

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 622.24.05-004.4

DOI: 10.31471/1993-9981-2021-1(46)-63-74

ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА КОМПОНЕНТНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТРУБОПРОВІДІВ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ СПРЯМОВАНИМИ ХВИЛЯМИ

І. З. Лютак, З. П. Лютак, А. В. Хамурда*

Інститут інформаційних технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; e-mail: ihorlt@gmail.com

В роботі представлено розроблення підхід для контролю наявності включень всередині сталених трубопроводів малого, середнього та великого діаметрів ультразвуковими спрямованими акустичними симетричними та асиметричними модами нульового або першого порядків, що створена у вигляді системи контролю із розподіленими параметрами. Розподіленими параметрами системи контролю є ультразвукові первинні перетворювачі та передавачі радіо сигналу, що отриманий первинними перетворювачами. Внаслідок особливостей поширення спрямованих ультразвукових хвиль на відстані від кількох метрів до десятків метрів, однією парою первинних перетворювачів можна контролювати значні частину небезпечної чи потенційно небезпечної ділянки трубопроводу, що може бути визначена як за результатами геодезичних вимірювань, так і за проектною документацією, наприклад повітряні переходи чи технологічні коліна. Приведено результати зміни параметрів поширення мод ультразвукових спрямованих хвиль в залежності від зміни фізико-механічних параметрів граничного до стінок трубопроводів середовища та виявлено, що симетрична та асиметрична моди по різному реагують на зміну зовнішнього середовища, що дозволяє підвищити точність контролю, та виявляти типи зовнішнього середовища (рідина чи тверде тіло). Результати представлені у вигляді графіків та таблиць. В роботі запропоновано створювати систему на основі компонентного підходу, з метою уніфікації частин системи та реалізації можливості будувати її з частин різних виробників для збільшення її універсальності та адаптації під економічні можливості замовника такої системи контролю. Компонентами системи контролю є підсистеми первинних ультразвукових перетворювачів, передавання інформації та зберігання та оброблення. В роботі представлено аналіз підсистеми передавання та запропоновано бездротову ієрархічну структуру з врахуванням особливостей її експлуатації на великих відстанях та в межах населених пунктів із сильним рівнем шумів радіосигналу. Компонентом зберігання та обробки даних було запропоновано програмне рішення на основі ліцензії із безплатним користуванням Apache, що реалізує файлову розподілену систему із високими вимогами до її безпеки даних та продуктивності. Проаналізовано особливості роботи запропонованого програмного рішення, яке дозволяє проводити аналіз результатів з використанням веб-технологій.

Ключові слова: ультразвукові методи контролю, трубопроводи, веб-орієнтовані системи.

В работе представлены разработки для контроля наличия включений внутри стальных трубопроводов малого, среднего и большого диаметров ультразвуковыми направленными акустическими симметричными и асимметричными модами нулевого или первого порядков, созданы в виде системы контроля с распределенными параметрами. Распределенными параметрами системы контроля являются ультразвуковые первичные преобразователи и передатчики радиосигнала, полученный первичными преобразователями. Вследствие особенностей распространения направленных ультразвуковых волн на расстоянии от нескольких метров до десятков метров, одной парой первичных преобразователей можно контролировать значительную часть опасного или потенциально опасного участка трубопровода, которая может быть определена как по результатам геодезических измерений, так и по проектной документации, например воздушные переходы или технологические колени. Приведены результаты изменения параметров распространения мод ультразвуковых направленных волн в зависимости от изменения физико-механических параметров предельной к стенкам трубопроводов среды и выявлено, что симметричная и асимметричная моды по-разному реагируют на изменение внешней среды, что позволяет повысить точность контроля и выявлять типы внешней среды

(жидкость или твердое тело). Результаты представлены в виде графиков и таблиц. В работе предложено создавать систему на основе компонентного подхода, с целью унификации частей системы и реализации возможности строить ее из частей различных производителей для увеличения ее универсальности и адаптации под экономические возможности заказчика такой системы. Компонентами системы контроля является подсистемы первичных ультразвуковых преобразователей, передачи информации, хранения и обработки. В работе представлен анализ подсистемы передачи и предложены беспроводную иерархическую структуру с учетом особенностей ее эксплуатации на больших расстояниях и в пределах населенных пунктов с сильным уровнем шумов радиосигнала. Компонентом хранения и обработки данных было предложено программное решение на основе лицензии с бесплатным использованием Apache, которое реализует файловую распределенную систему с высокими требованиями к ее безопасности данных и производительности. Проанализированы особенности работы предложенного программного решения, которое позволяет проводить анализ результатов с использованием веб-технологий.

Ключевые слова: ультразвуковые методы контроля, трубопроводы, веб-ориентированные системы.

The paper presents the development of an approach to control the presence of inclusions inside steel pipelines of small, medium and large diameters by ultrasonic guided acoustic symmetric and antisymmetric modes of zero or first order. The approach created as a control system with distributed parameters. The distributed parameters of the control system are ultrasonic primary transducers and transmitters of the radio signal received by the primary transducers. Due to the peculiarities of the propagation of directional ultrasonic waves at a distance from several meters to tens of meters, one pair of primary transducers can control a significant part of the dangerous or potentially dangerous section of the pipeline. The dangerous section can be determined by geodetic measurements or by design documentation, such as air transitions or technological knees. The results of changing the propagation parameters of ultrasonic directional wave modes depending on the changes in the physical and mechanical parameters of the boundary to the walls of the pipelines are presented. It is found that symmetric and asymmetric modes react differently to changes in the environment, which allows to increase control accuracy and determining type of the environment (liquid or solid). The results are presented in the form of graphs and tables. The paper proposes to create a system based on a component approach, in order to unify parts of the system. It allows to realize the possibility of building it from parts of different manufacturers to increase its versatility and adaptation to the economic capabilities of the customer of such a control system. The components of the control system are the subsystems of primary ultrasonic transducers, information transmission and storage and processing. The paper presents an analysis of the transmission subsystem and proposes a wireless hierarchical structure taking into account the peculiarities of its operation at long distances and within settlements with a high level of radio signal noise. The data storage and processing component offered a software solution based on the Apache free license, which implements a file distribution system with high requirements for its data security and performance. The peculiarities of the proposed software solution, which allows the analysis of results using web technologies, have been analysed.

