істотний недолік - це відсутність оперативності.

До другої категорії відносяться методи, які здійснюють безперервний контроль над станом трубопроводу в режимі реального часу, як правило, за допомогою засобів автоматики і

телемеханіки. Вони можуть розділятися на два типи:

- методи, які здійснюють контроль над технологічними параметрами. До окремої категорії відносяться параметричні методи, побудовані на основі аналізу зміни гідравлічних параметрів технологічного процесу при виникненні витоків [2].

- методи, які здійснюють контроль над додатковими параметрами (довжина хвилі Бреґга, акустична емісія і т.д.).

Для взаємного усунення недоліків параметричні методи, як правило, використовують спільно. На рисунку 1.2 показана схема інформаційних потоків параметричної СМтаК.

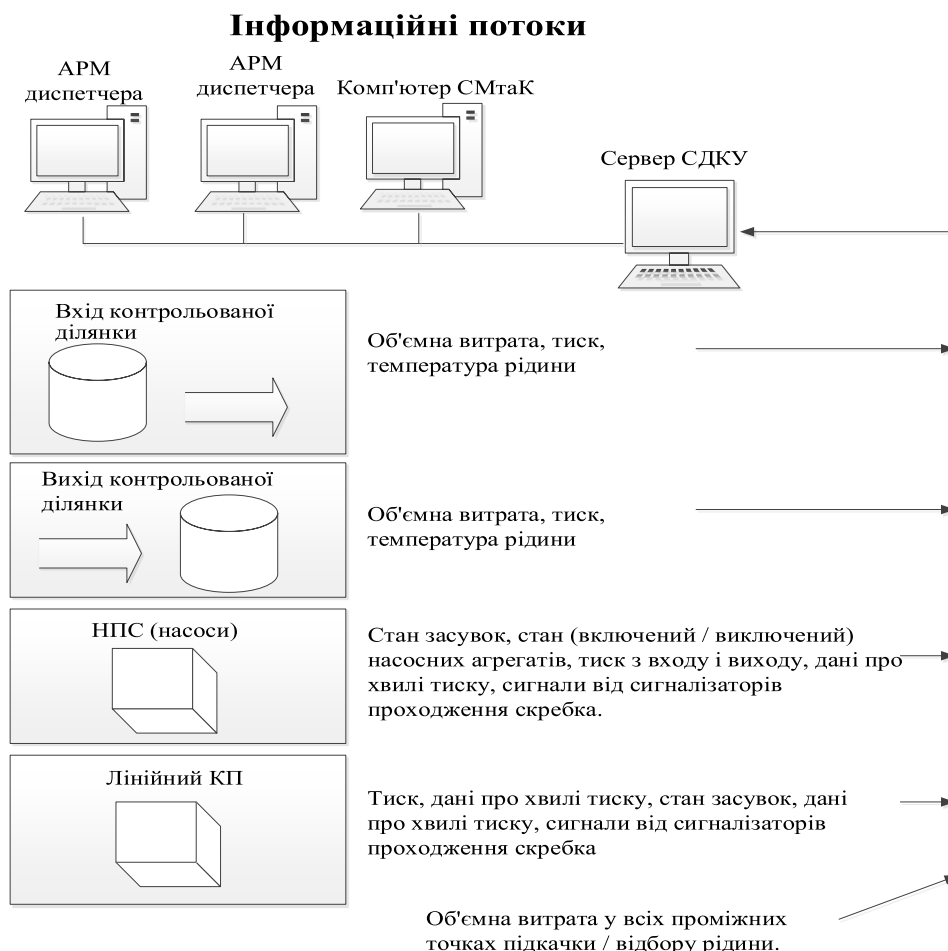


Рисунок 2 – Схема інформаційних потоків параметричної СМтаК

На рисунку 1.3 показано типове рішення параметричної СМтаК. Допускається установка на кожному КП (контрольованому пункті) по одному датчику тиску. На кожному КП використовується один датчик тиску (P1), при його виході з ладу СМтаК сама переходить на роботу по другому датчику (P2). У таблиці 1.1 показані характеристики

параметричної СМтаК. Як видно з таблиці, параметричні системи недостатньо точні.

Недоліки параметричної СМтаК: низька точність визначення місця утворення просочувань, помилкові спрацьовування, неточність математичної моделі, утрудненість застосування при перехідних режимах.

