

## МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 662.769.2:620.92

DOI: 10.31471/1993-9981-2023-2(51)-39-49

### ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ ДЛЯ ФІКСАЦІЇ ВИТРАТИ ГАЗОВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ

*Н.-А.Ю. Сорока<sup>\*1</sup>, М.О. Карпач<sup>2</sup>, В.С. Цих<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, [nazarii-andrii.soroka@nung.edu.ua](mailto:nazarii-andrii.soroka@nung.edu.ua)

<sup>2</sup>Університет Короля Данила, вул. Є. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, 76018, [university@ukd.edu.ua](mailto:university@ukd.edu.ua)

Розглянуто актуальну проблему сьогодення, яка полягає в необхідності розвитку водневих технологій в нашій країні, що описано в прийнятій енергетичній стратегії до 2050 року. В публікації вказано на важливість вибору оптимальної технології транспортування значних обсягів водню на великі відстані, що може бути реалізовано на базі існуючої трубопровідної системи. Доведено необхідність якісного та ефективного обліку витрати газоводневих сумішей із різним вмістом водню. Проведено аналіз сучасних технологій, які можуть бути використані для таких потреб, що базуються на основі наявних досліджень та публікацій за даним напрямом в розвинутих країнах європейського континенту. Розглянуто можливість використання витратомірів різних типів в житловому, громадському, промисловому та транспортному секторах та встановлено, що саме ультразвукові лічильники є найбільш придатними до застосування у кожному з наведених секторів народного господарства. Також проаналізовано досвід використання партнерами проекту NewGasMet різних вимірювальних технологій для обліку водню та підтверджено найбільший відсоток серед ультразвукового методу. На основі проведеного загального аналізу наявних технологій обрано ультразвукові витратоміри як такі, що є найбільш придатними для поставленої задачі фіксації витрати газоводневих сумішей. Детально розглянуто як приклад кілька типів ультразвукових витратомірів відомих виробників із аналізом їх особливостей функціонування, розміщення на вимірювальних ділянках та із врахуванням їх основних характеристик. В результаті проведеного детального аналізу великої кількості ультразвукових витратомірів сформовано перелік основних засобів, для яких пронормовані та вказані в наявній технологічній документації метрологічні характеристики, та які можуть бути в подальшому розглянуті з метою підвищення їх точності вимірювань із врахуванням коефіцієнту стиснення вимірювального середовища, що є наступною задачею наукового дослідження.

**Ключові слова:** газоводнева суміш, водень, облік витрати, коефіцієнт стиснення, точність.

The article presents an extremely topical issue of our time, which is the need to develop hydrogen technologies in our country, as set out in the adopted Energy Strategy until 2050. The publication emphasizes the importance of choosing the optimal technology for transporting large volumes of hydrogen over long distances, which can be implemented on the basis of the existing pipeline system. The necessity of high-quality and efficient metering of gas-hydrogen mixtures with different hydrogen content is proved. An analysis of modern technologies that can be used for such needs, based on existing research and publications in this area in developed countries of the European continent, is carried out. The possibility of using various types of flow meters in the residential, public, industrial and transport sectors is considered and it is established that ultrasonic meters are the most suitable for use in each of these sectors of the national economy. The experience of using different measuring technologies for hydrogen metering by NewGasMet project partners was also analyzed and the highest percentage of ultrasonic metering was confirmed. Based on the general analysis of existing technologies, ultrasonic flowmeters were selected as the most suitable for the task of recording the flow of gas-hydrogen mixtures. Several types of ultrasonic flowmeters from well-known

manufacturers are considered in detail as an example, analyzing their features of functioning, placement on the measuring sites, and taking into account their main characteristics. As a result of the detailed analysis of a large number of ultrasonic flowmeters, a list of basic equipment has been formed for which metrological characteristics are normalized and indicated in the available technological documentation, and which can be further considered in order to improve their measurement accuracy, taking into account the compression ratio of the measuring medium, which is the next task of the scientific research.