Keywords: ultrasonic control methods, pipelines, web-oriented systems.

Вступ. Сучасні тенденції розвитку трубопровідних систем диктують нові, підвищені, вимоги, щодо надійної їх експлуатації, забезпечення збереження навколишнього середовища та оптимально використання ресурсу трубопроводів у зв'язку із економічною конкуренцією. Вирішенням поставлених завдань є створення та застосування на практиці систем контролю реального часу, що в умовах трубопровідних систем додає вимоги щодо розподілених вимірювальних компонентів. Створення систем контролю із розподіленими компонентами відбувається протягом двох останніх десятиліть. Основні технічні вимоги до систем контролю із розподіленими параметрами, що описувались

авторами на початку їх створення на даний час накладають особливості, що включає веб-орієнтовані підходи та обробку великих даних [1]. В загальному можна розділити напрямки досліджень створення нових систем контролю із розподіленими параметрами на: 1) дослідження систем збору первинної інформації (давачів), що повинні ефективно працювати в різних погодних умовах, включаючи системи захисту та самодіагностики ключових компонентів; 2) систем первинної збору інформації та ліній передачі, що включає аналіз похибок, довжину ліній, спосіб передачі (дротовий та бездротовий, комбінований); 3) програмного забезпечення та комп'ютерного обладнання із зберігання та оброблення даних. Системи збору та

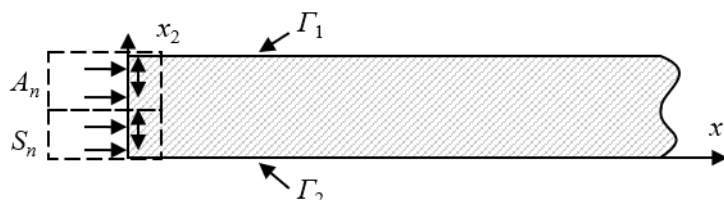
оброблення інформації можна поділити на дві групи. В першій групі первинні давачі є дорогим і прецизійним обладнанням, що точно пристосоване до технологічного циклу виготовлення, і в цьому випадку рухомими є частини труб, які стаціонарно контролюються системою контролю. В процесі експлуатації трубопроводів необхідно створювати первинні вимірвальні блоки виходячи із задачі дешевизни виготовлення, надійності (відсутності механічних рухомих частин) та значного покриття довжини ділянки контролю. В цьому випадку ми пропонуємо використовувати ультразвукові давачі, що генерують та реєструють ультразвукові спрямовані хвилі. Особливістю такого вимірвального блоку є покриття ділянки контролю до 10 м та дешевизна виготовлення. Існуючі дослідження використання ультразвукового методу у розподілених системах контролю використовують традиційні методи неруйнівного контролю, проте недавні дослідження дозволяють використовувати спрямовані ультразвукові хвилі [2]. Дана система розроблена для контролю трубок діаметром кілька сантиметрів і полягає в послідовному розташуванні давачів вздовж трубки для отримання акустичного сигналу. Ультразвукові давачі тут повністю охоплюють окіл трубки. Для генерування та отримання інформації від акустичного сигналу розроблені спеціальні процесори на матрицях FPGA. Система використовується при контролі різних температурних режимів та механіко-хімічного складу досліджуваного об'єкту. Для генерування спрямованих хвиль використовуються нульові поздовжні та зсувні моди. Інформаційна складова акустичної хвилі є часом поширення прямого та луно-імпульсу спрямованих хвиль від локальних відбивачів типу технологічні коліна, ґратки і інші блоки досліджуваного об'єкту. Особливістю досліджуваного об'єкту є закінчення, що має відповідати параметрам повного акустичного відбивача. В розподіленій системі може бути десятки таких компонентів розташованих вздовж трубопроводу. Таку систему вимірювання з розподіленими параметрами не можна застосувати для трубопроводів малого, середнього та великого діаметрів, оскільки система на трубопроводах має експлуатуватись

на відкритій місцевості, що не робить доцільним виготовлення одного компоненту блоку первинного перетворювача як системи із багатьох п'єзокристалів, що розташовані по околу труби із спеціальними процесорами обробки інформації. Тому підхід розроблення нового блоку генерування та реєстрації інформаційного сигналу із акустичної хвилі, що утворена спрямованими модами для блоку вимірвальної системи технічного стану трубопроводів із розподіленими параметрами є актуальним та новим. Сучасні вимоги до експлуатації системи контролю обґрунтовують розроблення веб програм для зручної презентації результатів вимірювання, оброблення даних користувачів та безпеки даних. Дані вимірювання в таких системах постійно збільшуються і можуть досягати розміру пентабайт. Тому при розробленні системи потрібно планувати ефективний спосіб збереження та обробки даних. Як правило, дані повинні зберігатись на декількох серверах із частковим копіюванням інформації. При обробці таких даних запити від серверів здійснюються на конкурентній основі із паралельними обробленням інформації. Сучасні тренди щодо обробки такої інформації пропонують підхід переривань і кускової обробки частин даних паралельно. Для технічного забезпечення паралельної обробки частин даних можуть використовуватись хмарні технології обчислення. Відповідно додатковими технічними рішеннями запропонованого підходу є використання спільного доступу до даних та розподіленої пам'яті. Прикладом таких комп'ютерних систем можуть бути гібридні паралельні обчислювальні системи, які на даний час успішно використовуються для вирішування комплексних проблем мереж, таких як обмеженість в розмірі даних.

