

УДК 696

Сергій Петрушенко*, <https://orcid.org/0009-0006-7639-1513>

Артур Запорожець, д-р техн. наук, ст. досл., <https://orcid.org/0000-0002-0704-4116>

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

*Автор-кореспондент: expedutor@gmail.com

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИТРАТ ГАЗУ В РОЗПОДІЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ

Анотація. У статті розглянуто та проаналізовано основні вимоги до системи контролю витрат газу в регіональних газопроводах, встановлені нормативними документами. Особливу увагу приділено вимогам технічного регламенту засобів вимірювальної техніки та державних стандартів України щодо вимірювального обладнання вузлів обліку природного газу, таких як лічильники газу, обчислювачі та коректори об'єму. Визначено вимоги до кліматичних умов експлуатації та електроживлення цих приладів. Показано, що забезпечення безпеки при роботі обладнання, що має у своєму складі електронні та електротехнічні компоненти, у вибухонебезпечних середовищах досягається шляхом використання іскробезпечних бар'єрів. Розглянуто можливі технології збору даних та зв'язку, які забезпечують безперервний моніторинг, швидке виявлення несправностей та можливість дистанційного управління. Зокрема, розглянуто автоматизовані системи збору даних (SCADA) та програмовані логічні контролери (PLC), які дозволяють операторам отримувати точні дані в режимі реального часу, аналізувати їх та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Зазначено, що на основі аналізу даних, збережених у пам'яті обладнання вузлів обліку газу, за допомогою математичних моделей можна виконати прогнозні розрахунки витрат газу споживачів залежно від умов експлуатації та внутрішніх факторів, таких як температура, тиск та обсяг споживання.

Ключові слова: витрати газу, обчислювач, коректор, лічильник, іскробезпечний бар'єр.

1. Вступ

Основним документом, який визначає взаємовідносини оператора газорозподільних систем із суб'єктами ринку природного газу, а також правові, технічні, організаційні та економічні засади функціонування газорозподільних систем, зокрема умови забезпечення комерційного, у тому числі приладового обліку природного газу в газорозподільній системі та визначення його об'ємів і обсягів передачі, є Кодекс газорозподільних систем (далі – Кодекс) [1]. Згідно з ним газорозподільна система є технологічним комплексом, до складу якого входять, окрім технологічного обладнання і трубопроводів, також лінії технологічного зв'язку, обладнання автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами.

Кодекс визначає загальні вимоги до засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) комерційних вузлів обліку природного газу (далі – ВОГ), зокрема щодо конструктивних особливостей шаф, у яких мають бути розміщені лічильники, щодо програмного забезпечення. Крім того, також визначає вимоги щодо забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до обладнання та програмного забезпечення, регламентує загальні вимоги до обчислювачів та коректорів об'єму газу та їх індикаторів.

За допомогою інформації, отриманої від ЗВТ ВОГ, виконуються розрахунки нормативних та виробничо-технологічних втрат / витрат природного газу відповідно до методики визначення розмірів нормативних та виробничо-технологічних втрат / витрат природного газу при здійсненні розподілу природного газу [2]. Проте, внаслідок окремих видів порушень з боку споживача, здійснюється перерахунок (донарахування) об'ємів природного газу або зміна їх режиму нарахування. До таких порушень належать: несанкціоноване втручання у газопроводи та ЗВТ ВОГ, несанкціоноване

відновлення газоспоживання та несанкціоноване підключення газових приладів на об'єкті споживача, який обліковується за нормами споживання. Також це може бути несанкціоноване підключення газових приладів, внаслідок якого перевищується діапазон обчислення вузла обліку та використання природного газу споживачем за відсутності чи після розірвання договору розподілу природного газу.

У таблиці 1 наведено дані [3] щодо стану оснащеності приладами обліку природного газу за областями, а також окремо для Києва та Харкова.

Таблиця 1. Частка споживачів з комерційним обліком природного газу у 2019–2024 рр.

