

**К. М. ПАЛЄЄВА****АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ОБ'ЄКТАХ ГТС**

Діяльність підприємств нафтогазової галузі, зокрема об'єктів газотранспортних систем (ГТС), супроводжується суттєвим антропогенним впливом на довкілля. Значного впливу зазнає саме атмосферне повітря, оскільки багато технологічних процесів супроводжується викидами природного газу (організованими, неорганізованими та аварійними) і, як наслідок, потраплянням в атмосферу суттєвої кількості летючих речовин, багато з яких є небезпечними та шкідливими.

Для виявлення витоків газу з елементів газотранспортних систем існує широкий діапазон методів. Способи класифікації методів напряму залежать від ознак, що покладені в основу їх розподілу. Однак недостатня визначеність класифікаційних ознак, їх «односторонність» не дозволяють в повному обсязі оцінити недоліки та переваги тих чи інших методів та засобів, а, отже, і можливість їх застосування для підвищення ефективності моніторингу атмосферного повітря на об'єктах ГТС з метою забезпечення екологічної безпеки.

Основними завданнями, що вирішуються в даній статті, є формулювання оптимальної з точки зору застосовності в системах екологічного моніторингу атмосферного повітря класифікації існуючих методів контролю наявності витоків газу; аналіз їх переваг та недоліків; обґрунтування доцільності та перспективності застосування даних засобів та методів для забезпечення постійного моніторингу за станом атмосферного повітря на об'єктах ГТС.

Запропоновано класифікацію методів та засобів контролю основу на рівні застосування технічних засобів, згідно якій усі методи поділені на органолептичні, апаратні та обчислювальні (програмно-математичні). За результатами аналізу даних груп визначено, що з точки зору перспектив застосування в системах моніторингу якості атмосферного повітря на об'єктах ГТС найбільше переваг мають апаратні засоби, а саме газоаналізатори.

**Ключові слова:** газотранспортні системи; атмосферні викиди, моніторинг, витоків, екологічна безпека.

**К. PALEYEVA****ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF APPLICATION OF NATURAL GAS LEAK DETECTION METHODS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING AT HTS FACILITIES**

The activities of the oil and gas industry enterprises, in particular the objects of gas transportation systems (GTS), are accompanied by a significant anthropogenic impact on the environment. The atmospheric air itself is significantly affected, since many technological processes are accompanied by emissions of natural gas (organized, unorganized and emergency) and, as a result, a significant amount of volatile substances, many of which are dangerous and harmful, enter the atmosphere.

There is a wide range of methods for detecting gas leaks from elements of gas transportation systems. Ways of classifying methods directly depend on the features that form the basis of their distribution. However, the insufficient definition of the classification features, their "one-sidedness" do not allow a full assessment of the shortcomings and advantages of certain methods and means, and, therefore, the possibility of their application to increase the effectiveness of atmospheric air monitoring at HTS facilities in order to ensure environmental safety.

The main tasks solved in this article are the formulation of the optimal classification of existing methods of controlling the presence of gas leaks in terms of applicability in environmental monitoring systems of atmospheric air; analysis of their advantages and disadvantages; substantiation of the expediency and perspective of using these means and methods to ensure constant monitoring of the state of atmospheric air at GTS facilities.

A classification of methods and means of control is proposed based on the level of application of technical means, according to which all methods are divided into organoleptic, hardware and computational (software-mathematical). According to the results of the analysis of the data of the groups, it was determined that, from the point of view of the prospects of application in the atmospheric air quality monitoring systems at the GTS facilities, hardware means, namely gas analyzers, have the most advantages.

**Key words:** gas transport systems; atmospheric emissions, monitoring, leaks, environmental safety.

**Вступ**

Діяльність підприємств нафтогазової галузі, зокрема об'єктів газотранспортних систем (ГТС), супроводжується суттєвим антропогенним впливом на довкілля. Значного впливу зазнає саме атмосферне повітря. Це пов'язано з певною специфікою цієї галузі, оскільки багато технологічних процесів супроводжується викидами природного газу в атмосферу.

Викиди природного газу при експлуатації об'єктів ГТС прийнято поділяти на [1]:

- організовані – викиди, що відбуваються через джерела визначеної геометричної форми;
- неорганізовані (так звані технічні втрати) – ненаправлені потоки газу, що виникають, наприклад, внаслідок порушень герметичності обладнання;
- викиди під час аварійних ситуацій.

Організовані викиди викликані певними технологічними особливостями роботи об'єктів та обладнання, а неорганізовані та аварійні – порушеннями в роботі газотранспортних систем.