Мета роботи. В роботі пропонується розроблення системи контролю із розподіленими параметрами, що використовує спрямовані ультразвукові хвилі і сучасний підхід до зберігання та обробки інформації. Запропонований підхід на відміну від існуючих дозволить використовувати блоки генерування та прийому інформаційного сигналу від акустичної хвилі, що поширюється в стінці сталюого трубопроводу малого, середнього та великого діаметрів у відкритому просторі.

Система спрямована на контроль технічного стану трубопроводу на який впливає суцільність стінок, та наявність рідини всередині труб.

Теоретичне обґрунтування. Спрямовані ультразвукові хвилі можуть складатись із різних типів мод в залежності від способу їх збудження та частоти. Для стінок сталевих трубопроводів найбільш ефективним є збудження симетричної та асиметричної мод. Симетричні моди мають більшу складову поперечних коливань, а відповідно асиметричні моди переважну енергію коливань зосереджують в поздовжніх коливаннях. Для математичного опису поширення ультразвукових спрямованих хвиль в стінці трубопроводу скористаємось спрощеннями, що дозволять побудувати модель



A_n , S_n – відповідно асиметрична та симетрична моди ультразвукових хвиль, де n є порядковим числом моди; x_1 – напрямок поширення хвилі вздовж осі труби; x_2 – напрямок товщини стінки труби; Γ_1 – границя розділу стінки труби із внутрішньою її частиною; Γ_2 – границя розділу стінки труби із зовнішнім середовищем

Рисунок 1 – Модель поширення ультразвукових спрямованих хвиль в стінці металевого трубопроводу

Поширення акустичних коливань по околу труби (нормально до зображення, рис. 1) будемо вважати розширенням променя, що не впливає на частотні характеристики акустичних хвиль (групової та фазової швидкостей), а вносить зміни лише в амплітуду (енергію) сигналу. Зменшення амплітуди сигналу внаслідок розширення променя є рівномірним, описуються відомими рівняннями, є константою для труби одного діаметру та товщини стінки та не є інформаційним параметром системи контролю.

Поширення будь-якого акустичного коливання в пружному середовищі можна описати відомим рівнянням Ейлера для опису коливань елементарного об'єму середовища та закону Гука та збереження енергії [3]:

$$C_{kl} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} = \rho \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2}, \quad (1)$$

обчислення їх параметрів. Вважатимемо що хвиля поширюється в двовірному просторі, який обмежений верхнім та нижнім розділом середовищ між пружним та вакуумом. У випадку другого середовища газу, ми його для спрощення не будемо враховувати при обчисленні поширення пружних коливань, оскільки він практично не впливає на параметри поширення. У випадку другого середовища рідини – то така модель буде мати вплив на поширення спрямованої хвилі, оскільки нормальний компонент зміщення елементарного об'єму пружного середовища направлений нормально до границі розділу буде віддавати хвильову енергію в рідину, рис 1.

де C_{kl} – компоненти матриці констант жорсткості, $k, l = 1..6$; $i, j = 1, 2, 3$; ρ – густина пружного середовища; t – час; u – елементарний об'єм середовища.

Подальше спрощення рівняння (1), що описує поширення ультразвукової хвилі, будемо базувати на основі того, що при поширенні хвилі враховуємо тільки нормальний її стиск та зсув елементарного об'єму:

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= c_{11} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2} + c_{12} \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1 \partial x_2} + c_{66} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2} + c_{66} \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1 \partial x_2}, \\ \rho \cdot \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} &= c_{22} \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_2^2} + c_{12} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1 \partial x_2} + c_{66} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1 \partial x_2} + c_{66} \frac{\partial^2 u_2}{\partial x_1^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Рівняння (2) є значно легшим для проведення обчислення, оскільки є тільки 4 компоненти жорсткості, які не дорівнюють нулю. Складність обчислення (2) полягає в тому, що поширення хвилі відбувається в часі і коливання елементарного об'єму пружного середовища теж проходить в часі. Для спрощення обчислення запропонований підхід

перетворення системи рівнянь (2) в частотну область, застосувавши перетворення Фур'є до коливань елементарного об'єму пружного середовища [3]:

$$\begin{aligned} -\rho \cdot \omega^2 \cdot \hat{u}_1 &= \hat{c}_{11} \frac{\partial^2 \hat{u}_1}{\partial x_1^2} + \hat{c}_{12} \frac{\partial^2 \hat{u}_2}{\partial x_1 \partial x_2} + \hat{c}_{66} \frac{\partial^2 \hat{u}_1}{\partial x_2^2} + \hat{c}_{66} \frac{\partial^2 \hat{u}_2}{\partial x_1 \partial x_2}, \\ -\rho \cdot \omega^2 \cdot \hat{u}_2 &= \hat{c}_{22} \frac{\partial^2 \hat{u}_2}{\partial x_2^2} + \hat{c}_{12} \frac{\partial^2 \hat{u}_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \hat{c}_{66} \frac{\partial^2 \hat{u}_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \hat{c}_{66} \frac{\partial^2 \hat{u}_2}{\partial x_1^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\mathbf{u} = \{\hat{u}_1, \hat{u}_2\}$ – перетворення Фур'є зміщення елементарного об'єму; $\hat{c}_{ij} = \text{Re}(\hat{c}_{ij}) + j \text{Im}(\hat{c}_{ij})$ – комплексне число, дійсна частина якого відповідає константі жорсткості пружного

середовища, а уявна частина відповідає загасанню амплітуди.