**Key Words:** hydrogen-enriched natural gas, hydrogen, flow measurement, compressibility factor, accuracy.

Українська енергетична інфраструктура потерпає від регулярних обстрілів росією, що актуалізує потребу відновлення енергетичних систем та удосконалення енергетичної безпеки країни. Відповідно, Міністр енергетики України презентував у червні 2023 року Енергетичну стратегію України до 2050 року. Ключовими принципами даної стратегії визначено економічну обґрунтованість, екологічність, доступність, соціальну справедливість та ринковість. Глобальною ціллю Енергетичної стратегії України є досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності до 2050 року. Для досягнення цієї мети необхідно модернізувати енергетичну інфраструктуру та підвищити її ефективність, максимально витіснити споживання вугілля, збільшити частку відновлюваних джерел енергії та виконати всі необхідні умови для повноцінної інтеграції енергосистем України та Європейського Союзу. Міністр енергетики України відзначив, що Україна має потенціал збільшити обсяг генерації енергії вітровими та сонячними електростанціями до 140 ГВт та 94 ГВт відповідно. Також, було згадано значний потенціал країни для виробництва водню, і можливість залучення до \$72 млрд. на розвиток та впровадження водневих технологій в Україні [1,2].

Потенціал вітрової та сонячної енергетики в Україні значно перевищує згадані 140 ГВт та 94 ГВт потужності. Наприклад, IRENA оцінює потенціал оншорної вітрової енергії України на рівні 320 ГВт, а офшорної – 146 ГВт згідно з даними NREL. Інститут відновлюваної енергетики НАН України в свою чергу

оцінює потенціал оншорної та офшорної енергії вітру на рівні 438 ГВт та 250 ГВт відповідно. [3] Проте, джерела відновлюваної енергетики не можуть бути надійною основою енергосистеми без відповідних акумулюючих та балансуєчих потужностей. Надлишкову енергію сонячних та вітрових електростанцій можна використовувати для отримання «зеленого» водню на основі електролізу води. При піковому споживанні електроенергії, водень можна конвертувати назад в електроенергію за допомогою паливних елементів. Потенціал водню для накопичення енергії є дуже високим, оскільки дозволяє накопичувати значні потужності протягом тривалого періоду часу [4](від одного дня до місяця, інколи згадують про міжсезонне збереження енергії).

Генерація та споживання водню допоможе зменшити залежність від імпортного палива, а також сприятиме досягненню кліматичних цілей, дозволивши зменшити викиди у транспортному секторі, секторі теплопостачання, виробництва цементу та сталі. Можливість міжсекторального застосування даного палива і робить його одним з ключових елементів досягнення кліматичної нейтральності. Оскільки Україна доєдналась до Європейського «зеленого» курсу, то має зобов'язання щодо зниження рівня викидів парникових газів. У 2021 році уряд України затвердив оновлений національно визначений внесок до Паризької угоди, згідно з яким держава зобов'язується зменшити рівень викидів парникових газів на 65% від рівня 1990-го року [5].

Важливим питанням для розвитку водневих технологій є транспортування водню від місць генерації до центрів споживання. Найоптимальнішою технологією транспортування значних обсягів водню на великі відстані є транспортування трубопроводами. Оскільки спорудження нової трубопровідної інфраструктури для чистого водню потребує великих капіталовкладень, активно досліджується придатність наявних магістральних та розподільних газових мереж для даних цілей. Перехідним етапом прийнято вважати транспортування газоводневих сумішей до кінцевих споживачів. Використання водню чи газоводневих сумішей в газових мережах так чи інакше піднімає питання обліку палива.

Тому, **мета роботи** полягає у оцінюванні придатності використання сучасних засобів обліку для потреб фіксації витрати газоводневої суміші.

#### **Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій**

Важливим питанням обліку водню та газоводневих сумішей є вибір технології вимірювання. У звіті PA Consulting 2020-го року [6], зокрема наведено розгляд щодо придатності різних технологій для вимірювання витрати водню у промисловому, житловому та транспортному секторах. Рисунок 1-3 відображають результати, наведені у згаданому звіті.

Окремо для кожного сектору було розглянуто мембранні, ультразвукові, термомасові, турбінні, роторні витратоміри, витратоміри Коріоліса та диференційні манометри. Числове відображення на шкалі відповідає придатності технології для відповідного сектору і відповідає наступним результатам:

- 1 – рекомендовано для застосування;
- 0.5 – потенційно придатні для застосування;
- 0 – непридатні для застосування.