Усі види викидів супроводжуються потраплянням суттєвої кількості летючих речовин в атмосферне повітря. Багато з цих речовин є небезпечними та шкідливими. Тому має місце негативний антропогенний вплив на довкілля. Окрім того усі викиди, особливо неорганізовані та аварійні, несуть загрозу виникнення пожежної та вибухонебезпеки [2].

Окрім екологічних наслідків витоків природного газу в атмосферу в процесі його транспортування споживачам, викликають також втрати товарного газу, а отже тягнуть за собою економічні втрати, як у вигляді недоотриманого прибутку, так і у вигляді штрафів за викиди.

Вплив витоків природного газу на атмосферне повітря на об'єктах ГТС робить актуальною задачу підвищення ефективності моніторингу атмосферного повітря на цих об'єктах з метою забезпечення екологічної безпеки. Це, в свою чергу, потребує аналізу існуючих методів виявлення витоків та визначення подальших шляхів їх удосконалення.

### **Аналіз існуючих методів виявлення несанкціонованих витоків газу з елементів ГТС**

Для виявлення витоків газу з елементів газотранспортних систем існує широкий діапазон методів. Способи класифікації методів напряду залежать від ознак, що покладені в основу їх розподілу. Розглянемо приклади класифікацій методів виявлення несанкціонованих витоків газу з елементів ГТС.

За режимом роботи обладнання виділяють наступні методи:

- динамічні – контроль здійснюється із зупинкою трубопроводу;
- статичні – контроль здійснюється із зупинкою обладнання.

За періодичністю застосування розрізняють методи періодичного контролю (здійснюється через певні проміжки часу) і постійного контролю (здійснюється протягом усього періоду експлуатації трубопроводу).

За характером взаємодії із середовищем, що транспортується існують:

- активні методи (випромінювання сигналу в досліджуване середовище та прийняття у місті витоку);
- пасивні методи (фіксуються «шуми» витоків);
- методи непрямой дії (за результатами вимірювання параметрів вимірюваного середовища або властивостей транспортованої речовини);
- прямі методи (розташування обладнання безпосередньо в імовірних місцях витоків).

За конструктивним виконанням та умовами застосування засоби контролю поділяють на стаціонарні (вбудовані системи і прилади), пересувні та транспортовані по трубопроводу.

Деякі дослідники пропонують поділяти методи контролю на апаратні і програмні. Також застосовується класифікація на зовнішні, візуальні і внутрішні або обчислювальні методи.

#### **Постановка задачі**

Аналіз показує, що недостатня визначеність класифікаційних ознак, їх «однобічність» не дозволяють в повному обсязі оцінити недоліки та переваги тих чи інших методів та засобів, а отже і можливість їх застосування для підвищення ефективності моніторингу атмосферного повітря на об'єктах газотранспортних систем з метою забезпечення екологічної безпеки.

Основними завданнями даної статті є:

- формулювання оптимальної з точки зору мети дослідження класифікації існуючих методів контролю наявності витоків газу;
- аналіз переваг та недоліків існуючих методів контролю та засобів моніторингу наявності витоків природного газу;
- обґрунтування доцільності та перспективності застосування даних засобів та методів для забезпечення постійного моніторингу за станом атмосферного повітря на об'єктах ГТС.

### **Викладення основного матеріалу**

Для спрощення оцінки існуючих методів та засобів контролю за витоків газу в першу чергу слід визначитися з ознаками, що будуть покладені в основу застосовуваної класифікації. Це дозволить більш ретельно оцінити переваги та недоліки того чи іншого методу.

Оскільки метою роботи є підвищення екологічної безпеки на об'єктах ГТС шляхом визначення та наукового обґрунтування методів та апаратних засобів контролю стану атмосферного повітря, доцільно в основу класифікації методів та засобів контролю покласти рівень застосування технічних засобів. Згідно цій ознаці у даній роботі пропонується прийняти наступну класифікацію методів виявлення витоків газу: органолептичні, апаратні та обчислювальні (програмно-математичні).

Однак слід зауважити, що на практиці доволі не часто зустрічається застосування окремо лише одного типу методу виявлення витоків газу. Частіше відбувається комбінування будь-яких двох видів, а іноді бувають задіяні і комбінації з більшої кількості методів.

#### *Органолептичні методи виявлення витоків газу.*

До органолептичних методів слід віднести: фіксацію запаху; візуальний; за шумом (слуховий) тощо.

Визначення витоків газу шляхом фіксації запаху є найпростішим та найрозповсюдженішим. Однак, визначення витоків газу і наявності його в повітрі за допомогою нюху має ряд суттєвих недоліків.