Область / Місто	Частка споживачів з комерційним обліком природного газу, %			
	2019	2020	2021	2024
Вінницька	98	98	98	99
Волинська	97	99	99	100
Дніпропетровська	88	93	94	96
Донецька*	76	76	70	—**
Житомирська	95	99	99	99
Закарпатська	100	100	100	100
Запорізька*	87	90	91	—
Івано-Франківська	99	99	99	100
Київ	63	64	70	74
Київська	97	97	98	98
Кіровоградська	92	94	93	96
Луганська*	82	90	85	—**
Львівська	92	92	94	96
Миколаївська	89	93	93	96
Одеська	92	93	94	96
Полтавська	92	92	94	98
Рівненська	98	98	98	99
Сумська	95	96	96	98
Тернопільська	98	98	99	99
Харків	—**	57	60	67
Харківська	71	93	94	95
Херсонська*	96	97	97	—**
Хмельницька	97	100	99	100
Черкаська	88	89	90	96
Чернівецька	97	97	99	99
Чернігівська	99	99	98	98

Примітка: * - без врахування територій, на яких ведуться бойові дії, ** - дані відсутні

З наведених у таблиці даних видно, що частка споживачів, у яких встановлені ВОГ, збільшується та, за виключенням Києва та Харкова, досягає значення у більше 90 %, при цьому здебільшого у західних областях України наявне 100 % забезпечення споживачів засобами обліку витрат газу.

Метою цієї статті є огляд вимог до обладнання системи контролю витрат газу в розподільних газопроводах, встановлених у нормативних документах, які мають бути враховані при розробці підходів до створення структури системи.

2. Методи та матеріали

За результатом аналізу літературних джерел наявні дослідження умовно можна розділити на такі, що зосереджені на розробці методів точної ідентифікації місць витоків на газопроводах [4, 5], розрахунках потенційних обсягів втрат газу [6, 7] та методів виявлення необлікованого споживання [8, 9]. Крім того, існують дослідження, спрямовані на визначення впливу точності витратомірів на загальний баланс природного газу в системі споживання, наприклад [10, 11], а також такі, де розглядаються методи моделювання потоку газу в трубопроводах [12], розв'язання задач розподілу газу в системі трубопроводів [13] та оцінки пропускної спроможності газових мереж [14]. Окремо можна виділити ряд публікацій, що стосуються дослідження функціонування енергетичних об'єктів і систем загалом, наприклад [15, 16], та газотранспортних систем зокрема, наприклад [17, 18]. Серед

публікацій, результати яких будуть корисними для використання при розробці системи контролю витрат газу в розподільних газопроводах, є, зокрема, [19, 20].

3. Результати

Система контролю витрат газу в розподільних газопроводах (далі – Система) є інформаційно-вимірювальною системою, що може виконувати функції моніторингу, реєстрації та архівування витрат газу на окремих ділянках регіональних газопроводів, що дозволить отримувати точні дані про обсяги споживання газу кінцевим споживачем та визначати тенденції споживання, а також виконувати функції сигналізації та оповіщення персоналу щодо необхідності виконання дій по зміні обсягів потоків газу, наприклад, шляхом зміни тиску газу.

Система може бути застосована як засіб для безперервного контролю значень об'єму газу у регіональних газопроводах, що дозволяє забезпечити надійне та ефективне управління газорозподільною мережею. Вимірювальний канал системи складається з декількох основних компонентів: лічильника-витратоміра, в тому числі ротаційного, турбінного, ультразвукового; обчислювача-коректора, до складу якого входить перетворювач тиску та зовнішній перетворювач температури; робочої станції (комп'ютера або ноутбука). Лічильник-витратомір може бути встановлений на різних ділянках газопроводу (газорозподільні станції – ГРС, котельні) з метою забезпечення точного вимірювання об'єму газу.

Принцип дії системи полягає у наступному: витратомір та обчислювач-коректор встановлюються на ділянці газопроводу та отримують дані про об'єм, тиск та температуру. За допомогою аналого-цифрового перетворення дані про вимірювання потрапляють на обробку у коректор, де, у свою чергу, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення відбувається математичний підрахунок загальних витрат. Результати обробки, які включають точні значення витрат газу, виводяться на екран робочої станції в реальному часі, що дозволяє оператору здійснювати моніторинг та управління газорозподільною системою з високою точністю.

Для коректної роботи обладнання системи повинне мати здатність до збереження виконання необхідних функцій в умовах експлуатації. Це досягається шляхом стійкості всіх компонентів системи до сукупності зовнішніх факторів, можливих у місцях експлуатації системи, зокрема впливів навколишнього середовища, спеціальних середовищ (наприклад, агресивної дії газів та протикорозійних агентів), механічних впливів, електричних полів, змін параметрів електроживлення та електромагнітних перешкод. Слід зауважити, що у таких елементів ВОГ, як трубопроводи, засувки та потоковипрямлячі, дія електричних полів, зміни параметрів електроживлення та електромагнітних перешкод не призводять до порушення функціонування.