Як видно з інфографіки (рисунок 1), для житлового сектору рекомендованими для застосування є ультразвукові та термомасові витратоміри. Потенційно придатними є мембранні лічильники, інші ж типи технологій не підходять для використання у даному секторі.

В промисловому секторі (рисунок 2) рекомендованими для застосування є ультразвукові, турбінні витратоміри, а також диференційні манометри. Роторні, термомасові витратоміри та витратоміри Коріоліса є потенційно придатними, а мембранні – непридатні.

Для транспортного сектору (рисунок 3) рекомендованими для застосування є ультразвукові витратоміри та витратоміри Коріоліса. Потенційно придатними вважаються термомасові та турбінні витратоміри.

У проекті NewGasMet в рамках програми EMPIR [6] у 2019-му році було проведено опитування стейкхолдерів та партнерів проекту щодо їх досвіду з обліку відновлюваних газів та визначення прийнятної концентрації таких газів для різних вимірювальних технологій.



**Рисунок 1 – Придатність технологій лічильників для вимірювання витрати водню у житловому та громадському секторі**

### Промисловий



**Рисунок 2 – Придатність технологій лічильників для вимірювання витрати водню у промисловому секторі**

### Транспортний



**Рисунок 3 – Придатність технологій лічильників для вимірювання витрати водню у транспортному секторі**

Результати опитування базуються на 26 отриманих відповідях. Дослідження розглядає варіанти для наступних відновлюваних газів: водню, газозводневих сумішей, біогазу, біометану та сингазу. Щодо водню було отримано 14 відгуків, а для газозводневих сумішей – 21 відповідь. У зв'язку з тим, що газозводневі суміші

розглядаються як перехідний варіант до використання чистого водню, їх застосування у великих масштабах розповсюдиться раніше. Тому, більший інтерес партнерів саме до газозводневих сумішей є логічним. Рисунок 4 відображає кількість результатів опитування щодо досвіду обліку суто цих двох відновлюваних газів для різних типів облікових пристроїв.

Наприклад, для чистого водню найбільше дослідів проводилося з ультразвуковими витратомірами, оскільки було отримано 4 відповіді, інші технології однаково часто досліджувалися. Для газозводневих сумішей по 5 відповідей отримали ультразвукові, турбінні та роторні витратоміри. 3 відповіді отримали мембранні лічильники, термомасові витратоміри та витратоміри Коріюлса по 2 та 1 відповіді відповідно. Можна зробити висновок, що найбільше зацікавлення стейкхолдери вбачають у використанні ультразвукових технологій для обліку водню.

Оскільки концентрація водню впливає на характеристики газозводневих сумішей, це викликає ряд технічних викликів щодо адекватного обліку наявними витратомірами. Тому допустима концентрація водню для різних типів лічильників також становить вагомий інтерес наукової спільноти. Ще у 2013-му році DVGW опублікувало дослідження, в якому наведено допустимі межі для деяких типів витратомірів. Так, для ультразвукових, турбінних та мембранних лічильників DVGW приймає допустимою концентрацію водню до 30% для роботи без проведення модифікацій обладнання [7].