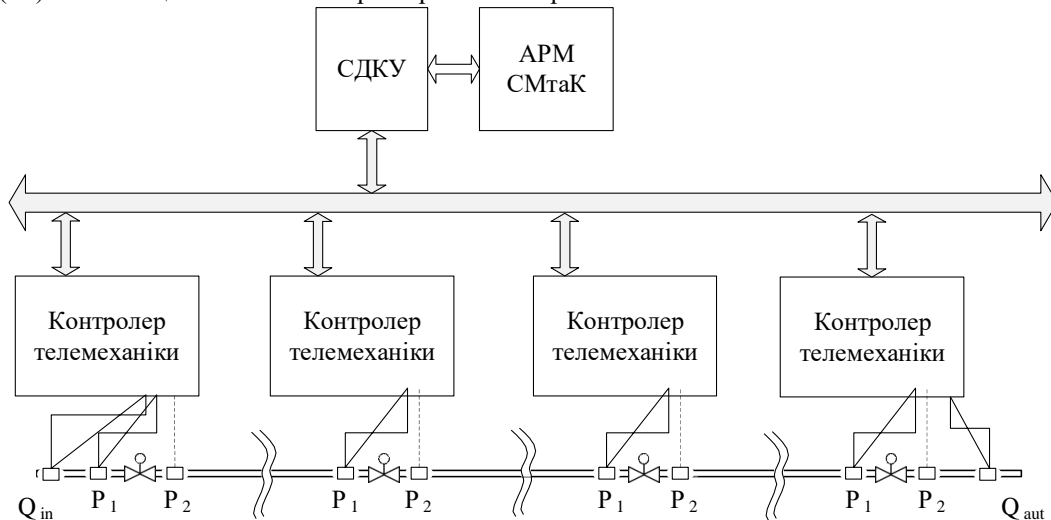


Рисунок 3 – Типове рішення параметричної СМтаК

Відповідно до теорії неусталених фізичних процесів, в момент утворення зміни тиску рідини у трубопроводі виникають хвилеподібні зміни цього параметру. Хвиля зміни тиску доходить до контрольних точок по обидві сторони від місця збурення. Час прибуття сигналів від датчиків фіксується на АРМ центрального диспетчерського пункту. Обчислювальна процедура аналізує результати надходить від датчиків з урахуванням: часу надходження сигналів, відстані до датчиків, швидкості руху хвилі зміни тиску, експлуатаційних параметрів транспортування і обчислює місце де відбулася така технологічна подія. Різниця $(t_1 - t_2)$ моментів підходу хвиль говорить про зміщення місця технологічної події по відношенню до центру контрольованої ділянки. Координата X місця освіти витoku знаходиться через різницю моментів підходу хвиль тиску до початку і кінця ділянки трубопроводу за допомогою формули:

$$X = \frac{L}{2} + \frac{C}{2} \cdot (t_1 - t_2) \quad (1.1)$$

де L - довжина діагностується ділянки трубопроводу; C - швидкість звуку.

Для реалізації даного алгоритму спеціальна програма функціонує в контролері на контрольованому пункті (КП) або на верхньому рівні. Для її функціонування потрібно мати показники датчиків тиску з періодом часу не більше 0,01 секунди. Для виявлення хвилі тиску застосовуються цифрові фільтри, кореляційний аналіз даних. Якщо хвиля зафіксована, то відправляється сигнал на АРМ верхнього рівня СМтаК.

Остаточне рішення приймає система верхнього рівня. Характеристики методу залежать від динамічних характеристик датчиків, рівня зашумленості, точності синхронізації часу, можливості контролера переробляти інформацію з необхідною швидкістю, точності визначення швидкості звуку.

Рисунок 1.4 демонструє типове рішення СМтаК по хвилі тиску. Тут показані: КП1-КП4 - контрольовані пункти, контролер (модуль) СМтаК, Д1-Д8 - датчики надлишкового тиску, Global Positioning System (GPS) - антена навігаційної системи, $L1$ - відстань між датчиками не менше 5 м. $L2$ - одно 5 км при відстані між КП1 і КП2 (КП3 і КП4) більше 10

км. При відстані між КП1 і КП2 (КП3 і КП4) менше 10 км L2 дорівнює половині відстані між КП1 і КП2 (КП3 і КП4). КП має бути встановлено не менш трьох. Допускається

використання на одному КП по одному датчику тиску. У таблиці 1.2 показані характеристики СМтаК по хвилі тиску.

