

Микола Гумен, Тамара Гумен

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ГАЗОПРОВОДІВ

Николай Гумен, Тамара Гумен

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГАЗОПРОВОДОВ

Mykola Humen, Tamara Humen

TELECOMMUNICATION SYSTEM OF GAS PIPELINES MONITORING

Розглянуто та проаналізовано засоби оперативної діагностики технічного стану трубопроводів газотранспортних систем. Запропоновано сенсорну телекомунікаційну систему, яка на базі сучасних мережних технологій у режимі реального виміру часу дає змогу виявити місця витіку газу на лінійних ділянках газопроводу. Система також забезпечує екологічний моніторинг довкілля, захист об'єкта діагностики від несанкціонованого доступу та обмін інформацією між діагностичним обладнанням, телекомунікаційними пристроями і центральним диспетчерським пунктом управління, аналізу і прийняття рішень.

Ключові слова: газопроводи, телекомунікаційна система, технічна діагностика, датчик, безпека експлуатації, бездротові мережні технології.

Табл.: 2. Рис.: 3. Бібл.: 10.

Рассмотрены и проанализированы средства оперативной диагностики технического состояния трубопроводов газотранспортных систем. Предложена сенсорная телекоммуникационная система, позволяющая на базе современных сетевых технологий в режиме реального времени выявлять места утечки газа на линейных участках газопровода. Система также обеспечивает экологический мониторинг окружающей среды, защиту объекта диагностики от несанкционированного доступа и обмен информацией между диагностическим оборудованием, телекоммуникационными устройствами и центральным диспетчерским пунктом управления, анализа и принятия решений.

Ключевые слова: газопроводы, телекоммуникационная система, техническая диагностика, датчик, безопасность эксплуатации, беспроводные сетевые технологии.

Табл.: 2. Рис.: 3. Библ.: 10.

Facilities of operative diagnostics the technical state of the gas-transport systems pipeline are considered and analysed. The sensory telecommunication system allowing on the base of modern network technologies real-time to reduce the places of outgassing on the linear areas gas pipeline is offered. The system also provides the ecological monitoring of environment, fetch protection of diagnostics object and exchange by information between diagnostic equipment, telecommunication devices and central controller's point of management, analysis and acceptance.

Key words: gas pipelines, telecommunication system, technical diagnostics, sensor, safety of exploitation, off-wire network technologies.

Tabl.: 2. Fig.: 3. Bibl.: 10.

Постановка проблеми. В Україні є понад 35 000 км магістральних газопроводів, близько 4600 км нафтопроводів, більше 570 км магістральних аміакопроводів, діє мережа трубопроводів для газо- та водопостачання населення і підприємств.

Трубопроводи відіграють важливу роль у житті суспільства. Особливе геополітичне становище України зумовлює значущість трубопровідного транспорту й у міждержавних стосунках. Слід також зазначити, що руйнування нафто- та газопроводів, які супроводжуються витіканням транспортованої речовини, спричинює тяжкі екологічні наслідки, суттєво погіршуючи стан навколишнього середовища.

Тому забезпечення надійного функціонування трубопровідного транспорту завдяки систематичному технічному контролю, а також своєчасне усуненням аварійних ситуацій у разі їх виникнення є надзвичайно важливим завданням. А зважаючи на велику протяжність трубопроводів моніторинг їх технічного стану є непростим завданням.

Визначення місця пошкоджень завжди пов'язані з великими труднощами і матеріальними витратами. Технічні засоби, призначені для вирішеного вказаного завдання, відрізняються реалізованими в них методами, принципом дії, сферою застосування, локальним або глобальним характером діагностування та іншими показниками і характеристиками.

Однак саме величезна протяжність і розгалуженість трубопроводів в Україні, а також відсутність розвинутої системи комунікацій істотно обмежує застосування багатьох із відомих методів та систем діагностики технічного стану промислових і магістральних продуктопроводів, у тому числі і газотранспортних мереж.