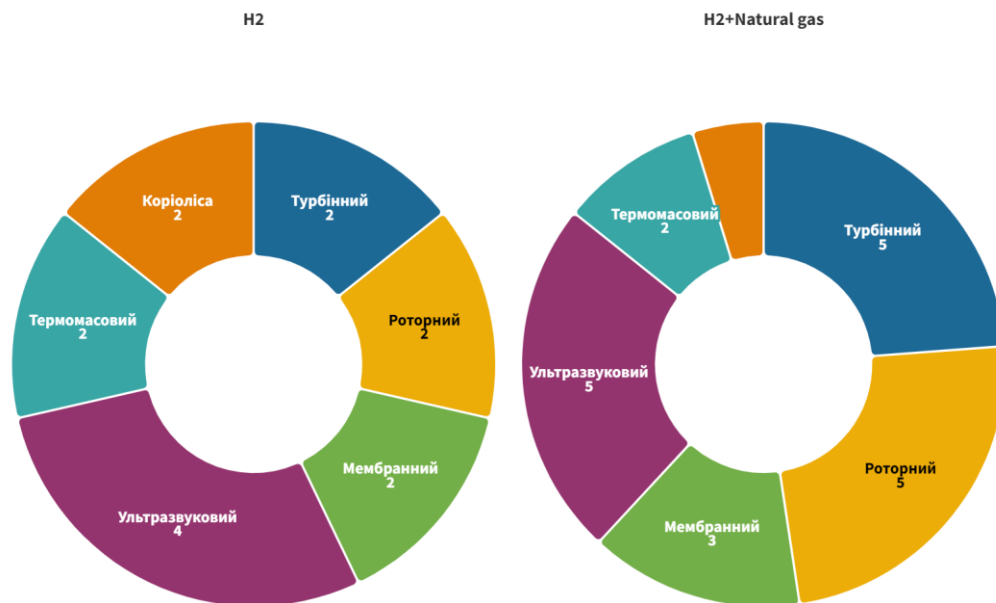


Рисунок 4 – Досвід партнерів проекту NewGasMet щодо обліку водню різними вимірювальними технологіями

### Висвітлення невіршених раніше частин загальної проблеми

Вимірювання об'єму газоводневих сумішей залежить також напряму від тиску в системі та температури суміші, тому питання правильної роботи коректорів обсягів спожитого газу має велике значення. Згідно з DVGW, приймають, що коректори обсягів спожитого газу можуть працювати без модифікацій при концентрації водню до 10%. Корекція спожитого газу відносно тиску відбувається зазвичай за допомогою врахування коефіцієнта стиснення. У коректори переважно внесені алгоритми розв'язку рівнянь стану SGERG, AGA-8 або GERG2004, які враховують тиск, температуру та 21 показник компонентного складу газу. AGA-8 та SGERG коректно працюють із допустимою концентрацією водню 10%, а GERG2004 – 40% [7].

Наразі на ринку представлені вимірювачі об'єму компанії RMG Messtechnik GmbH, які по суті є турбінними витратомірами зі встановленими

електронними коректорами об'єму газу. Наприклад, TME 400-VC має встановлений коректор об'єму газу, що враховує коефіцієнт стиснення, і в якому можна обрати згідно з яким рівнянням стану проводити обчислення: GERG88, AGA 8, AGA 8 NX19 чи ГОСТ 30319.

Для вирішення питання реального обліку витрати газоводневої суміші необхідно мати чітку інформацію про складові цієї суміші та перевірити, яке з рівнянь стану найкраще підходить для врахування коефіцієнту стиснення при різних концентраціях водню. Однак, питання адекватності результатів рівнянь стану для сумішей з концентрацією водню понад 10% потребує ґрунтовнішого дослідження.

### Висвітлення основного матеріалу дослідження

Як було описано вище, виробники активно розглядали використання ультразвукових витратомірів для обліку водню та газоводневих сумішей. Також слід



відзначити придатність такого типу витратомірів для їх використання у всіх секторах: як в житловому та громадському, так і в промисловому чи транспортному (рисунки 1-3). З метою більш детального аналізу ультразвукових витратомірів розглянемо, наприклад, основні характеристики витратомірів FIOSONIC компанії Pietro Fiorentini та FLOWSIC600-XT акціонерного товариства SICK.

FIOSONIC – витратомір, призначений для застосування у газотранспортних системах, важкій промисловості, а також газорозподільних мережах середнього та низького тиску. Діапазон робочого тиску витратоміра становить 5 кПа – 15,3 МПа. Виробники зазначають, що цей прилад придатний для роботи з газоводневими сумішами з об'ємним вмістом водню до 30% і відповідає наступним нормативним документам: AGA-9; ISO 17089-1:2019, OIML R137-1&2; MID 2014/32/EU, PED 2014/68/EU, а також отримав сертифікацію ATEX, IECEx, CSA and UL (сQPSus). Похибка витратоміра становить до  $\pm 0.5\%$  при заводському калібруванні та  $\pm 0.2\%$  при калібруванні при високому тиску. Пристрій доступний у модифікаціях з 4-ма та 3-ма вимірювальними шляхами, а також в односторонній та двосторонній конфігурації вимірювань. Рисунки 5 та 6 відображають модифікації з 4-ма вимірювальними шляхами та можливістю двостороннього вимірювання витрати [8].