По-перше, сам природний газ не має запаху. Для виявлення його наявності в повітрі за запахом до складу додаються одоранти – речовини, які мають різкий неприємний запах (наприклад, етилмеркаптан, який застосовується в Україні) [3]. Однак одоризація відбувається на виході з ГРС і природний газ, що транспортується по магістральних трубопроводах до ГРС, запаху не має. Окрім того, процесу одоризації в обов'язковому порядку підлягає лише газ, що поступає побутовим споживачам. Одоризація газу, що поступає в промислові підприємства, може не здійснюватися.

По-друге, іноді людина не відчуває запахи, згідно [4] такий стан характеризується як аносія або втрата здатності відчувати запахи. Даний симптом викликаний ураженням рецепторів органів нюху й провідних шляхів нюхового аналізатора та буває як вродженим, так і супроводжує цілу низку захворювань, серед яких вірусні інфекції, хронічний гнійний синусит, енцефаліт, неврит, травми голови, пухлини мозку, хвороба Альцгеймера, інтоксикація різними хімічними речовинами (у тому числі під час хіміотерапії), алергічні реакції тощо. Особливу увагу слід звернути на те, що на даний час розлад нюху вважається одним з основних симптомів COVID-19 (кількість людей, у яких спостерігається даний симптом в середньому складає 50 % від загальної кількості усіх захворілих на коронавірусну інфекцію).

До цього методу також можна віднести методику патрулювання газопроводу з використанням спеціально тренованих собак. Однак для використання цього методу необхідно створення спеціальних служб і спеціальної підготовки персоналу [5].

Візуальний метод визначення витоків природного газу також набув широкого розповсюдження. До нього можна віднести вспінювання мильної емульсії, утворення наморозку або сніжної шуби, жовтіння трави влітку та бурого снігу взимку тощо [5]. Застосування цього методу, насамперед, потребує забезпечення певних умов (наявність мильного розчину, температурні умови, розташування об'єкту в зоровій зоні тощо).

Метод виявлення витоків, оснований на фіксації шуму, що з'являється під час виходу через отвори газу, що знаходиться під тиском, також потребує особливих умов: невеликої відстані до витoku, фізіологічних властивостей спостерігача (чутливість слуху), відсутності інших джерел шуму тощо [6].

Усі ці методи отримали своє розповсюдження завдяки своїй простоті. Але вони використовуються лише для фіксації факту несанкціонованого викиду газу і не дають змоги оцінити кількість газу в повітрі. Це, в свою чергу, робить неможливим визначення за допомогою цих методів екологічного впливу на довкілля.

#### *Математичні методи визначення витрат газу.*

Існує багато математичних методів розрахунку витрат газу в газотранспортних системах. Розглянемо лише деякі з них [7].

Чисельний метод, розроблений на основі математичних моделей для дослідження протікання газу в трубопроводах великої довжини, дозволяє шляхом застосування даних вимірювання параметрів потоку визначити координати витoku газу. Даний метод є модифікацією закону Ньютона для мінімізації функціоналу середньоквадратичного відхилення розрахункових параметрів від даних, отриманих шляхом вимірювання.

Об'ємно-балансовий метод контролю оснований на тому, що у разі наявності витoku, витрата на вході перевищує витрату на виході, а кількість газу в самій трубі зменшується. Для визначення витрат на кінцях контрольованої ділянки необхідно їх виміряти за допомогою високоточних витратомірів. Перевагами даного методу є можливість діагностування витоків на великих ділянках трубопроводу, а також невелика похибка вимірювань, обумовлена сучасним технічним розвитком засобів вимірювання витрати (близько 0,5-1 %). Серед недоліків цього метода можна зазначити неможливість визначити конкретну точку витoku, що, в свою чергу, призводить до додаткових витрат часу. З точки зору визначення антропогенного впливу, цей недолік має суттєве значення, оскільки зі збільшенням часу витoku збільшується концентрація газу в атмосферному повітрі. До того ж, цей метод можна застосовувати лише для лінійних ділянок газопроводу [8].

Метод змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої (ЗП) отримав в останній час широке розповсюдження. Він полягає у вимірюванні перепаду тиску до і після звужуючого пристрою, встановленого в газовому потоці. Перевагами цього методу є низька попередня вартість, проста методика перевірки, відсутність рухомих частин, можливість вимірювання витрати в умовах високого тиску та широкого діапазону температур вимірюваного середовища, широкий діапазон типорозмірів вимірюваних газопроводів. Серед недоліків слід зазначити вузький динамічний діапазон, високу вартість експлуатації, низьку точність вимірювань, використання лише для певних ділянок газопроводів [9].