Тому надзвичайно важливим з практичного погляду є застосування таких підходів і засобів, додатково до існуючих, які б, не порушуючи технологічних режимів експлуатації газових комунікацій, у режимі реального виміру часу контролювали витоки газу з об'єктів газотранспортної мережі (ГТМ) і передавали отриману інформацію до адресата за допомогою сучасних телекомунікаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпосереднє візуальне обстеження газопроводу є економічно не вигідним. Обстеження тільки зовнішньої поверхні труби, як правило, не надає повної інформації про пошкодження та їхні причини.

Крім візуального огляду щодо наявності пошкоджень, оперативна діагностика технічного стану трубопроводів здійснюється за допомогою індикаторів і номограм деформацій [1]. Недоліком індикаторів деформацій є відносно низька точність визначення рівня напружень і деформацій.

Застосування переносних приладів для здійснення суцільного контролю на трубопроводах великої протяжності пов'язане зі значними витратами часу на виконання чималої кількості вимірювань та труднощами з доставкою приладів до місць огляду в разі складних погодних умов і важкодоступної місцевості.

Внутрішньотрубна дефектоскопія виявляє вже наявні пошкодження металу труби, але не надає потрібної інформації про стан захисту для запобігання руйнувань. Ефективність і оперативність обстежень суттєво підвищується з використанням внутрішньотрубних інспекційних снарядів із ультразвуковими датчиками та пересувних газоаналізуючих установок, систем електрометрії, стаціонарних систем неруйнівного контролю, в яких реалізовані метод акустичної емісії (АЕ), ультра- та інфразвуковий, рентгенографічний, рефлектометричний, магнітоанізотропний методи [2–5].

Перспективними засобами моніторингу трубопроводів на сьогодні є автоматичні пошукові системи «Ехо» [3; 4], які дають змогу оперативно виявляти місця звуження прохідного перерізу трубопроводу і забезпечують час обробки однієї ділянки не більше 5 хв, точність виявлення не більше 0,5 м та крок сканування 150...200 м.

Поширеними є системи «Капкан» та «Магістраль», які призначені для виявлення пошкоджень магістральних трубопроводів, несанкціонованих врізань і витоків [2]. Основним їх недоліком є низька відмовостійкість відносно пошкоджень кабелю зв'язку та автономних джерел живлення.

Серед багатьох сучасних автоматизованих систем виявлення витоків із трубопроводів можна виділити АЕ систему «WaveControl» та інфразвукову систему «ІСМТ» [5]. У системі «ІСМТ» реалізовано метод реєстрації інфразвукових коливань, які, як показали дослідження, поширюються усередині трубопроводу на значні відстані. Завдяки слабкому загасанню інфразвукових хвиль ця система здатна виявити витік з трубопроводу, механічну дію на стінку труби, джерела «шуму», що формуються на значній відстані від місця реєстрації.

Зазначимо, що наведені системи «WaveControl» та «ІСМТ» розроблені для застосування на магістральних трубопроводах, що мають велику протяжність, і не враховують особливості трубопроводів промислових підприємств (велика кількість розгалужених трубопроводів при невеликій протяжності). Більше того, використовуване в цих системах обладнання має високу вартість. Наприклад, вартість одного комплексу ультразвукового витратоміру становить близько 55 тисяч доларів. Зважаючи на особливості промислових трубопроводів вартість таких систем є дуже великою.

Заслуговує уваги запропонована НТЦ «НТЦ Нафтогаздіагностика» система періодичного АЕ моніторингу [3]. Застосування системи передбачає розміщення по довжині трубопроводу АЕ перетворювачів, навантаження трубопроводу тиском, реєстрацію сигналів акустичної емісії і визначення за їх параметрами ступеня пошкодження трубо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

проводу. Таким чином, однією мобільною апаратною частиною АЕ системи можна проводити контроль великої кількості об'єктів, наприклад, різних трубопроводів, практично з будь-якою заданою періодичністю. При цьому забезпечується стабільність проведення контролю і можливість порівняння результатів АЕ контролів, проведених у різний час, для прогнозування розвитку ситуації.