Моніторинг, реєстрація та архівування даних виконується окремими елементами ВОГ. При цьому, відповідно до Кодексу [1], ВОГ може бути побудований на різній елементній базі (табл. 2).

До вимірювального обладнання, до якого належать лічильники газу, обчислювачі та коректори об'єму, відповідно до Технічного регламенту [27], встановлюються вимоги щодо:

- точності вимірювання;
- калібрування;
- надійності та довговічності;
- кліматичних та механічних впливів.

Так, згідно з додатком 2 Технічного регламенту за нормованих робочих умов і за відсутності перешкод похибка вимірювання не повинна перевищувати значення максимально допустимої похибки, яке встановлено спеціальними вимогами відповідних національних стандартів та технічних специфікацій для певних засобів вимірювальної техніки.

Відповідно до Технічного регламенту встановлюються також вимоги щодо стійкості обладнання до таких електромагнітних перешкод:

- переривання напруги;
- короткочасне падіння напруги;

- перехідні процеси в силових та/або сигнальних колах;
- електростатичні розряди;
- радіочастотні електромагнітні поля;
- наведені радіочастотні електромагнітні поля на силових лініях та/або сигнальних колах;
- викиди напруги і струму в силових лініях та/або сигнальних колах.
- колювання напруги;
- колювання частоти напруги живлення;
- частотні електромагнітні поля джерела живлення.

Таблиця 2. Конструктивні елементи комерційних ВОГ

Комерційний ВОГ з використанням побутового лічильника газу	Комерційний ВОГ на базі звужуючого пристрою з обчислювачем об'єму газу	Комерційний ВОГ на базі лічильника газу в комплекті з вбудованим чи окремим коректором або обчислювачем об'єму газу
– фільтр газу; – лічильник газу; – захисні шафи комерційного ВОГ та/або його елементів; – засувки на вході до комерційного ВОГ; – автоматизовані пристрої передачі результатів вимірювання вузла обліку; – автоматизовані пристрої приведення об'ємів природного газу до стандартних умов.	– фільтр газу; – обчислювач об'єму газу; – вимірювальний трубопровід з прямими ділянками та місцевими опорами; – поточковипрямляч; – захисні шафи комерційного ВОГ та/або його складових; – засувки на вході та на виході з комерційного ВОГ; – автоматизовані пристрої передачі результатів вимірювання вузла обліку, лінії зв'язку і допоміжні засоби; – засоби вимірювальної техніки та/або вимірювальні перетворювачі тиску, перепаду тиску та температури і параметрів газу.	– фільтр газу; – коректор або обчислювач об'єму газу; – вимірювальний трубопровід з прямими ділянками та місцевими опорами; – поточковипрямляч; – лічильник газу; – захисні шафи комерційного ВОГ та/або його елементів; – засувки на вході та на виході з комерційного ВОГ; – автоматизовані пристрої передачі результатів вимірювання вузла обліку, лінії зв'язку між складовими комплексу та допоміжні пристрої до ліній зв'язку; – датчик тиску та/або температури газу.

Відповідність зазначеним вимогам Технічного регламенту досягається шляхом забезпечення при виготовленні та використанні обладнання вимог національних та міжнародних стандартів, таких як ДСТУ, ISO тощо. Зокрема, вимоги до лічильників газу встановлюються відповідно до ДСТУ OIML R 137-1-2:2018 [28], до коректора / обчислювача газу – згідно з ДСТУ EN 12405-1:2017 [29].

Значення максимально допустимих похибок лічильників газу в процесі експлуатації, регламентованих ДСТУ OIML R 137-1-2:2018, зазначено в таблиці 3.

Таблиця 3. Максимально допустимі похибки лічильників газу в процесі експлуатації відповідно до ДСТУ OIML R 137-1-2:2018

Витрата газу Q	Клас точності		
	0,5	1	2
$Q_{min} \leq Q < Q_t$	$\pm 2 \%$	$\pm 4 \%$	$\pm 6 \%$
$Q_t \leq Q < Q_{max}$	$\pm 1 \%$	$\pm 2 \%$	$\pm 1 \%$

де Q_{min} – найменше значення витрати, за якого має працювати лічильник газу в межах границь своєї максимально допустимої похибки, одночасно експлуатуючись у межах своїх нормованих робочих умов; Q – частка від фактичної кількості газу, що проходить через лічильник, і часу, витраченого на цю кількість, що пройшла через лічильник; Q_t – значення витрати, що перебуває в межах максимальної та мінімальної витрати та розділяє діапазон витрати на дві зони – «верхня зона» та «нижня зона», кожна з яких характеризується власними максимальними похибками; Q_{max} – найвище значення витрати, за

якого має працювати лічильник газу у межах границь своєї максимально допустимої похибки, одночасно експлуатуючись у межах своїх нормованих робочих умов.