Система рівнянь (3) дозволяє враховувати загасання амплітуди при поширенні хвилі вздовж стінки трубопроводу. Таким чином можна проводити теоретичні дослідження у випадку коли дві границі розділу середовищ є повітрям і коли внутрішня сторона труби є рідиною, змінюючи граничні умови. Проведені дослідження [3] показують, що наявність рідини впливає на загасання амплітуди асиметричної моди і не значне загасання амплітуди симетричної моди у порівнянні із поширенням хвиль, коли границі розділу є пружне середовище – повітря, рис. 2.

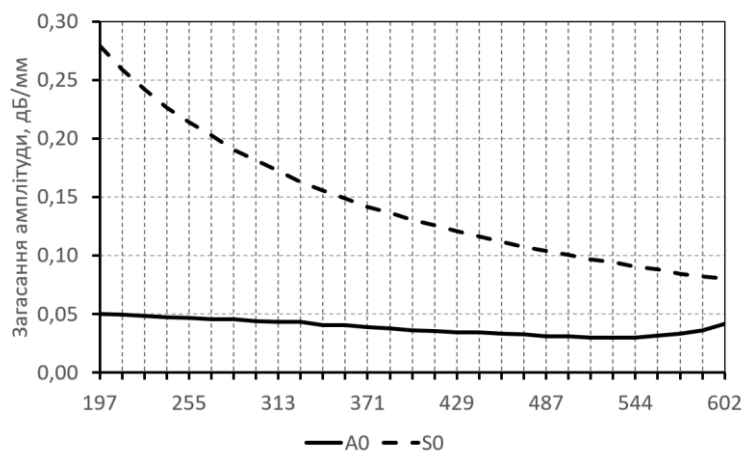


Рисунок 2 – Загасання симетричної S_0 та асиметричної A_0 мод ультразвукових коливань

Детальне калібрування системи контролю повинне здійснювались на об'єкті контролю. В залежності від жорсткості зчеплення K_t обчислено [3] та експериментально підтверджено коефіцієнт передачі акустичної енергії між границями розділу асиметричної моди A_{0i1}/A_{0i2} та симетричної моди S_{0i1}/S_{0i2} визначеними як відношення амплітуд хвиль при зовнішньому середовищі повітря та при наявності іншого зовнішнього середовища, наприклад рідина або інший матеріал, табл. 1.

Критерії монтування компонентів системи контролю з розподіленими параметрами повинно залежати від геометрії досліджуваної ділянки. Очевидно, що збирання рідини в трубопроводах в яких робочим середовищем є газ відбувається на технологічних колінах та прогинах значних ділянок, наприклад повітряних переходів. Тому перед початком

встановлення вимірювальних компонентів необхідно здійснити вимірювання просторового положення ділянки трубопроводу. У визначених місцях прогину (в початку і в кінці) встановлюються генератор ультразвукових коливань та приймач. Давачі мають один набір п'єзоелектричних перетворювачів і прикріплюються до нижньої стінки труби. Генератор регулярно збуджує п'єзоелектричний первинний перетворювач, який генерує коливальну енергію, що передається в стінку труби. Приймальний давач реєструє отримані коливання від моди спрямованої хвилі і передає сигнал на пункт збору первинної інформації. Типи мод спрямованих ультразвукових хвиль визначаються дисперсними рівняннями, товщиною стінки труби, частотою первинного перетворювача та кутом вводу коливань в стінку (кутом нахилу падаючої об'ємної

ультразвукової хвилі на поверхню стінки труби). Для проведення досліджень нам достатньо генерувати нульові або перші моди симетричної та асиметричної ультразвукової хвилі, оскільки в них зосереджено найбільше коливної енергії, що розподіляється всередині стінки при утворенні набору мод. Нульові моди поширюються на найдовшу відстань і тим самим є найбільш оптимальними при проектуванні системи контролю. Очевидно, що із збільшенням товщини стінки труби частота генерації коливань повинна зменшуватись для забезпечення можливості генерування нульових або перших мод. Відповідно із збільшенням товщини стінки довжина ділянки контролю збільшується. У випадку, коли довжина ділянки трубопроводу, що потребує контролю є більшою за допустимий діапазон чутливості ультразвукового приймача, приймається рішення, щодо підсилення енергії моди ультразвукової хвилі. Підсилення можна здійснити шляхом закріплення додаткового генератора ультразвукових коливань, що розташований на прямій лінії між першим генератором та приймачем і має відстань до першого генератора яка кратна цілому числу довжин хвиль вибраної моди. Типова структура блоку збору та передачі інформаційного сигналу показано на рис. 3.

Система аналізу, рис. 3, включає в себе попередній блок аналого-цифрового перетворення та реалізації протоколу зв'язку із блоком збору первинної інформації, що під'єднується до кількох первинних блоків. Передача інформації може відбуватись як через провідні лінії, так і на основі безпроводних технологій. Використання того чи іншого способу не впливає на систему контролю із розподіленими параметрами, а визначається економічною доцільністю при проектуванні системи чи технічним рівнем подальшого обслуговування.