У процесі оцінювання результатів, отриманих під час проведення АЕ контролю, необхідно враховувати, в якій стадії розвитку перебуває дефект. Одним із способів розпізнавання стадії акустичної емісії є стеження за зміною параметрів АЕ. Для цього необхідно забезпечити безперервний моніторинг магістрального трубопроводу або проводити регулярний періодичний контроль.

Недоліком періодичного АЕ контролю є необхідність проведення великого обсягу підготовчих робіт для забезпечення можливості установки АЕ датчиків, значні витрати на установку стаціонарної системи, необхідність створення умов для захисту апаратної частини системи і забезпечення її безперебійної роботи. Системи безперервного моніторингу економічно виправдано встановлювати тільки на особливо відповідальних ділянках трубопроводів.

На сьогодні найбільш ефективними є дистанційні методи виявлення дефектів трубопроводів, зокрема і витоків газу, з використанням повторних аеро- та космічних зйомок ділянок трас нафто- та газопроводів, лазерних та тепловізійних пристроїв, проте їх низька ефективність, в основному через періодичний характер контролю, вимагає розробки нових методів і систем [6].

Найбільш перспективним напрямком впровадження технічних засобів у процес моніторингу трубопроводних мереж, у тому числі і газопроводів, є розробка спеціалізованих телекомунікаційних технічних засобів із радіоканалами для передачі інформації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка на основі сучасних мережевих технологій телекомунікаційної системи для виявлення місць витoku газу на лінійних ділянках газопроводів, екологічного моніторингу довкілля, захисту газопроводу від несанкціонованого доступу та забезпечення оперативного обміну інформацією між складовими системи та центральним вузлом управління, аналізу й ухвалення рішень.

Виклад основного матеріалу. Будь-яка спроектована система реалізує попередньо сформульовані вимоги як до системи загалом, так і до її складових частин зокрема, що визначаються зазвичай комплексом завдань, для вирішення яких призначена система. Сенсорна телекомунікаційна система моніторингу газопроводу має вирішувати таке коло завдань: здійснювати виявлення і локалізацію місць витoku газу з газотрубопроводу; забезпечувати управління і контроль експлуатацією газопроводів на основі бездротових технологій; здійснювати моніторинг стану засобів діагностування, пристроїв прийому та передачі, джерел живлення та допоміжного обладнання в режимі реального виміру часу; забезпечувати обмін інформацією між діагностичним обладнанням, телекомунікаційними пристроями і центральним пунктом управління; зберігати, систематизувати та аналізувати дані за різні періоди та інформацію про несправності, що виникають як на об'єктах діагностування, так і в обладнанні; здійснювати моніторинг екологічної ситуації, а в разі виявлення відхилень оперативно реагувати на надзвичайні ситуації.

Функціональна схема розробленої телекомунікаційної системи моніторингу технічного стану газопроводів зображена на рис. 1.

У запропонованій структурі телекомунікаційної системи контролю витоків газу можна виділити три основні рівні управління: локальний, апаратний та клієнтський.