Метод виявлення витоків по аналізу профіля тиску оснований на моделюванні розподілу тиску вздовж трубопроводу і статистичному аналізі цього розподілу [7]. Витрата на ділянці трубопроводу після появи витоків порівняно з попередньою стає більше, а на наступній за контрольованою ділянці – навпаки стає менше. Відповідно перепад тиску на ділянці до місця витoku збільшується, а після витoku – зменшується, що призводить до появи злому в наведеному профілі тиску. Недоліками цього методу є те, що оскільки багато факторів викликають подібні прояви, даний метод може застосовуватися лише в стаціонарному режимі. Також цьому методу притаманна низька точність та наявність хибних спрацьовувань. На даний час використовується лише разом з іншими методами. Обмеженням цього методу також є те, що його можна застосовувати лише на ділянках газопроводів без відборів газу, що робить неможливим застосування його на газопроводах, прокладених у населених пунктах.

Спеціалісти ПАТ «Іванофранківськгаз» [10] запропонували метод, що передбачає зміну тиску газу у досліджуваній ділянці мережі, так званий «метод зміни тиску». Вимірювання витрати здійснюється за допомогою мобільного витратомірного комплексу (МВК). Застосування методу дає змогу виявити витoki у окремих ділянках газорозподільних мереж та виконувати контроль об'єму витоків. Запропонований метод можна ефективно застосовувати в мережах середнього тиску незалежно від геологічних умов прокладання. При цьому істотною перевагою цього методу порівняно із іншими є можливість його застосування без припинення газопостачання. Застосування методу в мережах низького тиску технологічно частково обмежено. Недоліком є те, що вимірювання слід проводити для невеликого інтервалу часу (або за відключення споживачів у випадку з мережами низького тиску), оскільки повинна виконуватися умова щодо постійного об'єму відбору газу споживачами.

Не можливо не зазначити такий вид оцінки кількості витоків, як статистичний аналіз інформації, зокрема щодо аварій в газовій галузі. Аналіз показників ризику і надійності роботи газотранспортної системи дозволяє приймати обґрунтовані рішення в процесі проектування,

експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів нафтогазової інфраструктури і планувати заходи з підвищення їх надійності та безпечності, у тому числі й екологічної.

Можна зробити висновок, що математичні методи дозволяють визначати витoki газу навіть без наявності прямої інформації. Але ці методи зазвичай все ж таки ґрунтуються на даних, отриманих на основі вимірювань із застосуванням апаратних засобів, а отже є лише допоміжними. Також вимірюється саме втрата газу в системі, причому зазвичай без урахування умов режиму роботи ГТС (наприклад, повноти її завантаження), що, в свою чергу може призвести до похибок в розрахунках величиною до 30 % [16]. Тому є доцільним безпосередньо досліджувати стан саме атмосферного повітря, що також дозволить врахувати більше умов впливу (склад газу, попередній стан повітря тощо).

*Апаратні методи виявлення витоків газу.*

Визначення витоків газу з елементів газотранспортних систем є доволі складною задачею, яка ускладнюється значними технічними труднощами. Однак за останні роки було запропоновано багато сучасних апаратних методів виявлення витоків на газопроводах. Технічні засоби, використовувані для вирішення цієї задачі, відрізняються за багатьма параметрами: принципом дії пристрою, чутливістю, галуззю застосування, фізичними явищами, покладеними в основу роботи, локалізацією діагностування тощо. Порівняно з органолептичними, апаратні засоби є більш точними і надійними.

Можна визначити наступні основні групи апаратних методів виявлення витоків газу [5, 9]: акустичні; ультразвукові; оптичні; лазерні; радіолокаційні; тепловізійні; спектральні; механічні методи на основі витратомірів; газоаналізатори тощо.

Використання акустичних методів моніторингу є основним напрямком в галузі контролю за станом газопроводів провідних компаній галузі. Акустичні методи використовують шум або вібрацію, яка виникає в результаті раптового падіння тиску, щоб виявити можливі витoki [9]. Перевагами цього методу є те, що метод не потребує виведення системи з роботи для встановлення та налаштування датчиків. Також цьому методу притаманні висока чутливість, малий час виявлення витoku і висока точність місця витoku. Недоліком є те, що він може застосовуватися лише на лінійній частині магістральних газопроводів та потребує прямого доступу до трубопроводу. Також існує проблема впливу фонового шуму та перешкод, які можуть замаскувати сигнал витoku, а також імовірність накладання сигналів від декількох витоків, що може призвести до невірних обчислень місцезнаходження та величини витoku [10]. Окремо слід зазначити неможливість визначення кількісної складової витoku.