Зберігання інформації та проведення обчислень. Проведення контролю розподіленою системою вимагає розроблення спеціальних підходів до зберігання та оброблення отриманої інформації. Першим кроком проектування системи зберігання даних до таких систем, як правило, є управління доступом для різних клієнтів системи. Оскільки об'єкт контролю є великим за розмірами, до даних про різні

контролюванні ділянки можуть мати доступ на первинному рівні отримання цих даних різні люди (чи організації). В цьому випадку дані по окремих ділянках повинні зберігатись на серверах тих компаній чи відділів великої компанії, які несуть за контрольовану ділянку відповідальність.

Таблиця 1 – Коефіцієнти передачі хвильової енергії через границю розділу в залежності від їх жорсткості зчеплення

K_1 , ГПа/мм	A_{011}/A_{012}	S_{011}/S_{012}
0,00	1,00	1,00
0,18	0,99	0,98
0,32	0,99	0,97
0,43	0,98	0,96
0,60	0,98	0,95
0,73	0,97	0,93
0,88	0,96	0,92
1,02	0,96	0,90
1,16	0,95	0,87
1,30	0,94	0,84
1,44	0,93	0,82
1,59	0,92	0,79
1,73	0,91	0,73



Рисунок 3 – Організація системи контролю одного блоку збору інформації

Первинна інформація від систем контролю також повинна дублюватись, для можливості відтворення у випадку збоїв із збереженням та для контрольної перевірки даних при виявленні несанкціонованих змін. Таким чином дані отримані безпосередньо від системи контролю за визначеною ділянкою трубопроводу повинні:

1) зберігатись на щонайменше на двох серверах, які розташовані фізично в різних місцях і відповідно рівень доступу персоналу до яких має бути окремим, тобто працівник, що має доступ до першого сервера не може мати доступу до другого і навпаки. Така умова збільшує безпеку зберігання даних та персоніфікує відповідальність за втрату інформації;

2) мати можливість бути порівнюваними між собою, для виявлення розбіжностей. Така умова не дозволяє зберігати дані на зовнішніх носіях, оскільки при великих масивах їх складно завантажувати назад в систему для подальшого порівняння чи аналізу;

3) повними для їх аналізу програмним забезпеченням для ділянки контролю;

4) бути скопійованими чи мати різний рівень доступу до них із центрального сервера, щоб дозволити проводити аналіз всього об'єкту контролю. Причому, у випадку великих масивів даних, проведення аналізу на запит центрального сервера повинен здійснювались локальними серверами.

Проведений аналіз вимог до даних показує необхідність застосування кластерних рішень чи розподілених комп'ютерних систем. При виборі розподілених комп'ютерних систем важливим чинником їх використання є продуктивність, яка в свою чергу залежить від архітектури. Наприклад, при аналізі засобами Ornet виявилось, що трирівнева архітектура має набагато більше продуктивності у порівнянні із дворівневою архітектурою [4]. Аналізувати параметри розподілених комп'ютерних систем може програмне забезпечення Hadoop, яке розподіляє процеси зберігання даних, управління програмним забезпеченням обробки великих даних. Система Hadoop може містити як незв'язані так і зв'язані дані на розподілених комп'ютерних системах (кластерах) і забезпечує можливість проводити їх аналіз [5]. На даний момент програмне забезпечення Hadoop є безплатним як частина проекту Apache Software Foundation. Однією із особливостей Hadoop є можливість продовжувати обчислення при відмові однієї чи декількох серверів (нод) системи. Таким чином це програмне забезпечення повністю відповідає вимогам щодо зберігання та аналізу даних отриманих із розподіленої системи контролю.

Основними компонентами Hadoop є реалізація розподіленої файлової системи та компонент MapReduce, який виконую дві функції співставлення та зменшення. Це

дозволяє розділяти процеси на багато задач, кожна з яких виконується окремо в кластері. Розподілена файлова система реалізована за архітектурою Головний-Підпорядкований. А кожен комп'ютер, що входить до системи Hadoop є однією іменованою ногою, що реалізовує цю файлову архітектуру із застосування протоколу передавання інформації TCP. Іменована нода сама по собі не містить файли, а лише метадані про блоки файлів і їх місце, яке міститься в нодах з даними. Фактично іменована нода контролює ноди з даними та слідує за наповненістю місця в цих нодах. Кількість копій файлів зберігається в іменованій ноді. Клієнти не можуть отримати доступ до файлів безпосередньо, а лише за отриманим дозволом від іменованої ноди. Без дозволу іменованої ноди не можуть розділятися і виконуватись процеси, рис. 4.

Програмні продукти, які виконуються в системі зберігають дані на нодах даних. При запуску програми нода даних з'єднується із іменованою ногою із перевіркою версії і ідентифікаційного номера. У разі несанкціонованого доступу нода даних відключається. Кожних три секунди розподілена файлова система перевіряє з'єднання нод даних із іменованими даними. І кожної десятої перевірки відбувається генерація повідомлень про стан нод даних до іменованих нод. Таким чином незважаючи на розподілену систему і множину зв'язків між нодами доступ до несанкціонованих даних заборонено на рівні реалізації нод даних розподіленої файлової системи. Для забезпечення перевірки доступу при фізичному копіюванні даних із сервера всі файли системи розділені на малі частини, які зберігаються на різних нодах даних. Це додатковий захист від копіювання даних, оскільки копіювання може здійснювались тільки на засобах розподіленої файлової системи із застосуванням повного механізму перевірки з'єднань між нодами.