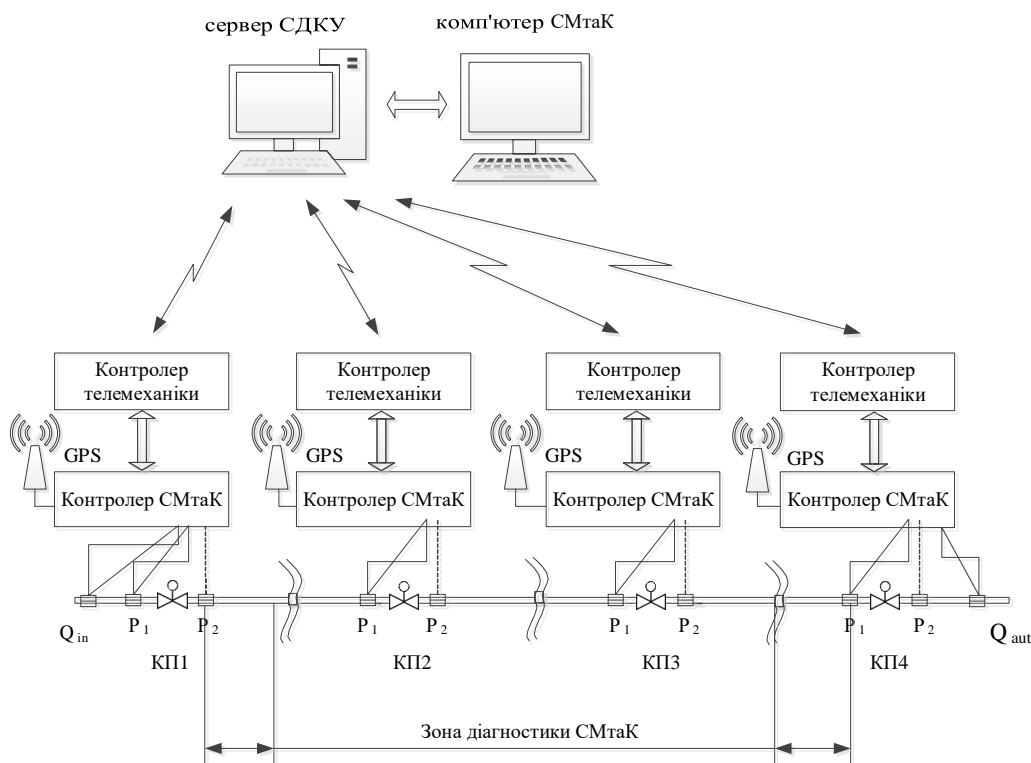


Рисунок 4 – Типове рішення СМтаК по «хвилі тиску»

Цей метод є більш точним, ніж параметричні, але, тим не менш, його точність не висока (близько 2,8 км при повільному темпі розвитку технологічної події).

На точність впливають стохастичні коливання тиску, викликані роботою насосних агрегатів, і час розвитку витoku. Чим повільніше розвивається зміна тисків, то більше зменшується точність визначення місця виникнення технологічної події. При слабкому розвитку витoku система не здатна її виявляти взагалі.

Для підвищення точності, надійності, оперативності вищеписані СМтаК використовуються спільно, в так званій, комбінованій СМтаК.

Комбінована система виявлення відхилень від норм технологічного режиму - це програмноапаратний комплекс, що функціонує спільно з СДКУ, робота якого заснована на використанні в якості вихідних даних

технологічних параметрів роботи трубопроводу, виміряних з високою частотою (більше 10 Гц) і застосовані для виявлення відхилень від норм технологічного режиму за математичною моделлю і алгоритмів виявлення хвилі тиску.

Комбіновані СМтаК працюють як на стаціонарних, так і на нестационарних режимах роботи трубопроводу.

СМтаК дозволяє визначити наявність відхилень від норм технологічного режиму, час його виникнення, витрату через отвір витікання та координати місця утворення.

Комбінована СМтаК може бути виконана за двома варіантами: з обробкою тисків в контролерах СМтаК і без обробки тисків в контролерах СМтаК.

При створенні комбінованої СМтаК за першим варіантом на середньому рівні через 10-20 км на КП лінійної телемеханіки встановлюються додаткові контролери (модулі) СМтаК («хвильові» КП) - далі за текстом «контролери СМтаК», що обробляють дані

вимірювань тиску. Інформація про витік з «хвильових» КП надходить в систему телемеханіки спорадично, щодо подій і далі разом зі стандартними даними вимірів (витрати, тиску, стану засувок і насосів) передаються по OPC (OLE for Process Control) технології на верхній рівень комбінованої СМтаК, де функціонують всі алгоритми параметричної СМтаК і алгоритми верхнього рівня СМтаК по хвилі тиску.