В останній час широке розповсюдження отримує метод вимірювання витрати за допомогою ультразвукових витратомірів. Він оснований на явищі

зсуву звукового коливання рухомих середовищем. Перевагами цього методу є відсутність перепаду тиску, висока швидкість та відсутність рухомих елементів. Також для контролю горизонтальних і прямих ділянок газопроводу ультразвуковий сканер можна застосовувати шляхом встановлення його на різноманітні роботи. Основними недоліками цього методу є залежність власної швидкості ультразвукових коливань від фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища та певна неточність вимірювань за рахунок усереднення швидкості потоку не вздовж перерізу труби, а вздовж ультразвукового пучка. Спроби підвищення точності витратоміру значно ускладнюють та здорожчують цей метод [5].

Оптичні методи виявлення витоків з газопроводу можна умовно поділити на дві групи: активні і пасивні. Активні методи характеризуються обов'язковою наявністю джерела випромінювання. Як приймач випромінювання використовуються різні типи детекторів: напівпровідникові, фотопомножуючі, оптико-акустичні та інші. Для реалізації пасивних оптичних методів джерело випромінювання непотрібне. Однак недоліком цих методів є висока енергозатратність, висока вартість монтажу обладнання, ймовірність помилкового спрацювання [5].

Лазерні методи визначення місця та величини витoku газів за принципом дії аналогічні оптичним і засновані на опроміненні місцевості високоенергетичним (лазерним) випромінювання. Основним елементом лазерного приладу для виявлення витоків метану є діодний лазер з переналаштовуваною частотою. Оскільки метан добре поглинає інфрачервоне випромінювання на довжині хвилі 1,65 мкм, налаштування діодного лазера здійснюється на випромінювання саме в цьому спектральному діапазоні. Відстань ефективної дії дистанційного лазерного детектора витоків газу для деяких моделей складає до 250 м [5].

Також існує лазерний метод визначення витоків газу, при якому під час опромінення місцевості використовується одночасно два лазери з різними довжинами хвиль. Довжина хвилі опромінення першого лазера обирається такою, щоб вона потрапила в діапазон поглинання природного газу. Довжина хвилі другого лазера обирається навпаки такою, при якій лазерне випромінювання майже не поглинається природним газом. Аналіз інтенсивності відбитого від поверхні землі лазерного випромінювання двох лазерів з різними довжинами хвиль дозволяє визначити місце та величину витоків природного газу з трубопроводу. Основними перевагами цього методу є можливість дистанційної роботи, висока чутливість детекторів, можливість виявлення загазованості крізь скло, широка номенклатура типорозмірів та конструктивного виконання як самих лазерних детекторів, так і пов'язаних з ними елементів і приладів. Однак дані прилади мають низку недоліків, зокрема не дуже

високу точність вимірювань, складність налаштування, високу вартість системи, малий термін експлуатації, потребу в спеціальній підготовці персоналу [5].

Існує також компактний (переносний) лазерний детектор метану. Цей прилад має високу ефективність виявлення витоків газу. Його перевагами відносно інших моделей лазерних детекторів є висока чутливість до метану, мобільність, значно менша вартість.

Радіолокаційний метод. Даний метод визначення місць та вимірювання концентрації витоків газу з елементів газотранспортних систем за принципом дії аналогічний лазерному, тільки для опромінювання зони дослідження використовується радіовипромінювання. Даний метод знайшов своє застосування для визначення потужності і величини витоків природного газу, а також для виявлення потенційно небезпечних ділянок газопроводів. Недоліки: системи, що працюють на основі даного методу, мають низький термін експлуатації та високу імовірність помилкового спрацювання [5].

Тепловізійні методи. Метод, що використовується для визначення витоків з підземних газопроводів, ґрунтується на тому, що температура газу, який транспортується трубопроводом, завжди вища за температуру ґрунту. Тому у разі виникнення витoku відбуватиметься нагрівання ґрунту. Визначення місця витoku здійснюється шляхом аналізу теплового поля випромінювання земної поверхні за допомогою тепловізорів. Даний метод може використовуватися як для мобільних лабораторій, так і для аерозйомки в режимі безперервного сканування. Недоліками цього методу є складність налаштування та висока вартість. До того ж він може застосовуватися тільки для підземних газопроводів [5].