Відповідно до ДСТУ EN 12405-1:2017 перетворювачі класифікуються за такими принципами вимірювання:

- перетворення як функція температури (пристрій перетворення складається з обчислювача та перетворювача температури, а перетворення об'єму виконують за нормальних умов, перетворення T);
- перетворення як функція тиску й температури (пристрій перетворення складається з обчислювача, перетворювача тиску та перетворювача температури, перетворення PT);
- перетворення як функція тиску, температури та відхилення від закону ідеального газу (пристрій перетворення складається із обчислювача, перетворювача тиску та перетворювача температури, перетворення PTZ);
- коригування об'єму за умов вимірювання (об'єктом функції перетворення є компенсація похибки лічильника газу).

Згідно з ДСТУ EN 12405-1:2017 встановлюються значення максимально допустимих похибок та похибки перетворення. Значення максимально допустимих похибок для стандартних умов для пристрою перетворення, що містить у своєму складі обчислювач, зазначено в табл. 4.

Таблиця 4. Максимально допустимі похибки елементів пристрою перетворення за ДСТУ EN 12405-1:2017

Показник чи елемент	Нормальні умови	Робочі умови
Основний показник для перетворення PT та PTZ	0,5 %	1 %
Обчислювач	0,2 %	0,3 %
Температура	0,1 %	0,2 %
Тиск	0,2 %	0,5 %
Основний показник тільки для перетворення T	0,5 %	0,7 %

У таблиці 3 «нормальні умови» – умови застосування, визначені для перевірки експлуатаційних характеристик вимірювального приладу чи для взаємного порівняння результатів вимірювання, а саме:

- температура $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ і фактична температура не повинні змінюватись більше ніж на $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ під час випробування;
- відносна вологість навколишнього повітря – $60\text{ \%} \pm 15\text{ \%}$, і ця відносна вологість не повинна змінюватись під час випробування більше ніж на $10\text{ \%}$;
- номінальні значення напруги та частоти живлення (для обладнання, що має електроживлення змінного струму).

З метою забезпечення безперервної роботи обладнання система повинна мати можливість отримувати електроживлення щонайменше від двох джерел, при цьому доцільним є використання акумуляторних батарей з метою збереження можливості роботи системи в автономному режимі.

Оскільки окремі елементи системи працюють у вибухонебезпечному середовищі (див. ДСТУ EN 13237:2019 [21]), відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 [22] мають бути забезпечені вимоги електричної іскробезпеки. З цією метою у таких приміщеннях зазвичай використовують іскробезпечні бар'єри [23–25] відповідно до ДСТУ EN 60079-11:2017 [26]. Іскробезпечний бар'єр (або іскрозахист) – це пристрій, який запобігає виникненню іскри або теплового ефекту, достатнього для займання вибухонебезпечної атмосфери. Це досягається за допомогою ряду електронних компонентів, зокрема захисних діодів, які використовуються для обмеження напруги і запобігають перевищенню її допустимих значень; резисторів, які обмежують струм так, щоб його значення не перевищувало безпечний рівень; запобіжників, які відключають електричне коло у разі виникнення небезпечних умов, таких як коротке замикання або перевищення максимально допустимого струму. Бар'єр іскробезпеки встановлюється в електричному колі, що сполучає датчик, який знаходиться у вибухонебезпечній зоні, та вторинний перетворювач (пристрій), також розташований у вибухонебезпечній зоні.

Для цілей автоматизації у розроблюваній системі можуть бути застосовані:

- автоматизовані системи збору даних (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition), які широко використовуються для моніторингу і контролю промислових процесів на відстані. Вони збирають дані з сенсорів, передають їх на центральний диспетчерський пункт, де оператори можуть аналізувати дані та приймати управлінські рішення. Перевагами SCADA є забезпечення безперервного моніторингу, швидке виявлення відхилень від нормального режиму роботи, можливість дистанційного управління, підвищення ефективності роботи та безпеки [30];

- програмовані логічні контролери (PLC – Programmable Logic Controllers), які можуть бути задіяні для автоматизації технологічних процесів, зокрема керування клапанами, компресорами, насосами та іншими компонентами системи. Такі контролери в системі можуть виконувати функції автоматичного регулювання витрат газу та аварійного відключення окремих ділянок мережі у разі необхідності.