Структурна схема комбінованої СМтаК (варіант 1, з установкою додаткових

контролерів СМтаК для обробки тисків) представлена на рисунку 1.5.

При створенні комбінованої СМ СМтаК ТАК за варіантом 2, на середньому рівні в контролерах телемеханіки (контролерах СМтаК), через певні інтервали часу створюються пакети, що містять результати вимірювань тисків з інтервалом не більше 0,01 секунди. Пакети передаються на верхній рівень системи телемеханіки разом з іншими параметрами (витрата, тиск, стану засувок, насосів) в програму первинної обробки СМтаК і далі - на верхній рівень комбінованої СМтаК.

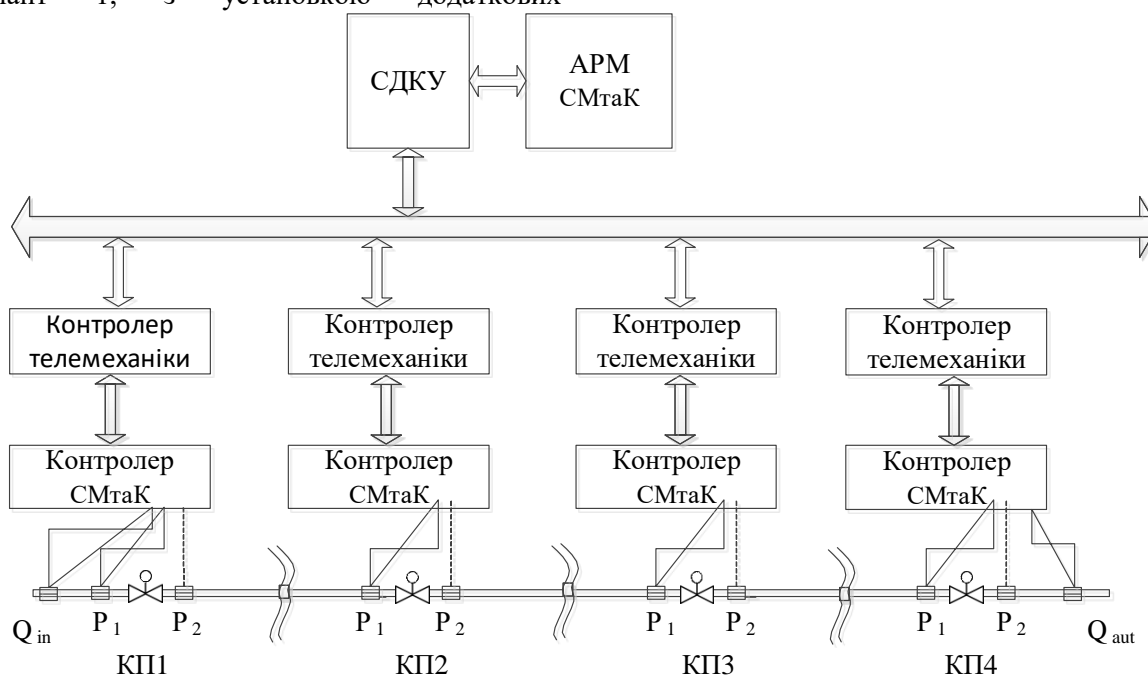


Рисунок 5 – Комбінована СМтаК з обробкою вимірюваних тисків в додаткових контролерах СМтаК

Структурна схема комбінованої СМтаК, варіант 2 (без обробки тисків в контролерах СМтаК) представлена на рисунку 1.6.

Цей варіант не вимагає обробки тисків в контролерах СМтаК, але в цьому випадку пред'являються підвищені вимоги до каналу передачі даних.

Незважаючи на одночасну роботу декількох методів, комбінована СМтаК, тим не менш, має недоліки. Дуже повільний розвиток зміни відхилень від норм технологічного режиму «нейтралізує» можливість розрахунку її місцезнаходження за методом «хвилі тиску». А розрахунки координати витіку за методом «аналізу профілю» або з

використанням математичної моделі мають велику похибку при виявленні незначного витіку.