Для виявлення і візуалізації витоків газу з наземних елементів газотранспортних систем також використовується портативна ІЧ-камера (тепловізор). Принцип роботи даного методу також використовує властивість метану поглинати інфрачервоне випромінювання на певній довжині хвилі. Серед переваг цього методу слід зазначити його наочність, чутливість до витоків, достатню відстань дії. Недоліками є неможливість визначення загазованості в замкненому об'ємі (приміщення, колодязь тощо), пов'язану з необхідністю наявності зони підвищеної концентрації на загальному фоні; потреба у високій кваліфікації працівника та досвіду роботи з приладом, неможливість вимірювання кількості викиду.

Спектральні методи. При застосуванні цих методів опромінення території не використовується, тобто даний метод є пасивним. Метод спектрального сканування базується на використанні спектрометрів та інтерферометрів (у тому числі Фур'є-інтерферометра) для отримання та подальшої інтерпретації спектрів теплового інфрачервоного випромінювання в умовах безхмарної атмосфери. Дослідження місцевості на наявність місць витоків та

визначення їх величини виконується з використанням літальних апаратів та орбітальних супутників. Даний метод можна застосовувати як для підземних, так і для наземних елементів газотранспортних систем. До того ж слід зазначити його наочність. Однак, безумовними недоліками цього методу є висока вартість та складність застосування обладнання [5].

Механічні методи із застосуванням витратомірів. Існують різні типи витратомірів. Розглянемо деякі, найбільш розповсюджені з них:

– тахометричні витратоміри: принцип дії оснований на залежності швидкості обертань перетворювача, який встановлено в газопроводі, від витрати газу; перевагами цих приладів є швидкодія, великий діапазон вимірювань та невисока похибка; недоліками є знос опор та наявність рухомих елементів, можливість застосування методу лише на деяких скидних елементах газопроводів;

– теплові витратоміри: призначені для вимірювання витрати речовини, яка проходить через даний переріз за одиницю часу, вимірювання швидкості потоку рідини або газу базується для даного типу витратомірів на ефекті переносу рухомих середовищем тепла від нагрітого тіла; використовуються зазвичай для вимірювання малих витоків у замкненому об'ємі (наприклад, продувочні й скидальні свічки, фланцеві з'єднання, засувки, крани й інші елементи зовнішніх газопроводів); характеризуються високою точністю, достатньо широким діапазоном вимірювань і відсутністю необхідності під час вимірювань враховувати тиск і температуру; разом з тим, дані витратоміри мають високу вартість, дуже часто потребують технологічного програмування вимірювального блоку під конкретні параметри газу і умов вимірювання. Також слід зазначити, що вимірювання за допомогою теплових витратомірів виконується шляхом занурення чутливого елемента в трубопровід [12].

Газоаналізатори. Існує широка номенклатура типів і конструкцій газоаналізаторів, в основу їх класифікації покладені різні параметри, зокрема фізичні або хімічні реакції, що виникають при появі газу в повітрі, що контролюється; призначення; ступінь автоматизації; тип контрольованого газу; спосіб встановлення тощо. За призначенням датчики контролю загазованості поділяться на два основних види: побутові й промислові. Зазвичай сигналізатори побутового призначення покликані реагувати на порогове (встановлене) значення концентрації газу в повітрі, натомість основними задачами промислових сигналізаторів є вимірювання та відображення показників загазованості повітря.

За способом встановлення газові сигналізатори поділяються на стаціонарні та переносні. Живлення стаціонарних датчиків здійснюється від електричної мережі, переносних (мобільних) – від автономного джерела живлення (вбудованого акумулятора), тому місця їх застосування, на відміну від стаціонарних сигналізаторів, не обмежені з точки зору підключення до джерела живлення. Тому мобільні газоаналізатори

широко використовуються для організації патрулювання об'єктів газотранспортних систем згідно графіку або під час прибуття ремонтної бригади на місце імовірної аварії. Недоліком цього методу можна вважати необхідність періодичного калібрування та неможливість безперервного отримання інформації щодо наявності та концентрації природного газу у повітрі.

За ступенем автоматизації газоаналізатори можна поділити на автоматичної (датчики загазованості) та ручної дії. Серед ручних найчастіше розповсюджені абсорбційні газоаналізатори, у яких компоненти газової суміші послідовно поглинаються різноманітними реагентами. Автоматичні газоаналізатори вимірюють будь-яку фізичну або фізико-хімічну характеристику газової суміші або її окремих компонентів безперервно. Широке застосування у якості газоаналізаторів отримали датчики загазованості – це високоточні вимірювальні прилади, що використовуються під час безперервного автоматичного контролю кількості газів, що містяться в повітрі. Найчастіше газові датчики встановлюють в місцях, де відсутній постійний контроль за газовим обладнанням, або в силу розташування його в місцях ускладненого доступу (наприклад, на висоті), або в силу неможливості безперервного контролю за обладнанням.