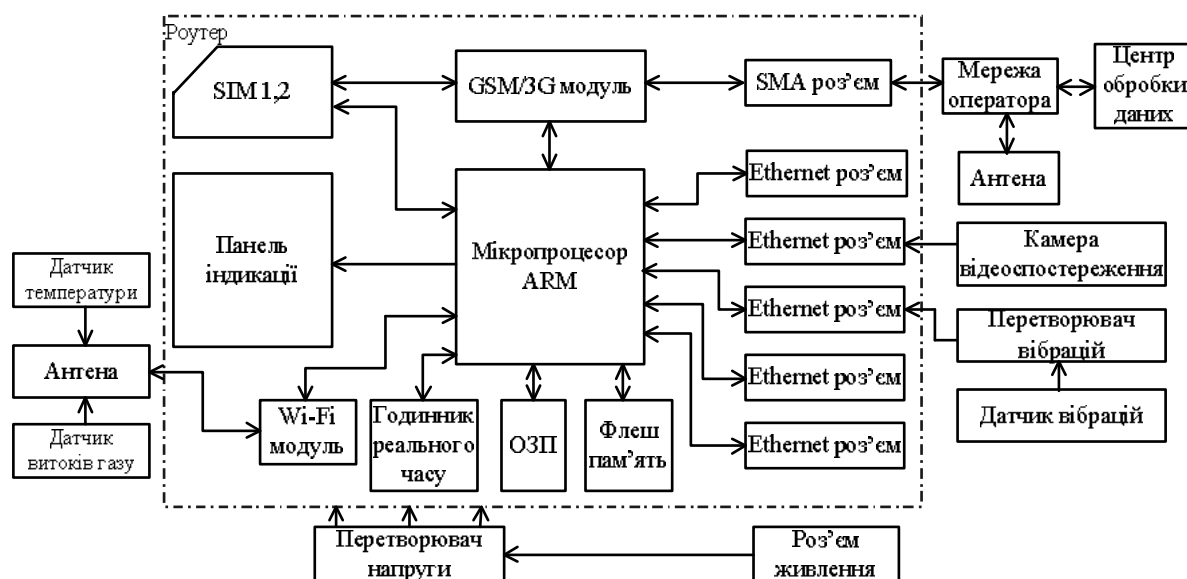


Рис. 1. Функціональна схема телекомунікаційної системи моніторингу технічного стану газопроводів

Локальний рівень управління підтримується камерами відеоспостереження, датчиками витоків газу, вібрацій та температури, джерелами живлення. Апаратний рівень утворюють телекомунікаційні засоби, що здійснюють передачу і прийом інформації різними каналами зв'язку розподіленої сенсорної мережі, а клієнтський рівень складає програмне забезпечення, певні серверні і клієнтські компоненти, що взаємодіють одне з одним через базу даних, щоб забезпечити прийом, накопичення, зберігання, оброблення, відображення, аналіз і передачу інформації, яка надходить від різного устаткування системи для прийняття управлінських рішень.

Ключовими компонентами запропонованої системи моніторингу стану газотранспортної системи є роутер, датчики витоків газу, вібрацій та температури, перетворювачі вібрацій, камери відеоспостереження.

Роутер (бездротовий маршрутизатор) поєднує всі датчики, об'єднує їх у групи та передає інформацію, що надходить від них, у центр обробки даних (сервер). Під час вибору роутера слід керуватися такими вимогами: висока стійкість до умов навколишнього середовища, значний коефіцієнт підсилення антени, можливість автономного живлення. Всім цим вимогам відповідає роутер MOXA WDR-3124A, який підтримує функцію PoE (Power over Ethernet) [7]. Важливим також є і те, що цей роутер має 5 Ethernet-роз'ємів, що дає змогу підключати промислові датчики газу та камери відеоспостереження.

Серія промислових бездротових маршрутизаторів MOXA WDR-3124A підтримує 802.11n стандарти і стільникові технології для забезпечення гнучкого підключення до бездротових мереж. MOXA WDR-3124A поставляється з вбудованою антеною і має ізоляцію живлення.

Монтаж на DIN-рейку, моделі з широким діапазоном робочих температур і IP30 корпус забезпечують MOXA WDR-3124A зручність в експлуатації і надійність для будь-яких типів промислового використання.

Бездротові інфрачервоні датчики витоків газу. Вимоги безаварійної роботи і більш високого рівня надійності змусили багатьох користувачів зробити вибір на користь інфрачервоних (ІЧ) датчиків газу як різновидів оптичних датчиків [8].

У ІЧ-датчику газу реалізовано одну з кращих технологій для визначення типу та концентрації газу в повітрі, засновану на принципі поглинання газом ІЧ-випромінювання (недисперсійний інфрачервоний метод (NDIR)).

Різні гази мають різні максимуми поглинання ІЧ-випромінювання, тому тип і концентрація газу можуть бути визначені через вимірювання й аналіз кривої поглинання газом ІЧ-випромінювання.

Основні переваги ІЧ-датчиків газу: вибухобезпечність; незалежність від наявності кисню; відсутність рухомих частин; стійкість до вібрації; можливість визначення концентрації в діапазоні 0...100 %; лінійність передавальної характеристики, висока точність вимірювань, чутливість і вибірковість газів; тривалий цикл експлуатації.