Для забезпечення зв'язку між окремими компонентами системи можуть бути використані:

- промислові протоколи (Modbus, Profibus, HART [31]), які зазвичай застосовуються для надійної передачі даних між сенсорами, контролерами та SCADA-системами;

- IP-протоколи для передачі даних через Інтернет або внутрішню мережу;

- бездротові технології GSM, GPRS, 3G/4G, LTE для передачі даних з віддалених об'єктів.

Згідно з вимогами Кодексу та Технологічного регламенту обладнання системи має бути захищене від несанкціонованого доступу. Метрологічні характеристики засобу вимірювальної техніки не повинні піддаватися неприпустимим впливам приєднаного до нього іншого пристрою, будь-якої функції приєднаного пристрою або будь-якого дистанційного пристрою, який приєднаний до такого засобу.

Для запобігання можливості навмисного або ненавмисного виведення з роботи, втручання в роботу, псування або розкрадання, які можуть створити загрозу для безпеки, можуть бути використані заходи фізичного захисту від несанкціонованого доступу всередину обладнання системи та її експлуатаційно-автономних складових, до кабельних з'єднувачів, затискачів та інших елементів для зовнішніх підключень, захист від несанкціонованої зміни програмного забезпечення, баз даних і архівів; негайне сповіщення персоналу про будь-яку спробу несанкціонованого доступу до експлуатаційно-автономних складових частин, програмного забезпечення, баз даних або архівів.

4. Обговорення

Система контролю витрат газу в регіональних газопроводах може сприяти енергоефективності і зменшенню технологічних та несанкціонованих втрат газу в мережі. При цьому коректність роботи та ефективність застосування такої системи залежать у першу чергу від надійності та точності вимірювань. З урахуванням цього у наступному дослідженні передбачається виконати аналіз можливостей застосування в системі сучасних витратомірів та датчиків газу із врахуванням вимог щодо їх калібрування та можливих похибок. Крім цього, передбачається виконати аналіз даних обладнання, застосованого на реальних об'єктах та збереженого у пам'яті обчислювачів щодо умов експлуатації та внутрішніх факторів.

5. Висновки

Проаналізовано основні вимоги до системи контролю витрат газу в розподільних газопроводах, зокрема до вимірювального обладнання, автоматизації та зв'язку, а також вимог безпеки. Показано, що вимірювальне обладнання системи повинно відповідати стандартам щодо забезпечення точності та надійності, зокрема вимогам державних стандартів ДСТУ OIML R 137-1-2:2018, ДСТУ EN 12405-1:2017. Розглянуто технології щодо систем збору даних та зв'язку, які забезпечують безперервний моніторинг, швидке виявлення несправностей та можливість дистанційного управління. Враховано, що з точки зору вимог безпеки при роботі обладнання у вибухонебезпеченому середовищі необхідне застосування іскробезпечних бар'єрів відповідно до вимог ДСТУ EN 60079-11:2017.

Внесок авторів. Постановка задачі, аналіз та систематизація інформації щодо нормативних вимог до елементів системи – С. Петрушенко, обговорення та висновки – А. Запорожець, С. Петрушенко.

Фінансування роботи. Робота виконана в рамках НДР «Розвиток методів та засобів моніторингу стану довкілля об'єктів енергетики на базі бездротових сенсорних мереж» (0123U100127, 2023–2027 рр.).