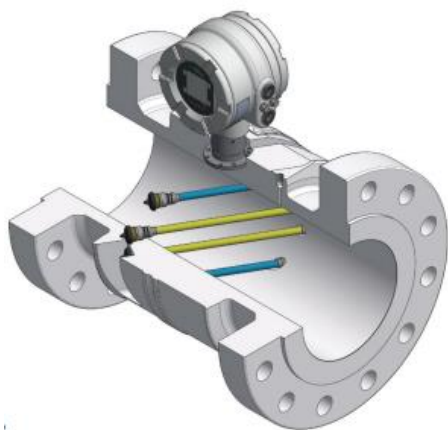


Рисунок 5 – FioSonic-FSN-4P [8]

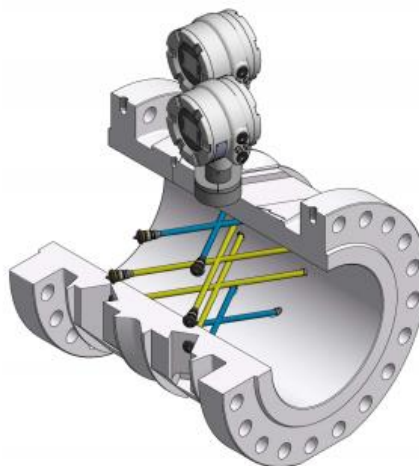


Рисунок 6 – FioSonic-BX-4P-4P [8]

FIOSONIC виготовляється з номінальними діаметрами DN 80 - DN 750 для версії з 4-ма вимірювальними шляхами та DN 50 - DN 750 для версії з 3-ма вимірювальними шляхами. На замовлення можна виготовити витратоміри з номінальними розмірами понад DN 750. Діапазони вимірювання витрат для різних номінальних діаметрів і класі точності 0,5 наведені у таблиці 1.

За умов, наведених у таблиці 1, витратоміри підключаються з кондиціонуванням потоку за технологією РТВ або NOVA 50-E. Конфігурації підключень наведені на рисунку 7.

FLOWSIC600-XT – витратомір, придатний для обліку газоводневих сумішей з об'ємним вмістом водню до 30% з класом точності 1 та 0,5 відповідно до вимог OIML R137. Робочий тиск витратоміра становить 0 – 450 бар, номінальні діаметри DN 80 - DN 1400, а потік – 5 - 750 м<sup>3</sup>/год (мінімальні значення) та 1000-120000 м<sup>3</sup>/год (максимальні значення) залежно від розміру діаметрів. FLOWSIC600-XT виконаний відповідно до вимог OIML R 137-1&2:2012, OIML D 11:2013, ISO 17089-1, AGA-9, MID: 2014/32/EU, PED: 2014/68/EU, ATEX: 2014/34/EU, EMC: 2014/30/EU, ГОСТ 8.611-2013, і ГОСТ 8.733-2011. Виконання витратоміра наявне з 4-ма та 8-ма

вимірювальними шляхами. Похибка вимірювання витрати від порогового значення до максимального, становить  $\leq \pm 0.5\%$ ,  $\leq \pm 0.2\%$ ,  $\leq \pm 0.1\%$  при сухому калібруванні, калібруванні потоку з використанням константи та поліноміальної корекції відповідно. Для значень витрати від

мінімального до порогового, похибка становить  $\leq \pm 1\%$ ,  $\leq \pm 0.5\%$ ,  $\leq \pm 0.2\%$  [9]. Конфігурація встановлення витратоміра для одностороннього та двостороннього вимірювання витрати наведено на рисунках 8 та 9.

Таблиця 1 – Діапазони вимірювання витрат для різних номінальних діаметрів витратомірів FIOSONIC