Датчики такого типу здебільшого містять імпульсне джерело ІЧ-випромінювання, детектор ІЧ-випромінювання, абсорбційний елемент зі входом для газу і віддзеркалюючими поверхнями, а також опорний ІЧ-детектор для вимірювання опорного сигналу (рис. 2).

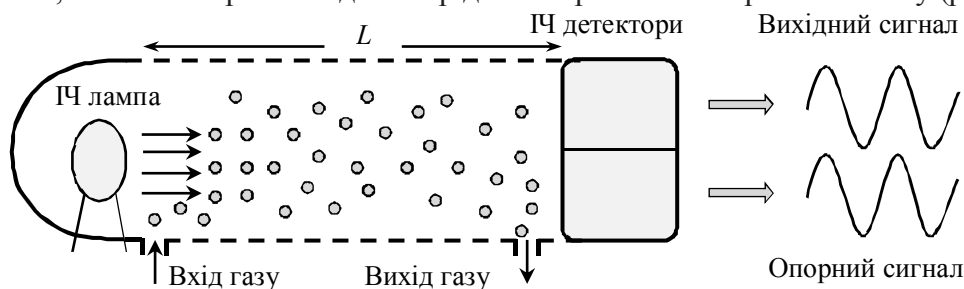


Рис. 2. До принципу функціонування інфрачервоного датчика природного газу

Визначенням газу є вимірювання вихідного сигналу, сформованого перетворенням поглиненого молекулами газу ІЧ-випромінювання. Таке випромінювання поглинається кожним типом газу пропорційно довжині його хвилі і концентрації. Довжина хвилі ІЧ-випромінювання вибирається, виходячи з конкретного газу, наприклад, метану або вуглекислого газу.

Інтенсивність випромінювання після поглинання I (показник вихідного сигналу) порівнюється з інтенсивністю до поглинання I_0 (показник опорного сигналу). Тоді відповідно до закону Бугера–Ламберта

$$I(L) = I_0 e^{-k_\lambda L},$$

де I_0 – інтенсивність вхідного пучка (опорного сигналу); L – товщина речовини, через яку проходить ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі λ ; k_λ – коефіцієнт поглинання, пов'язаний з концентрацією газу C таким співвідношенням: $k_\lambda = x_\lambda C$. Коефіцієнт x_λ характеризує взаємодію молекули поглинаючої речовини з ІЧ-випромінюванням із довжиною хвилі λ .

З'єднання датчика з роутером здійснюється через бездротовий тракт Wi-Fi.

Бездротові датчики температури застосовуються в системі для контролю температури навколишнього середовища в діапазоні від -30 до $+70$ °C та упередження вибухонебезпечних ситуацій. Підключаються датчики температури також через канал Wi-Fi.

На рис. 3 зображена структурна схема використовуваного в запропонованій системі датчика температури з автономним живленням [9]. Принцип його роботи ґрунтується на зрівноважуванні мосту з термісторів. Міст живиться від джерела опорної напруги LT6654-2,5 з низьким коефіцієнтом шумів. Зчитана з термістора напруга оцифровується 24-розрядним $\Delta\Sigma$ -АЦП LTC2484 і через трипровідний інтерфейс SPI подається на радіомодуль LTP5901-IPM.

LTP5901-IPM є повнофункціональним бездротовим модулем, до складу якого входить приймач, власний мікропроцесор та мережне програмне забезпечення (ПЗ). У модуль вбудовані всі функції бездротової мережі: автоматичне конфігурування мережі на основі протоколу IP, зчитування через порт SPI вбудованим мікропроцесором даних з АЦП LTC2484 і керування послідовністю включення живлення сигнальних ділянок.