Посилання

1. Кодекс газорозподільних систем, затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2494 та зареєстрований в Міністерстві юстиції України 06 листопада 2015 р. за № 1379/27824. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text> (дата звернення: 12.09.2024).
2. Методика визначення розмірів нормативних та виробничо-технологічних втрат / витрат природного газу при здійсненні розподілу природного газу, затверджена Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 06.11.2020 № 2033. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v2033874-20#Text> (дата звернення: 12.09.2024).
3. Стан оснащення приладами обліку газу житлових будинків. URL: <https://map.ua-energy.org/uk/resources/6b39211f-957c-4ff3-aa43-ea09aaa33174/> (дата звернення: 09.07.2024).
4. Xie Y., Wang X., Mai F. Calculation of theoretical transmission loss in trunk gas pipeline. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 11. Iss. 12. 168781401989544. <https://doi.org/10.1177/1687814019895440>
5. Kostowski W. J., Skorek J. Real gas flow simulation in damaged distribution pipelines. *Energy*. 2012. Vol. 45. Iss. 1. P. 481–488.
6. Arslan K., Akpınar M., Fatih Adak M. The detection of unaccounted natural gas consumption: A neural networks and subscriber-based solution. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2024. Vol. 52. 101669. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101669>
7. Behrooz A. H., Boozarjomehry R. B. Dynamic optimization of natural gas networks under customer demand uncertainties. *Energy*. 2017. Vol. 134. P. 968–983. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.087>
8. Soltanisarvestani A., Safavi A. A., Rahimi M. A. The Detection of Unaccounted for Gas in Residential Natural Gas Customers Using Particle Swarm Optimization-based Neural Networks. *Energy Sources. Part B: Economics, Planning, and Policy*. 2022. Vol. 18. Iss. 1. <https://doi.org/10.1080/15567249.2022.2154412>
9. Dayev Z. Development of a fuzzy automated natural gas volume control system for the gas pipeline. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2024. Vol. 15. P. 2997–3010. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02309-8>
10. Arpino F., Canale L., Cassano M. L., Cortellessa G., Dell'Isola M., Ficco G., Tagliabue A., Zuena F. Link between unaccounted for gas in transmission networks and flow-meters accuracy. 19th International Flow Measurement Conference 2022. 2023. IMEKO. <https://doi.org/10.21014/tc9-2022.069>
11. Ficco G., Canale L., Cortellessa G., Zuena F., Dell'Isola M. Effect of flow-rate measurement accuracy on unaccounted for gas in transmission networks. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2023. Vol. 90. 102336. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102336>
12. Cavalieri F. Steady-state flow computation in gas distribution networks with multiple pressure levels. *Energy*. 2017. Vol. 121(C). P. 781–791. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.062>
13. de Wolf D., Smeers Y. The Gas Transmission Problem Solved by an Extension of the Simplex Algorithm. *Management Science*. 2000. Vol. 46. Iss. 11. P. 1454–1465. <http://doi.org/10.1287/mnsc.46.11.1454.12087>
14. Hiller B., Koch T., Schewe L., Schwarz R., Schweiger J. A System to Evaluate Gas Network Capacities: Concepts and Implementation. *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 270. Iss. 3. P. 797–808. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.035>
15. Ковтун С., Пономаренко О., Назаренко О. Якість управління інформаційними потоками в умовах стохастичного енергоспоживання. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. № 3 (74), С. 78–84. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.078>
16. Shulzhenko S., Nechaieva T., Leshchenko I. The Application of the Optimal Unit Commitment Problem for the Studies of the National Power Sector Development Under System Risks. In A. Zagorodny, V. Bogdanov, A. Zaporozhets (Eds.). *Nexus of Sustainability. Studies in Systems, Decision and Control*. 2024. Vol. 559. P. 147–164. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66764-0_7
17. Лещенко І.Ч., Спітковський А.І. Перспективи функціонування газотранспортної системи України в умовах інтеграції ринків природного газу. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 2(45). С. 5–15. <https://doi.org/10.15407/pge2016.02.005>
18. Лещенко І.Ч. Система математичних моделей для дослідження перспектив функціонування і розвитку газової галузі в сучасних умовах. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 3(50). С. 5–14. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005>

19. Babak V.P., Babak S.V., Eremenko V.S., Kuts Yu.V., Myslovych M.V., Scherbak L.M., Zaporozhets A.O. Problems and Features of Measurements. *Models and Measures in Measurements and Monitoring. Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 360. P. 1—31. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70783-5_1
20. Babak V.P., Babak S.V., Myslovych M.V., Zaporozhets A.O., Zvaritch V.M. Principles of Construction of Systems for Diagnosing the Energy Equipment. *Diagnostic Systems For Energy Equipments. Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 281. P. 1—22. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44443-3_1
21. ДСТУ EN 13237:2019 Потенційно вибухонебезпечні середовища. Терміни та визначення понять на обладнання й захисні системи, які застосовують у потенційно вибухонебезпечних середовищах.
22. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 року № 1417 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 р. за № 252/26697.
23. ИСКРА-03. Бар'єр іскрозахисту. URL: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/iskra-03-barjer-iskrozahystu> (дата звернення: 08.07.2024).
24. Бар'єр іскробезпечний БІ-3. URL: https://www.dgt.com.ua/prod/bi-3/bi-3_ps.pdf (дата звернення: 08.07.2024).
25. Ізолювальні пристрої (бар'єри іскрозахисту). URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/755/> (дата звернення: 08.07.2024).
26. ДСТУ EN 60079-11:2017 Вибухонебезпечні середовища. Частина 11. Вид вибухозахисту іскробезпечне електричне коло «і».
27. Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 р. № 163.
28. ДСТУ OIML R 137-1-2:2018 Лічильники газу. Частина 1. Метрологічні й технічні вимоги. Частина 2. Методи підтвердження метрологічних і технічних характеристик.
29. ДСТУ EN 12405-1:2017 Лічильники газу. Пристрої перетворювання. Частина 1. Коригування об'єму.
30. SCADA: Systems Concept. URL: <http://www.scadaworld.net/systems-concept.html> (дата звернення: 09.07.2024).
31. Free PLC Training: Learn PLC Programming Online. URL: <https://www.plcacademy.com/> (дата звернення: 09.07.2024).