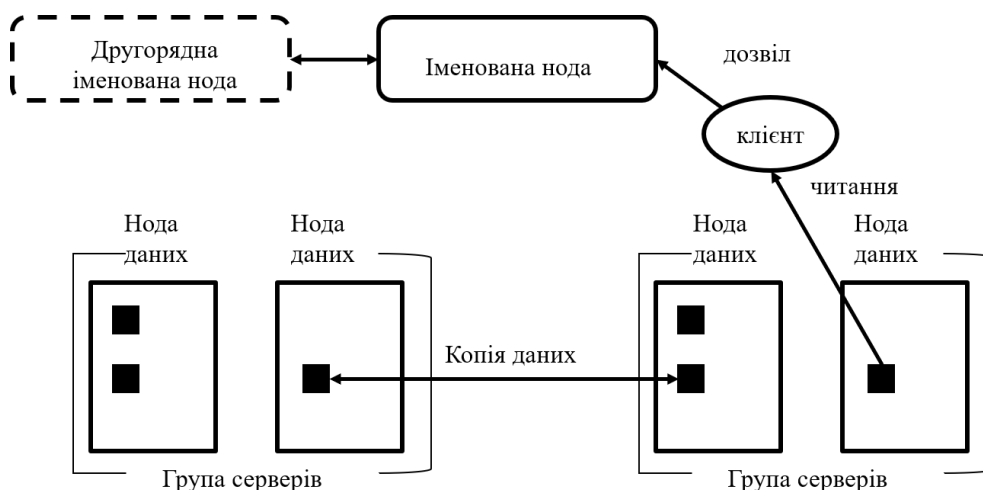


Рисунок 4 – Архітектура розподіленої файлової системи

Роль другорядної іменованої ноди полягає в тому, що цей сервер щогодини з'єднується із головним сервером (іменованою ногою) з метою отримати інформацію про образ файлової системи і файлів історії операцій. У випадку простою іменованої ноди другорядна нода виконує функції головного сервера. Доступ до файлів в розподіленій файлової системі здійснюється за допомогою програм (клієнтів), які можуть виконувати стандартний набір файлових операцій: читання, видалення, створення. Програма клієнт сама здійснює перевірку ідентифікації запиту до файлів, які зберігаються на ноді даних у іменованої ноди. Тобто при запуску клієнта він створює набір з'єднаних зв'язків із нодами даних та доступами до іменованих нод для однієї файлової операції. Звичайно, розподілена файлова система має вищий рівень відмов у порівнянні із одиничним сервером, через збільшення кількості комп'ютерів і мереж. Для забезпечення надійного зберігання даних їх копіюють (реплікують) в інші ноди даних. Копії даних використовуються не тільки для збільшення надійності зберігання, а також для збільшення швидкодії файлової системи: при завантаженості нод даних іменована нода перевіряє швидкодію файлових операцій і переключує частину нових запитів для роботи із репліками даних.

Зворотна до читання файлів операція запису файлів здійснюється компонентом MapReduce, який розділяє файли в тому числі великі за об'ємом на частини створюючи з'єднаний ланцюг даних. Записи частин файлів

здійснюється паралельно із співставленням частин файлів до одного файлу. Частиною обов'язків MapReduce є слідування за часом виконання операцій та плануванням послідовності операцій на майбутнє.

Архітектура системи контролю з розподіленими параметрами. Важливою частиною розподіленої системи в тому числі і системи контролю ядром якої є передача даних від первинного перетворювача до серверів зберігання. Особливість аспекту передачі даних це відстань та економічне обґрунтування використовуваних засобів. На наш погляд найбільш загальним є підхід реалізації системи передавання даних від первинних перетворювачів до серверів зберігання є безпроводне. Провідні системи є доцільним використовувати тільки при їх наявності і можливості спільного використання із одночасно з первинною метою застосування проводів. Фактично, щоб зменшити вартість системи передачі даних, та частина, яка має бути зроблена у великій кількості (кріпиться до первинний перетворювачів), має бути найбільш простою у виконанні. Прикладом, запропонованого підходу є система передачі даних, яка називається LoRaWAN [6]. В рамках підходу, що запропонована в такій системі, використовують тільки просту передачу даних від передавача напряму до системи збору. Системи збору і передавання, що обслуговують кілька первинних перетворювачів, також технічно реалізована без використання додаткових функцій окрім пакетного передавання даних далі до наступної точки

прийому. Точки збору і передавання даних фактично використовуються як ворота із функцією тунельного передавання даних. На цих точках не ведеться ніякої системи аналізу вхідних даних чи ідентифікації первинних нод. Ця ідентифікація відбувається на серверах

зберігання даних. Система LoRaWAN для більшого здешевлення реалізації не має власних протоколів передавання інформації, а на ній може бути використаний будь-який із існуючих, який може бути реалізований в межах архітектури представленої на рис. 5.

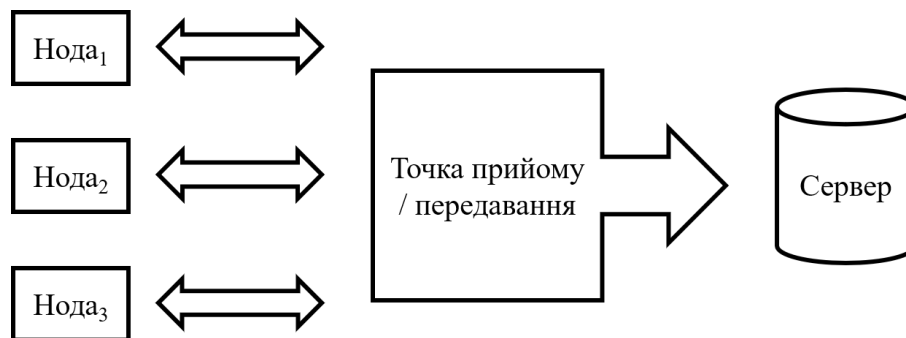


Рисунок 5 – Структура системи передавання даних на основі ієрархічної архітектури