З точки зору моніторингу якості атмосферного повітря на об'єктах ГТС найбільш перспективним є застосування саме газоаналізаторів. Однак з огляду на широку номенклатуру необхідно чітко сформулювати критерії та вимоги щодо застосовуваності тих чи інших їх типів.

### Висновки.

1. Для виявлення витоків газу з елементів ГТС існує широкий діапазон методів. Способи класифікації методів напряму залежать від ознак, що покладені в основу їх розподілу.

2. Недостатня визначеність класифікаційних ознак, їх «однобічність» не дозволяють в повному об'ємі оцінити недоліки та переваги тих чи інших методів та засобів, а отже і можливість їх застосування для підвищення ефективності моніторингу атмосферного повітря на об'єктах ГТС з метою забезпечення екологічної безпеки.

3. Запропонована класифікація методів виявлення витоків газу за рівнем застосування технічних засобів: органолептичні, апаратні та обчислювальні (програмно-математичні).

4. Органолептичні методи погано піддаються статистичній обробці і не дозволяють отримати кількісні результати, тобто визначити кількість природного газу, що потрапить у повітря у разі витоку.

5. Математичні методи ґрунтуються лише на непрямій інформації і не дозволяють здійснювати постійний моніторинг стану атмосферного повітря на об'єктах ГТС. Можуть застосовуватися як допоміжний інструмент визначення якості атмосферного повітря.

6. За результатами аналізу за запропонованою класифікацією можна зробити висновок, що найбільш зручними для оптимізації є саме апаратні методи та засоби. Основною їх перевагою є отримання кількісних характеристик досліджуваних параметрів.

7. З точки зору моніторингу якості атмосферного повітря на об'єктах ГТС найбільш перспективним є застосування саме газоаналізаторів. Однак з огляду на широку номенклатуру необхідно чітко сформулювати критерії та вимоги щодо застосовуваності тих чи інших їх типів.

### Список літератури

1. Бабаджанова О., Павлюк Ю., Сукач Ю. (2019). Фактори, що визначають пожежну небезпеку лінійної частини магістрального трубопроводу. *Пожежна безпека*. 2019. № 18. С. 27–34.
2. Kotukh V, Varlamov Y, Palieieva K, Plinskyi O. Solution of the Problem of Operational Reliability and Environmental Safety of Transport Pipeline Systems. *MSF*. 2021. № 1038. P. 393–400.
3. Товариство з обмеженою відповідальністю «Оператор ГТС України». URL: <https://tsoua.com/news/avtomatyzuyemo-proczes-odoryzacziyi-gazu-dlya-bezpeky-spozhyvachiv/>
4. Аносмія // Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/Аносмія>
5. Вакалюк Я. І., Карпаш О. М. Вибір методу визначення місць витоків газу з підземних газопроводів. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. № 1. С. 55–63.
6. Яворський А. В., Карпаш О. М., Клюк Б. О. та ін. Підготовка персоналу газотранспортних компаній для пошуку витоків та визначення втрат природного газу. *Нафтова і газова промисловість*. 2010. № 5. С. 41–45.
7. Грудз В. Я., Грудз Я. В., Дрінь Н. Я., Стасюк Р. Б. Дослідження процесу витікання газу з газопроводу. *Журнал енергетики вуглеводнів*. Івано-Франківськ. 2014. № 2. С. 103–107.
8. Чернов, Б. О., Коваль, В. І. Матеріальний баланс газоконденсатних покладів. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 2021. № 2(43). С. 134–142.
9. Manekiya M. H., Arulmozhivarman P. Leakage detection and estimation using IR thermography. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. Melmaruvathur. India. IEEE : Piscataway. NJ, USA. 2016. P. 1516-1519.
10. Дорошенко Ю. І., Михалків В. Б. Моделювання нестационарних процесів у системах газопостачання населених пунктів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2010. № 3. С. 116–124.
11. Mokhtab S., Poe W. A.; Mak J. Y. Raw Gas Transmission. In *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Gulf Professional Publishing : Waltham, MA, USA. 2012. P. 103-176.
12. Петришин І. С. Алгоритм досліджень та контролю метрологічних характеристик робочих еталонів об'єму газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2001. № 7. С. 97–99.
13. Виявлення витоків (втрат) природного газу в газорозподільній мережі з використанням мобільного витратовимірювального комплексу: СОУ 40.2-20077720-040:2011. Київ : НАК «Нафтогаз України», 2011.
14. Заміховський Л. М., Штаєр Л. О. Метод виявлення витоків з трубопроводу при односторонньому доступі до середовища транспортування. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 2. С. 59–62.
15. Грудз В. Я., Грудз Я. В., Фейчук В. В. та ін. Математичне моделювання фільтрації газу в ґрунт внаслідок виникнення малих витоків у газопроводі. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2011. № 3. С. 66–69.
16. Грудз В. Я., Грудз Я. В., Іванов О. В., Підлуський В. П., Туровський О. А., Сухарський Б. М. Діагностування аварійних витоків з лінійної частини газотранспортних систем в умовах їх неповного завантаження. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2023. № 1 (54). С. 31–35.