Для визначення зміни відхилень від норм технологічного режиму в трубопроводі на основі аналізу технологічних тимчасових рядів (ТВР) датчиків тиску, встановлених на початку і в кінці ділянки цього трубопроводу, можна застосовувати адаптивні фільтри з налаштовувати диференціальними і інтегральними властивостями [3].

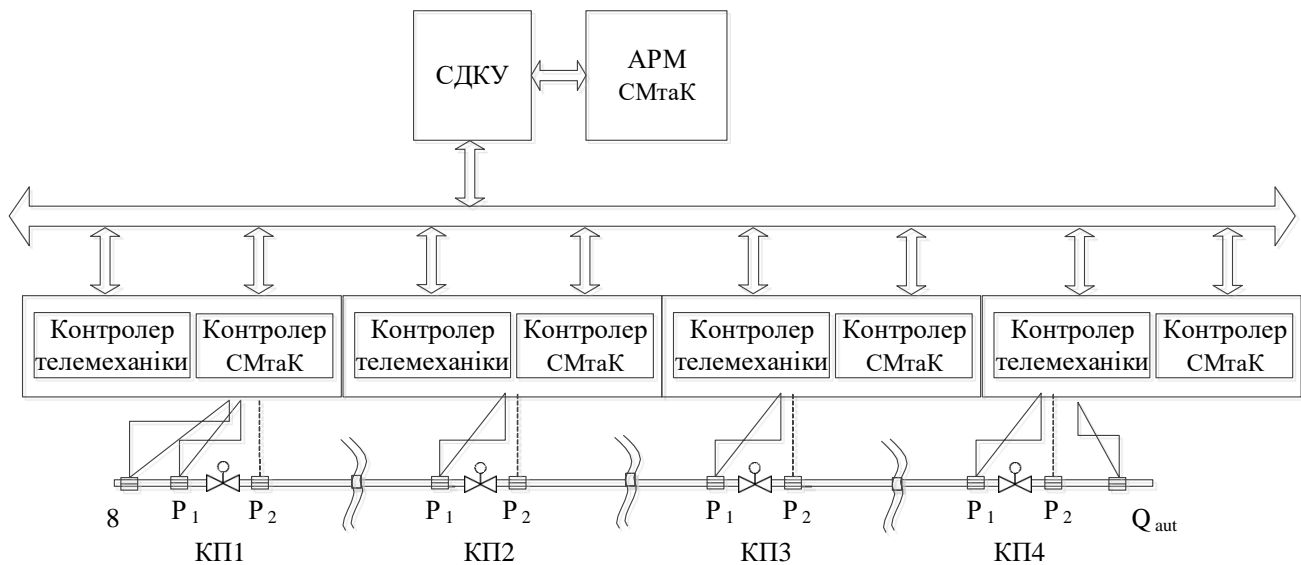


Рисунок 6 – Комбінована СМтаК без обробки вимірних тисків в контролерах з передачею пакетів вимірних тисків на верхній рівень

При раптовому відхиленні тиску в момент часу t_y і швидкого його розвитку на даній ділянці трубопроводу, довжиною L , відбувається різке зниження витрати рідини в трубопроводах в місці утворення витоку, що знаходиться на відстані l_y від початку ділянки трубопроводу. Воно супроводжується стрибкоподібною зміною тиску, яке зі швидкістю звуку в рідині з поширюється від місця освіти витоку до початку ділянки трубопроводу у вигляді біжучої хвилі, що має форму φ ,

$$p(l, t) = e^{-a(t-t_y)} \varphi [c(t-t_y) + (l-l_y)] \quad (1.3)$$

і до його кінця у вигляді прямої біжучої хвилі, що має ту ж форму φ

$$p(l, t) = e^{-a(t-t_y)} \varphi [c(t-t_y) + (l-l_y)] \quad (1.4)$$

де a - коефіцієнт загасання хвилі; l - відстань від початку ділянки трубопроводу до точки контролю тиску.

Форма хвиль тиску (рисунок 1.7) може бути попередньо обчислена при вирішенні хвильового рівняння моделі ділянки трубопроводу

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{c^2}{s} \frac{\partial f(x, t)}{\partial t} + \frac{c^2}{2D} \frac{\partial (\lambda, \rho, v^2)}{\partial x} \quad (1.5)$$

де $\rho = \rho(l, t)$ і $v = v(l, t)$ - розподілу щільності і швидкості руху потоку вздовж трубопроводу, що має діаметр D і коефіцієнт гідравлічного спротиву λ ; $f(l, t)$ - розподілом зовнішнього відбору продукції з ділянки трубопроводу через отвір, що має площу перерізу s .