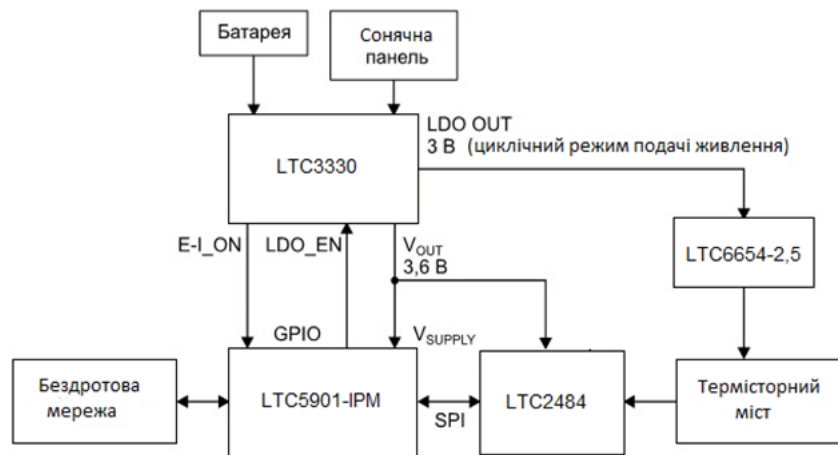


Рис. 3. Структурна схема автономного бездротового датчика температури

Живлення датчика температури здійснюється від батареї або сонячної панелі із залученням малопотужного зведеного імпульсного джерела живлення LTC3330, що перетворює енергію сонячної панелі та перемикається на резервне живлення від батареї, якщо необхідно підтримати певний рівень вихідної напруги. У складі LTC3330 передбачений також LDO-стабілізатор, який керує періодичним включенням датчика температури на час її вимірювання.

Датчики вібрацій та перетворювачі вібрацій. Для упередження несанкціонованого доступу в газотранспортну систему в системі моніторингу передбачено використання промислових датчиків вібрацій, зокрема IFM Electronic VSA 003 (табл. 1). Головна перевага таких датчиків – здатність фіксувати вібрації у трубопроводі на відстані 2 км.

Для того щоб обробити сигнал, що надходить з датчика вібрацій, і передати його через канал Ethernet до маршрутизатора (роутера), у системі моніторингу застосовується перетворювач вібрацій VSE 002, основні технічні характеристики якого наведені в табл. 2. Обрані датчики та перетворювачі вібрацій стійкі до умов навколишнього середовища, завод та можуть функціонувати в широкому діапазоні температур [10].

Таблиця 1

Характеристики датчика вібрацій IFM Electronic VSA 003

Принцип дії	Мікромеханічний датчик прискорення, смісний принцип вимірювання
Частотний діапазон, Гц	0...10 000
Виявлення вібрацій до, g	±17,5
Температура експлуатації	-30...+85 °C
Чутливість, мг/√Гц	0,2
Живлення	12 В

Таблиця 2

Характеристики перетворювача вібрацій VSE 002

Входи	4 x 0...10 мА (давачі вібрацій) 2 x 0/4...20 мА або імпульсний
Виходи	2 дискретних виходи (PNP 100 мА) сигналу тривоги
Шина даних	TCP/IP Ethernet
Робоча температура	-30...+70 °C
Робоча напруга	24 В
Захист від вологи та пилу	IP 20 (потребує зовнішнього корпусу)

Промислова Ethernet-камера відеоспостереження. Візуальний контроль найважливіших вузлів системи забезпечують камери MOXA Vport 56-2MP – перші у світі IP-камери з підтримкою масштабування, які витримують температуру навколишнього середовища від -40 до +75 °C без обігріву й охолодження.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Ці індустріальні Full HD (1920 x 1080) IP-відеокамери поєднують у собі високу роздільну здатність, 10-кратний оптичний і 16-кратний цифровий зум, можуть бути ефективно використані для систем індустріального відеоспостереження високої якості. Максимальна відстань спостереження становить 100 м без використання зовнішніх об'єктивів. Можливість повороту камер на 360° без рухомих кабелів значно підвищує їхню надійність та дає змогу більш гнучко контролювати об'єкт відеонагляду [7].

Розташування відеокамер по всій довжині газопроводу, звичайно, економічно необґрунтоване. Найбільш доцільним є встановлення камер біля важливих вузлів, різноманітних вентилів та іншої запірної арматури.