## References (transliterated)

1. O. Babadzhanova, Yu. Pavlyuk, Yu. Sukach (2019). Factors determining the fire hazard of the linear part of the main pipeline. *Fire Security*. 2019. No. 18. P. 27–34.
2. Kotukh V, Varlamov Y, Palieieva K, Ilinskyi O. Solution of the Problem of Operational Reliability and Environmental Safety of Transport Pipeline Systems. *MSF*. 2021. № 1038. P. 393–400.
3. Gas Transmission System Operator of Ukraine, Limited Liability Company. URL: <https://tsoua.com/news/avtomatyzuyemoproczes-odoryzacziyi-gazu-dlya-bezpeky-spozhyvachiv/>
4. Anosmia Great Ukrainian encyclopedia. URL: <https://vue.gov.ua/Аносмія>.
5. Vakalyuk Ya. I., Karpash O. M. Selection of the method of determining the places of gas leaks from underground gas pipelines. *Quality control methods and devices*. 2013. № 1. P. 55-63.
6. Yavorsky A. V., Karpash O. M., Klyuk B. O. and others. Training of personnel of gas transport companies to search for leaks and determine losses of natural gas. *Oil and gas industry*. 2010. No. 5. P. 41-45.
7. Grudz V. Ya., Grudz Ya. V., Drin N. Ya., Stasyuk R. B. Study of the process of gas leakage from a gas pipeline. *Hydrocarbons Energy Journal. Ivano-Frankivsk*. 2014. No. 2. P.103-107.
8. Chernov, B. O., Koval, V. I. Material balance of gas condensate deposits. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 2021. No. 2(43). P. 134–142.
9. Manekiya M. H., Arulmozhivarman P. Leakage detection and estimation using IR thermography. *In Proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. Melmaruvathur. India. IEEE : Piscataway. NJ, USA. 2016. P. 1516-1519.
10. Doroshenko Yu. I., Mikhalkiv V. B. Modeling of non-stationary processes in gas supply systems of populated areas. *Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*. 2010. No. 3. P. 116-124.
11. Mokhatab S., Poe W. A.; Mak J. Y. Raw Gas Transmission. In *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. Gulf Professional Publishing* : Waltham, MA, USA. 2012. P. 103-176.
12. Petryshyn I. S. Algorithm of research and control of metrological characteristics of working standards of gas volume. *Quality control methods and devices*. 2001. No. 7. P. 97-99.
13. Detection of leaks (losses) of natural gas in the gas distribution network using a mobile flow measurement complex: SOU 40.2-20077720-040:2011. Kyiv: Naftogaz of Ukraine, 2011.
14. Zamikhovskiy L.M., Shtayer L.O. The method of detecting leaks from the pipeline with one-way access to the transportation medium. *Oil and gas energy*. 2007. No. 2. P. 59-62.
15. Grudz V. Ya., Grudz Ya. V., Feychuk V. V. and others. Mathematical modeling of gas filtration into the soil due to the occurrence of small leaks in the gas pipeline. *Exploration and development of oil and gas fields*. 2011. No. 3. P. 66-69.
16. Grudz V. Ya., Grudz Ya. V., Ivanov O. V., Pidluskyi V. P., Turovskiy O. A., Sukharskyi B. M. Diagnosis of emergency leaks from the linear part of gas transportation systems under conditions of incomplete loading. *Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*. 2023. No. 1 (54). P. 31-35.

Надійшла (received) 31.03.2024

## Відомості про авторів / About the Authirs

**Палєєва Катерина Миколаївна (Paleyeva Kateryna)** – старший викладач кафедри нафтогазової інженерії і технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7588-8292>; e-mail: [KAT.81P@gmail.com](mailto:KAT.81P@gmail.com)