Знаючи час реєстрації передніх фронтів біжучих хвиль тиску (викликаних різким розвитком витоку) в контрольованих точках на кінцях ділянки трубопроводу, t^H і t^K відповідно, можна обчислити місце освіти витоку з умов, що показують досягнення передніми фронтами біжучих хвиль цих точок контролю:

$$c(t^H - t_y) - l_y = 0 \quad (1.6)$$

$$c(t^K - t_y) - (L - l_y) = 0 \quad (1.7)$$

Перетворюючи ці рівняння і враховуючи усереднене час руху хвилі по ділянці трубопроводу між двома точками контролю тиску 1 і 2 певної довжини l_{12} на початку і / або в кінці ділянки трубопроводу t_{12}^{CP} , відстань до місця освіти витоку можна визначити за формулою

$$l_y = \frac{L}{2} - l_{12} \frac{(t^H - t^K)}{t_{12}^{CP}} \quad (1.8)$$

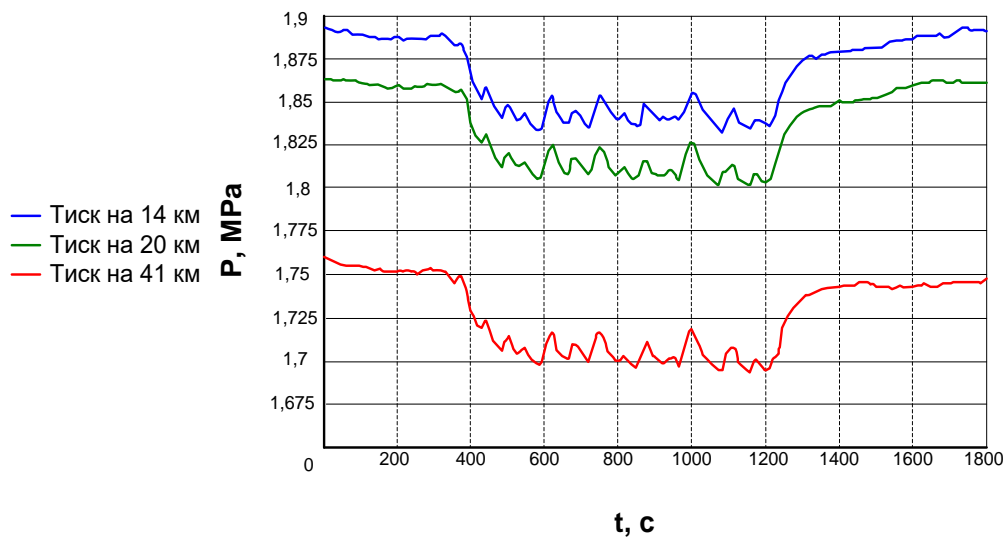


Рисунок 7 – Хвилі тиску в трубопроводі

При відомих значеннях L і l_{12} точність обчислення l_y в залежить як від похибки обчислення співвідношення $\frac{(t^H - t^K)}{t_{12}^{CP}}$, так і від характеристик форми хвилі тиску φ , на основі яких обчислюється час підходу передніх фронтів біжучих хвиль тиску в точки контролю на кінцях ділянки трубопроводу, t^H і t^K відповідно.

Локально форма кривої тиску $p(l, t)$ поряд з контрольованою точкою, що знаходиться на відстані l від початку ділянки трубопроводу, може бути визначена досить точно за допомогою перших членів ряду Тейлора-Маклорена [4]

$$p(l, t) = x_0(t) + x_1(t)l + x_1(t)l^2, \quad (1.9)$$

де параметри ряду $x_0(t)$, $x_1(t)$, $x_2(t)$ визначаються як диференціальні параметри форми хвилі тиску:

- параметр $x_0(t)$ визначається ковзаючим середнім значенням тиску в точці контролю з усереднюються функцією $\omega_\epsilon(t)$

$$x_0(t) = \int_{-\infty}^t \omega_\epsilon(t - \hat{t}) p(l, \hat{t}) d\hat{t}, \quad (1.10)$$

- параметр $x_1(t)$ знаходиться як оцінка похідної

$$x_0(t) = \int_{-\infty}^t \frac{d}{dt} \omega_\epsilon(t - \hat{t}) p(l, \hat{t}) d\hat{t}, \quad (1.11)$$