Така ієрархічна архітектура дозволяє відокремити доступ чи власність обладнання, що здійснює первинне передавання даних від серверів, що збирають і аналізують інформацію. Точка прийому і передавання даних має також і таймер для оцінки часу передавання із кроком 1 мкс з метою оцінки часу прийому. Простота передавання даних не означає, що доступ до них є безконтрольним. Дані пересилаються із 128-ми бітним ключем який відіграє роль ключа мережі та програми. Такий ключ забезпечує надійність передавання даних типу точка-точка. Технічні параметри передавання сигналу на прикладі давачів компанії Semtech є модульований сигнал в діапазоні 2.4 ГГц, що може проходити бетонні стіни та передаватись на відстані до 9 км на відкритому просторі [7]. Особливістю передавачів такого типу є ортогональний фактор поширення сигналу, що дозволяє одночасно передавати сигнал із сусідніх нод, якщо інтерферований сигнал на 18 дБ більший за фактор поширення. Фізичний рівень реалізує модуляцію спектру розгортання, який має гарні автокореляційні властивості. Гарні автокореляційні властивості створюються за рахунок збільшення відношення час/частота, що на нашу думку є більш правильним для реалізації систем контролю з розподіленими параметрами, де надійність і якість донесення інформаційної складової сигналу є більш важливою за збільшення часу передавання та оброблення. Збільшення захисту від пошкодження інформаційної складової при

безпроводному передаванні сигналу здійснюється через підхід присвоєння миттєвої частотної траєкторії до кожного символу. Символом є кількість біт інформаційної складової сигналу, що представляється тунельним фактором розширення. На приймачі проводиться зворотна операція по виокремленню інформаційної складової сигналу, що полягає в оптимальному фільтруванні шляхом зменшення піків сигналу через мультиплікацію локально генерованого піку сигналу. Практичним застосуванням системи передавання є використання сигналу в діапазоні 125 ... 250 кГц, де символ S має значення в діапазоні 7 ... 12. Швидкості передачі необроблених даних прямо пропорційна величині символу, частоти сигналу та величини блоку даних і обернено пропорційне величинам інформаційного слова та фактору 2^S . Символ є фактично псевдо-ортогональним кодом і різні символи можуть бути коректно декодовані навіть у випадку одночасного передавання, тобто пересікання в часі і частоті. Умовою одночасного передавання символу є різне його значення та значення сигналу до інтерферованого сигналу плюс рівня шумів (СШ) має бути вищим порогу ізоляції. Для збільшення надійного декодування значення двох символів мають мати найбільш різні значення. Це дозволяє створювати адаптивний механізм передавання даних де зі збільшенням надійності і якості сигналу, що передається йде збільшення часу передавання та

оброблення. Звичайно, для системи розподіленого контролю трубопроводів адаптацію сигналу переводимо в режим найбільшої якості із найдовшим часом передавання та обробки.

Сигнали передаються у вигляді фреймів, який починається із восьми піків для синхронізації із приймачем. Після початку фрейму йде сигнал, що відокремлює фрейм одну від одної, який складається із 4.25 довжини символу (ВФ). Цей ВФ також може бути закодований спеціальним словом синхронізації для позначення публічного / приватного рівня інформації, що буде передаватись. Значення слова кодування може біти рівним або 0x34 для публічного типу фрейму або 0x12 відповідно до приватного. Наступна частина фрейма складається із восьми бітного сигналу фізичного рівня для перевірки автентичності відправленого сигналу, значення цього біту не відкривається і є частиною реалізації обладнання комерційними компаніями. Завершується восьми бітний сигнал перевіркою на помилки. Інформація, що є в цьому восьми бітному сигналу використовується для позначення довжини корисного сигналу та стратегії декодування. Корисний сигнал на фізичному рівні завершує сигнал перевірки суми, що завершує фрейм. В табл. 2 представлено зібрана (узгоджена) інформація від виробників обладнання по параметрам сигналу [8].

Таблиця 2 – Параметри передавання сигналу бездротовими технологіями

Значення символу	7	8	9
Тривалість символу, мс	1	2	4
СПШ, дБ	- 9,5	- 12	- 14,5
Чутливість, дБм	< - 130	< - 130	< - 130

В табл. 2 дані представлені для умов рівня помилок на пакет до 10% при відношенні довжини блоку інформації до довжини слова 4/5. По відношенню до колізій фреймів всередині системи, то для їх ідентифікації і успішного декодування потрібно, щоб різниця між рівнями сигналу була мінімум 6 дБ.

Результати. Представлена математична модель поширення ультразвукових спрямованих хвиль в стінках сталевих трубопроводів та аналіз зміни сигналу внаслідок зміни граничного до стінок середовища за своїми фізико-механічними параметрами (густина, пружність) дозволяє створювати системи контролю наявності включень всередині труб при відносно невеликій кількості первинних перетворювачів. Сама конструкція первинних перетворювачів не вимагає особливостей виготовлення і може бути використаними комерційно доступні із чутливим елементом зробленим із п'єзо матеріалу. Практика показує, що такі первинні перетворювачі можуть довго (роками) експлуатуватись без значного спотворення результатів контролю.

Використання безплатного серверного забезпечення для організації зберігання, читання та оброблення даних утворених розподіленою системою контролю є оптимальним рішенням виходячи із економічного погляду та безпеки доступу до даних, також важливим чинником, що додає переваг до використання Hadoop. Аналіз роботи системи Hadoop вказує на значну швидкість роботи розподіленої файлової системи. Також, важливим чинником є також і постійна підтримка системи Hadoop з боку розробників, що гарантує оперативне оновлення алгоритмів та видалення похибок.