References

1. The Gas Distribution Systems Code, approved by the Resolution of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities No. 2494 dated 30.09.2015 and registered with the Ministry of Justice of Ukraine on November 6, 2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text> (Last accessed: 12.09.2024) [in Ukrainian].
2. Methodology for determining the amount of regulatory and production and technological losses/consumption of natural gas during natural gas distribution, approved by the resolution of The National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities on November 6, 2020, No 2033. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v2033874-20#Text> (Last accessed: 12.09.2024) [in Ukrainian].
3. Share of households equipped with gas metering devices. URL: <https://map.ua-energy.org/uk/resources/6b39211f-957c-4ff3-aa43-ea09aaa33174/> (Last accessed: 09.07.2024) [in Ukrainian].
4. Xie, Y., Wang, X., & Mai, F. (2019). Calculation of theoretical transmission loss in trunk gas pipeline. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(12), 168781401989544. <https://doi.org/10.1177/1687814019895440>
5. Kostowski, W. J., & Skorek, J. (2012). Real gas flow simulation in damaged distribution pipelines, *Energy*, 45(1), 481–488.
6. Arslan, K., Akpınar, M., & Fatih Adak, M. (2024). The detection of unaccounted natural gas consumption: A neural networks and subscriber-based solution. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 52, 101669. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101669>
7. Behrooz, A. H., & Boozarjomehry, R. B. (2017). Dynamic optimization of natural gas networks under customer demand uncertainties, *Energy*, 134(C), 968–983. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.087>
8. Soltanisarvestani, A., Safavi, A. A., & Rahimi, M. A. (2022). The Detection of Unaccounted for Gas in Residential Natural Gas Customers Using Particle Swarm Optimization-based Neural Networks. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/15567249.2022.2154412>
9. Dayev, Z. (2024). Development of a fuzzy automated natural gas volume control system for the gas pipeline. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15, 2997–3010. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02309-8>
10. Arpino, F., Canale, L., Cassano, M. L., Cortellessa, G., Dell'Isola, M., Ficco, G., Tagliabue, A., & Zuena, F. (2023). Link between unaccounted for gas in transmission networks and flow-meters accuracy. 19th International Flow Measurement Conference 2022. IMEKO. <https://doi.org/10.21014/tc9-2022.069>
11. Ficco, G., Canale, L., Cortellessa, G., Zuena, F., & Dell'Isola, M. (2023). Effect of flow-rate measurement accuracy on unaccounted for gas in transmission networks. *Flow Measurement and Instrumentation*, 90, 102336. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102336>
12. Cavalieri, F. (2017). Steady-state flow computation in gas distribution networks with multiple pressure levels. *Energy*, 121(C), 781–791. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.062>