- параметр $x_2(t)$ відповідає оцінці другої похідної

$$x_0(t) = \int_{-\infty}^t \frac{d^2}{dt^2} \omega_\epsilon(t - \hat{t}) p(l, \hat{t}) d\hat{t}. \quad (1.12)$$

Функції інтелектуальної системи визначення біжучої хвилі на всіх

контрольованих точках l ділянки трубопроводу можуть бути забезпечені спеціалізованим аналізатором нейромережевої системи обробки інформації (COI), який розпізнає форми хвилі φ на виділеному інтервалі часу (у виділеному вікні). Для цього аналізатор порівнює поточну траєкторію зміни тиску в просторі коефіцієнтів x_0, x_1, x_2 з траєкторією, характерною для хвилі тиску, викликаній нормальним вимиканням (*off*) і подальшим включенням (*on*) насоса, який здійснює транспортування рідини у ділянці трубопроводу (рисунок 1.8).

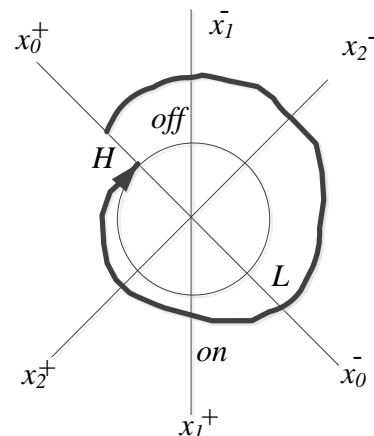


Рисунок 8 – Представлення хвилі тиску в просторі параметрів

Аналізатор реалізує типову схему обробки інформації (рисунок 1.9) і включає в себе блок попереднього аналізу сигналів і блок

подальшого аналізу сигналів і образів, які мають в своєму складі:

- адаптивний фільтр корисних сигналів, який шляхом обробки даних датчиків тиску в кожній контрольованій точці трубопроводу, визначає значення вектора коефіцієнтів хвилі тиску $x=(x_0, x_1, x_2)$ в тимчасовому вікні певної тривалості,

- блок визначення ознак витoku за параметрами вектора коефіцієнтів $x = (x_0, x_1, x_2)$, визначених у окремих контрольованих точках,

- блок короточасної пам'яті досвідчених даних для підготовки масиву виміряних і розрахованих значень тиску (активного способу очікуваного стану трубопроводу),

- блок порівняння параметрів активного способу з збереженими еталонними образами, можливих хвиль тиску і визначення витoku в трубопроводах;

- блок довготривалої пам'яті для зберігання еталонних образів хвиль тиску.

Навчання нейронної мережі цього аналізатора відбувається з урахуванням кореляційних властивостей шумів, на основі зібраних статистичних вимірах про зміну тиску в трубопроводах.

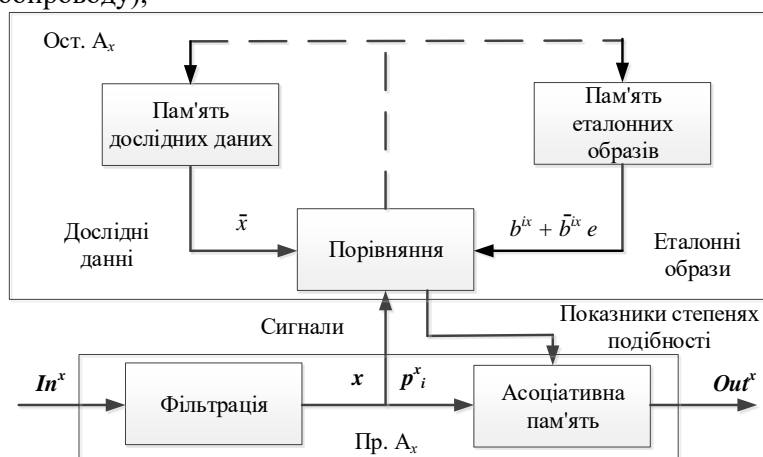


Рисунок 9 – Схема обробки інформації в інтелектуальній нейронмережі

Метаінтеграція нейронних мереж локальних аналізаторів даних реального часу, що характеризують стан окремо обслуговуючих; ділянок інженерної мережі, до яких підключені групи джерел постачання рідких продуктів, здійснюється шляхом управління модулями адаптації цих локальних аналізаторів. При цьому швидкість навчання нейронних мереж локальних аналізаторів регулюється урахуванням показників чистої продуктивності по цих джерелах, які враховують обсяг постачання рідких продуктів, умовні її втрати через наявність неприпустимих дисбалансів потоків у вузлах інженерної мережі і витрати енергії на транспортування.