Висновки і пропозиції. На сьогодні в газотранспортній галузі спостерігається підвищений попит на багатофункціональні і комплексні рішення, де моніторинг, безпека та інформаційні послуги можуть здійснюватися з використанням сучасних телекомунікаційних засобів, що дають змогу обробляти й отримувати різну інформацію у форматі єдиного інтерфейсу, мінімізувавши при цьому вплив «людського фактора» на прийняття управлінських рішень.

Запропонована телекомунікаційна система моніторингу газотрубопроводів включає як кабельні, так і бездротові технології зв'язку. Це підвищує надійність системи, адже у випадку появи завад у бездротовому діапазоні вся система не відмовить.

Перевагою розробленої телекомунікаційної системи є висока швидкість передачі, а також сумісність з мережею GSM. Завдяки цьому система може ефективно функціонувати в будь-якій точці країни, щоправда з різними швидкостями передачі. Компенсувати це може передача інформації через мережу двох операторів. Роутер MOXA WDR-3124A розрахований саме на такий сценарій роботи і має 2 слоти SIM карт для роботи в мережі 2G/3G.

Для зменшення залежності елементів системи від центрального джерела живлення застосовується декілька автономних джерел живлення.

Хоча найважливішим завданням телекомунікаційної системи моніторингу газотрубопроводів є виявлення витоків газу, не менш важливими її компонентами є датчики вібрацій для упередження зовнішніх втручань у газотранспортну систему, датчики температури для контролю стану навколишнього середовища та для уникнення вибухонебезпечних ситуацій, а також відеокамери – для візуального контролю найважливіших вузлів.

У майбутньому подібні системи будуть розвиватися, отримувати новий функціонал. Великий внесок у цей розвиток здійснять системи телекомунікацій 4-го покоління. Це значно розширить можливості каналу передачі даних і, як наслідок, дасть змогу транслювати більш якісне відео.

Значне розширення функціоналу також може принести використання дистанційно керованих дронів-квадрокоптерів. Саме ця функція є найбільш цікавою, адже квадрокоптери зможуть візуально контролювати ситуацію на великих протяжностях газопроводу.

Список використаних джерел

1. Каминский А. А. Методы определения напряженно-деформированного состояния и трещиностойкости газо- и нефтепроводов (обзор) / А. А. Каминский, В. Н. Бастун // Прикладная механика. – 1997. – Т. 33, № 8. – С. 3–30.

2. Фомічов С. К. Моніторинг технічного стану магістральних газопроводів / С. К. Фомічов, С. М. Мінаков, М. А. Яременко // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів : зб. наук. праць XV Міжнародної науково-технічної конференції ЛЕОТЕСТ-2010 (15-20 лютого 2010 р., Славськ). – Львів : ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 2010. – С. 16–18.

3. *Рекомендации по выбору способа мониторинга технического состояния трубопроводов* / А. А. Белов, Ю. Д. Иванов, А. А. Шестаков, С. Г. Царева, Э. В. Шишков // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2015. – № 10. – С. 63–66.
4. *Стаднюк Е. И.* Обнаружение и устранение гидратных пробок в газопроводах / Е. И. Стаднюк, В. П. Шиян // *Современные техника и технологии : сб. докладов XX Международной научно-практической конференции (14-18 апреля 2014 г., Томск)*. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – С. 105–106.
5. *Системы обнаружения утечек из трубопроводов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://refdb.ru/look/1995196.html>.
6. *Хренов Н. Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов / Н. Н. Хренов. – М. : Газоил Пресс, 2003. – 351 с.
7. *Продукція MOXA в Україні* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.moxa.com.ua/2008/products.html>.
8. *Инфракрасные газовые датчики* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gas-sensor.ru/ndir-gas-sensor.html>.
9. *Беспроводные прецизионные датчики температуры с автономным питанием для промышленных сетей* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ptelectronics.ru/stati/>.
10. *Датчик вібрацій VSA003* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ifm.com/products/hke/ds/VSA003.html>.