Створення як частини системи контролю із розподіленими параметрами підсистеми бездротової передачі даних дозволить експлуатувати розробку в більш універсальних умовах без залежності від інфраструктури додаткового обладнання, яке в деяких випадках є відсутнім, а в інших належить організаціям, що напряду не є частиною компанії, з експлуатації трубопроводу. Представлена система передавання даних також може використовуватись для місць з великою протяжністю труб на одиницю площі, наприклад газо перекачувальних станцій, оскільки має можливість регулювати параметри сигналу для одночасного його передавання та декодування без втрати інформації. Представлена система передавання також може використовуватись і на ділянках у віддаленій чи малозаселеній місцевості для контролю значної протяжності трубопроводів, оскільки частина системи, що кріпиться до первинних

перетворювачів є проста у виконанні і несе значної частини собівартості системи.

Висновки Встановлено, що спрямовані ультразвукові хвилі нульових симетричної та асиметричної мод по різному реагують на зміну фізико-механічних параметрів граничного середовища до стінок трубопроводів, що дозволяє отримувати більш інформативну складову із отриманих акустичних сигналів через аналіз їх амплітуди у випадку відсутності та наявності зміни фізико-механічних параметрів граничного середовища, так і через порівняння величини зміни двох мод можна проводити ідентифікацію типу зміни, наприклад рідина чи тверде тіло.

Знайдено та проаналізовано компоненти та їх параметри, що є сумісними і можуть разом утворювати єдину систему контролю з безпроводними параметрами (реалізація серверного обладнання для зберігання та обробки даних та системи передавання сигналу на великі відстані та складних умовах конфігурації трубопроводу), якими можна конструювати систему контролю для трубопроводів малого, середнього та великого діаметрів для контрольованих ділянок, що можуть експлуатуватись як біля населених пунктів (великі шуми сигналу у часовій і частотній області), так і у малонаселених та віддалених районах (відсутність джерел живлення та недостатність безпеки експлуатації компонентів системи контролю).

Література

1. Zeebaree, S. R., Shukur, H. M., Haji, L. M., Zebari, R. R., Jacksi, K., & Abas, S. M. (2020). Characteristics and analysis of hadoop distributed systems. *Technology Reports of Kansai University*, 62(4), 1555-1564.
2. Лютак І. З., Лютак З. П., Стрілецький Ю. Й. Удосконалення методу контролю стінок трубопроводів ультразвуковим методом із застосуванням інформаційно-програмного забезпечення. *МПКЯ*, №2(35). 2015, С. 27-37.
3. Hosten B., Casataings M. Finite elements methods for modeling the guided waves propagation in structures with weak interfaces. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2005. Vol 760. P. 142-149. ISSN 0001-4966.

4. B. R. Ibrahim, S. R. M. Zeebaree, and B. K. Hussan, "Performance Measurement for Distributed Systems using 2TA and 3TA based on OPNET Principles," *Science Journal of University of Zakho*, vol. 7, no. 2, pp. 65–69, Jun. 2019, doi: 10.25271/sjuoz.2019.7.2.603.

5. P. Mittal, V. Jain, and T. Ahuja, "File System and Hadoop Distributed File System-An Analogy," *International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science*, vol. 4, 2015.

6. Rizzi, M., Ferrari, P., Flammini, A., & Sisinni, E. (2017). Evaluation of the IoT LoRaWAN solution for distributed measurement applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 66(12), 3340-3349.

7. A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, W.M. Townsley, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things". *Sensors* 2016, 16, 1466.

8. C. Goursaud, J.-M. Gorce, "Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges," *EAI endorsed Transactions on Internet of Things*, 2015.[Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01231221>

References

1. Zeebaree, S. R., Shukur, H. M., Haji, L. M., Zebari, R. R., Jacksi, K., & Abas, S. M. (2020). Characteristics and analysis of hadoop distributed systems. *Technology Reports of Kansai University*, 62(4), 1555-1564.
2. Lyutak I. Z., Lyutak Z. P., Striletskiy Yu. Y. Udoskonalennya metodu kontrolyu stInok truboprovodIv ultrazvukovim metodom Iz zastosuvannyam InformatsIyno-programnogo zabzpechennya. *MPKYa*, #2(35). 2015, S. 27-37[in UKR]
3. Hosten B., Casataings M. Finite elements methods for modeling the guided waves propagation in structures with weak interfaces. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2005. Vol 760. P. 142 – 149. ISSN 0001-4966.
4. B. R. Ibrahim, S. R. M. Zeebaree, and B. K. Hussan, "Performance Measurement for Distributed Systems using 2TA and 3TA based on OPNET Principles," *Science Journal of University of Zakho*, vol. 7, no. 2, pp. 65–69, Jun. 2019, doi: 10.25271/sjuoz.2019.7.2.603.
5. P. Mittal, V. Jain, and T. Ahuja, "File System and Hadoop Distributed File System-An

Analogy,” International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science, vol. 4, 2015.

6. Rizzi, M., Ferrari, P., Flammini, A., & Sisinni, E. (2017). Evaluation of the IoT LoRaWAN solution for distributed measurement applications. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66(12), 3340-3349.

7. A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, W.M. Townsley, “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things”. Sensors 2016, 16, 1466.

8. C. Goursaud, J.-M. Gorce, “Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges,” EAI endorsed Transactions on Internet of Things, 2015.[Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01231221>