Недоліки: як видно, описаний метод використовує час приходу передніх фронтів біжучих хвиль тиску, які виникають тільки при

динамічних змінах параметрів транспортування, тобто дуже повільна динаміка зміни тисків по трубопроводу, що ускладнює можливість точного розрахунку і ідентифікації таких подій.

На даний момент не існує універсального єдиного методу, здатного досить точно визначити місце розташування місця зміни і при цьому не вимагає великих витрат на реалізацію і експлуатацію. Кожен з існуючих методів не позбавлений недоліків (таблиця 1.1).

Таким чином, підвищення ефективності автоматизованих систем при моніторингу та керування трубопроводами є актуальною науково-технічною проблемою.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика методів виявлення зміни відхилень від норм технологічного режиму в трубопроводі

Назва методу	Візуальний огляд трубопроводу	Використання внутрішньо-трубних дефектоскопів	Метод по «хвилі тиску»	Параметричні методи
Переваги	Простота реалізації, низька вартість	Виявляє дрібні тріщини в трубопроводі	Простота реалізації, низька вартість	Простота реалізації, низька вартість
Точність методу	~ ± 100 м	~ ± 0,01 м	~ ± 300 м	~ ± 5 км
Економічна складова	Не потрібні витрати на впровадження	Один запуск обходиться близько кілька мільйонів гривень	Не потрібні витрати на впровадження	Не потрібні витрати на впровадження
Примітка	Впроваджено на діючих трубопроводах Відсутність оперативності, визначає тільки видимі витоки	Впроваджено на діючих трубопроводах Відсутність оперативності, дорожня експлуатація	Впроваджено на діючих трубопроводах Не здатний виявити уповільнені витоки	Впроваджено на діючих трубопроводах Низька точність при визначенні місця розташування витоків

Висновки.

Розроблено автоматизовану систему моніторингу та керування при нестационарних режимах в умовах зашумленості. Метод обробки поточних даних заснований на математичних розрахунках тиску в середині ділянки по відомим значенням тиску в крайніх точках технологічного ділянки, що відрізняється тим, що обчислення виконуються за допомогою попередньо навченої нейронної мережі. Це дозволяє спрогнозувати шуми і зміну тиску в середині ділянки, тим самим підвищити чутливість системи виявлення таких відхилень від норм технологічного режиму при нестационарних процесах і в умовах зашумленості та дасть можливість керувати трубопровідною системою в автоматичному режимі.

Список використаних джерел

1. Семенцов Г.Н. Фаззі-модель для імітаційного моделювання несанкціонованого витікання нафти з нафтопроводу / Г.Н. Семенцов, О.В. Кучмистенко // Академический вестник. – Кривой Рог. – 2004. - № 13. – С. 84-86.
2. Галлямов А.К. Методы диагностирования состояния внутренней поверхности магистральных трубопроводов / Галлямов А. К, Юкин А. Ю., Мастобаев Б. И. – М.: ВНИИОЭНГ, 1983. – 47 с.
3. Sementsov G.N., Chugur I.I. Fuzzy identification of rock layers with anomalous

pressure.// Proceeding of Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT) – Zittay (Germany)/ - 2003. – P. 570-573.

4. Ковардаков А.В. Построение математической модели малых утечек с учётом реальных свойств объектов магистрального трубопровода / А. В. Ковардаков // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2011, №1 с. 48-54.

References

1. Sementsov GN Fazzi-model for simulation of unauthorized leakage of oil from the pipeline / G.N. Sementsov, OV Kuchmistenko // Academic Bulletin. - Krivoy Rog. - 2004. - № 13. - P. 84-86.
2. Gallyamov AK Methods for diagnosing the state of the inner surface of main pipelines / Gallyamov AK, Yukin A. Yu., Mastobaev BI - M.: VNIIOENG, 1983. - 47 p.
3. Sementsov GN, Chugur II Fuzzy identification of rock layers with anomalous pressure.// Proceeding of the Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT) - Zittay (Germany) / - 2003. - P. 570-573.
4. Kovardakov A.V. Construction of a mathematical model of small leaks taking into account the real properties of the objects of the main pipeline / AV Kovardakov // Science and technology of pipeline transport of oil and petroleum products, 2011, №1 p. 48-54.