References

1. Kaminskii, A.A., Bastun, V.N. (1997). *Metody opredeleniia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia i treshchinostoikosti gazo- i nefteprovodov (obzor)* [Methods of determining tensely-deformed state and fracture toughness of gas and oil pipelines]. *Prikladnaia mekhanika – Applied mechanics*, vol. 8, pp. 3–30 (in Russian).
2. Fomichov, S.K., Minakov, S.M., Yaremenko, M.A. (2010). *Monitorynh tekhnichnoho stanu mahistralnykh hazoprovodiv* [Monitoring the technical condition of the main gas pipelines]. Proceedings from *Elektromahnitni ta akustychni metody neruinivnoho kontroliu materialiv ta vyrobiv: zb. nauk. prats XV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Electromagnetic and acoustic non-destructive testing methods of materials and products. Proceedings of the 15-th International scientific-technical conference LEOTEST-2010* (Slavsk, February 15-20, 2010). Lviv: Karpenko PMI of the NASU, pp. 16–18 (in Ukrainian).
3. Belov, A.A., Ivanov, Iu.D., Shestakov, A.A., Careva, S.G., Shishkov, Ie.V. (2015). *Rekomendatsii po vyboru sposoba monitoringa tehniceskogo sostoianiia truboprovodov* [Recommendations for choosing a monitoring method of the technical condition pipelines]. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk – Actual problems of humanities and natural sciences*, no. 10, pp. 63–66 (in Russian).
4. Stadniuk, E., Shiian, V.P. (2014). *Obnaruzhenie i ustranenie gidratnykh probok v gazoprovodakh* [Detection and removal of hydrates plugs in gas pipelines]. Proceedings from *Suchasni tekhnika i tekhnologii: sb. dokladov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii – Modern technique and technology. Proceedings of the XX International scientific-practical conference* (Tomsk, April 14-18, 2014). Tomsk: TPU, pp. 105–106 (in Russian).
5. *Sistemy obnaruzheniia utechek iz truboprovodov [Pipeline leak detection system]*. Retrieved from <https://refdb.ru/look/1995196.html>.
6. Hrenov, N.N. (2003). *Osnovy kompleksnoi diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov [Basics of complex diagnostics Northern pipelines. Aerospace methods and materials]*. Moscow: Gazoil Press (in Russian).
7. *Produktsiia MOXA v Ukraini [MOXA products in Ukraine]*. www.moxa.com.ua. Retrieved from <http://www.moxa.com.ua/2008/products.html>.
8. *Infrakrasnye gazovye datchiki [Infrared gas sensors]*. Retrieved from <http://gas-sensor.ru/ndir-gas-sensor.html>.
9. *Besprovodnye pretsizionnye datchiki temperatury s avtonomnym pitaniem dlia promyshlennykh setei [Wireless precision temperature sensors with self-contained power supply for industrial networks]*. Retrieved from <https://ptelectronics.ru/stati>.

10. *Datchik vibratsii VSA003 [Vibration sensors VSA003]*. www.ifm.com/products/. Retrieved from <http://www.ifm.com/products/hke/ds/VSA003.html>.

Гумен Микола Борисович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-вимірювальних систем, Національний авіаційний університет (просп. космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03068, Україна).

Гумен Николай Борисович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационно-измерительных систем, Национальный авиационный университет (просп. космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03068, Украина).

Humen Mykola – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Measurement Systems, National Aviation University (1 Cosmonaut Komarov Av., 03068 Kyiv, Ukraine).

E-mail: mbgumen@ukr.net.

Гумен Тамара Федосіївна – старший викладач кафедри звукотехніки і реєстрації інформації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського (просп. Перемоги, 37, корп. 12, м. Київ, 03056, Україна).

Гумен Тамара Федосеевна – старший преподаватель кафедры звукотехники и регистрации информации, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» им. Игоря Сикорского (просп. Победы, 37, корп. 12, г. Киев, 03056, Украина).

Humen Tamara – senior lecturer of the Department Audio Engineering and Data Registration information, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., build 12, 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: bela_09@ukr.net.