13. de Wolf, D., & Smeers, Y. (2000). The Gas Transmission Problem Solved by an Extension of the Simplex Algorithm. *Management Science*, 46(11), 1454–1465. <http://doi.org/10.1287/mnsc.46.11.1454.12087>
14. Hiller, B., Koch, T., Schewe, L., Schwarz, R., & Schweiger, J. (2018). A System to Evaluate Gas Network Capacities: Concepts and Implementation. *European Journal of Operational Research*, 270(3), 797–808. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.035>
15. Kovtun, S., Ponomarenko, O., & Nazarenko, O. (2023). Quality of the Information Flow Management at Stochastic Energy Consumption Conditions. *System Research in Energy*, 3(74), 78–84. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.078>
16. Shulzhenko, S., Nechaieva, T., & Leshchenko, I. (2024). The Application of the Optimal Unit Commitment Problem for the Studies of the National Power Sector Development Under System Risks. In A. Zagorodny, V. Bogdanov, A. Zaporozhets (Eds.), *Nexus of Sustainability. Studies in Systems, Decision and Control*, 559 (pp. 147–164). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66764-0_7
17. Leshchenko, I.Ch., & Spitkovskyi, A.I. (2016). Prospects of the operation of Ukrainian gas transportation system under the integration natural gas markets. *The Problems of General Energy*, 2(45), 5–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2016.02.005>
18. Leshchenko, I.Ch. (2017). A system of mathematical models for studying the prospects of functioning and development of gas industry under current conditions. *The Problems of General Energy*, 3(50), 5–14 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005>
19. Babak, V.P., Babak, S.V., Eremenko, V.S., Kuts, Yu.V., Myslovych, M.V., Scherbak, L.M., & Zaporozhets, A.O. (2021). Problems and Features of Measurements. *Models and Measures in Measurements and Monitoring. Studies in Systems, Decision and Control*, 360 (pp. 1—31). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70783-5_1
20. Babak, V.P., Babak, S.V., Myslovych, M.V., Zaporozhets, A.O., & Zvaritch, V.M. (2020). Principles of Construction of Systems for Diagnosing the Energy Equipment. *Diagnostic Systems For Energy Equipments. Studies in Systems, Decision and Control*, 281 (pp.1–22). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44443-3_1
21. DSTU EN 13237:2019 Potentially explosive atmospheres. Terms and definitions for equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres.
22. Regulatory Act on Fire Safety A.01.001-2014 Fire Safety Rules in Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, December 30, 2014 No. 1417 and registered with the Ministry of Justice of Ukraine on March 5, 2015 under No. 252/26697.
23. Iskra-03. Barrier of spark protection. URL: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/iskra-03-barjer-iskrozahystu> (Last accessed: 08.07.2024) [in Ukrainian].
24. Intrinsically safe barrier BI-3. URL: https://www.dgt.com.ua/prod/bi-3/bi-3_ps.pdf (Last accessed: 08.07.2024) [in Ukrainian].
25. Insulating devices (intrinsic safety barriers). URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/755/> (Last accessed: 08.07.2024) [in Ukrainian].
26. DSTU EN 60079-11:2017 Explosive atmospheres. Part 11: Equipment protection by intrinsic safety «i».
27. Technical Regulations on Measuring Instruments, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of February 24, 2016, No. 163
28. DSTU OIML R 137-1-2:2018 Gas meters. Part 1: Metrological and Technical Requirements; Part 2: Metrological Controls and Performance Tests.
29. DSTU EN 12405-1:2017 Gas meters. Conversion Devices. Part 1: Volume Conversion.
30. SCADA: Systems Concept. URL: <http://www.scadaworld.net/systems-concept.html> (Last accessed: 09.07.2024).
31. Free PLC Training: Learn PLC Programming Online. URL: <https://www.plcademy.com/> (Last accessed: 09.07.2024).

ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR GAS FLOW CONTROL SYSTEMS IN GAS DISTRIBUTION PIPELINES

Sergii Petrushenko*, <https://orcid.org/0009-0006-7639-1513>

Artur Zaporozhets, Dr. Sci. (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0704-4116>

General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., 03150, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: expedutor@gmail.com

Abstract. *The article deals with the main requirements for the gas flow control system in regional gas pipelines specified by regulatory documents. Particular attention is paid to the requirements of the technical regulations on measuring instruments and state standards of Ukraine for measuring equipment at natural gas metering units, such as gas meters, calculators and volume correctors. The requirements for*

the climatic operating conditions and power supply of these devices are determined. It is shown that safety during the operation of equipment containing electronic and electrical components in explosive environments is achieved through the use of intrinsically spark barriers. Possible data acquisition and communication technologies that ensure continuous monitoring, rapid fault detection and remote control are considered. In particular, automated data acquisition systems (SCADA) and programmable logic controllers (PLC) are considered, which allow operators to obtain accurate real time data, analyze it and make informed management decisions. It is noted that based on the analysis of data stored in the memory of gas metering equipment, using mathematical models, it is possible to perform predictive calculations of consumer gas consumption depending on operating conditions and internal factors such as temperature, pressure and consumption volume.

Keywords: gas consumption, calculator, corrector, meter, intrinsic safety barrier.

Надійшла до редколегії: 10.07.2024