Class 0.5 OIML R-137 FioSonic 4P Capacity table [pipe configuration 1 or 2]									
Nominal size		Pipe schedule	Capacity						
Inches	DN		Qmin		Qt		Q max		Turndown
			m3/h	cfh	m3/h	cfh	m3/h	cfh	1:X
2"	50	STD	-	-	-	-	-	-	-
3"	80	STD	9	300	60	2.100	601	21.200	67
4"	100	STD	15	500	99	3.400	991	34.900	66
6"	150	STD	27	900	99	3.400	2.014	71.100	75
8"	200	STD	35	1.200	99	3.400	3.487	123.100	100
10"	250	STD	55	1.900	99	3.400	5.492	193.900	100
12"	300	STD	79	2.700	99	3.400	7.878	278.100	100
14"	350	STD	96	3.300	99	3.400	9.608	339.200	100
16"	400	STD	127	4.400	99	3.400	12.728	449.400	100
18"	450	STD	163	5.700	99	3.400	16.285	575.000	100
20"	500	STD	203	7.100	99	3.400	20.280	716.000	100
24"	600	STD	296	10.400	99	3.400	28.597	1.009.700	97
30"	750	STD	468	16.500	99	3.400	43.700	1.543.000	93

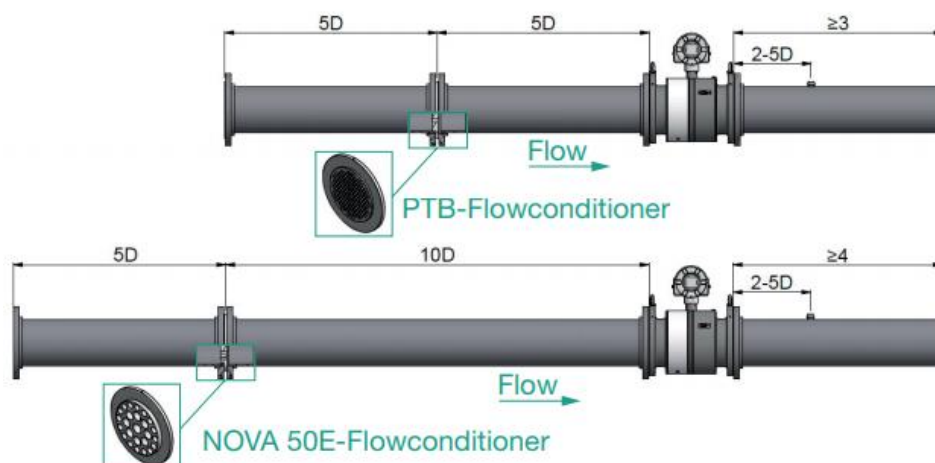


Рисунок 7 – Конфігурації підключення витратоміра FioSonic [8]

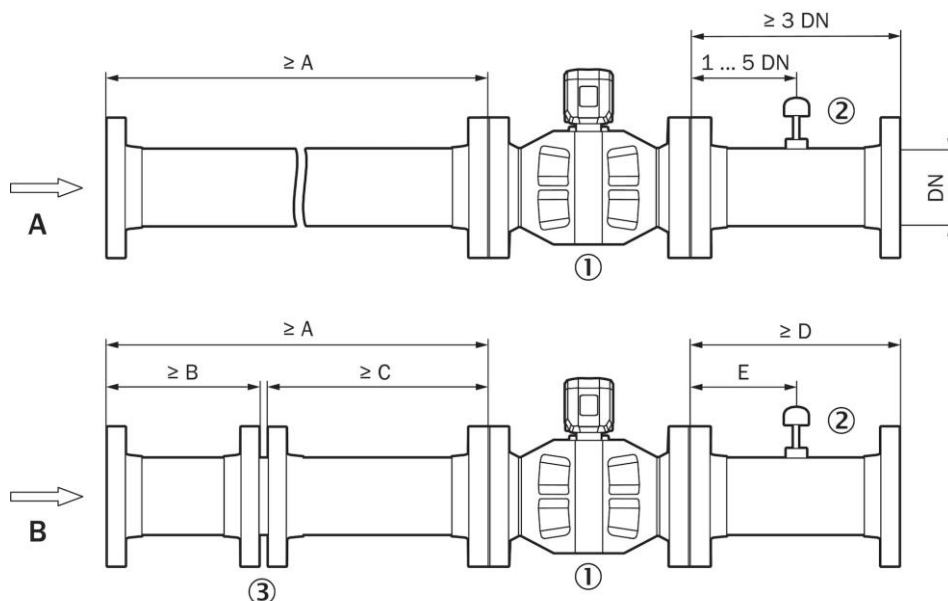


Рисунок 8 – Встановлення FLOWSIC600-XT для одностороннього вимірювання [9]

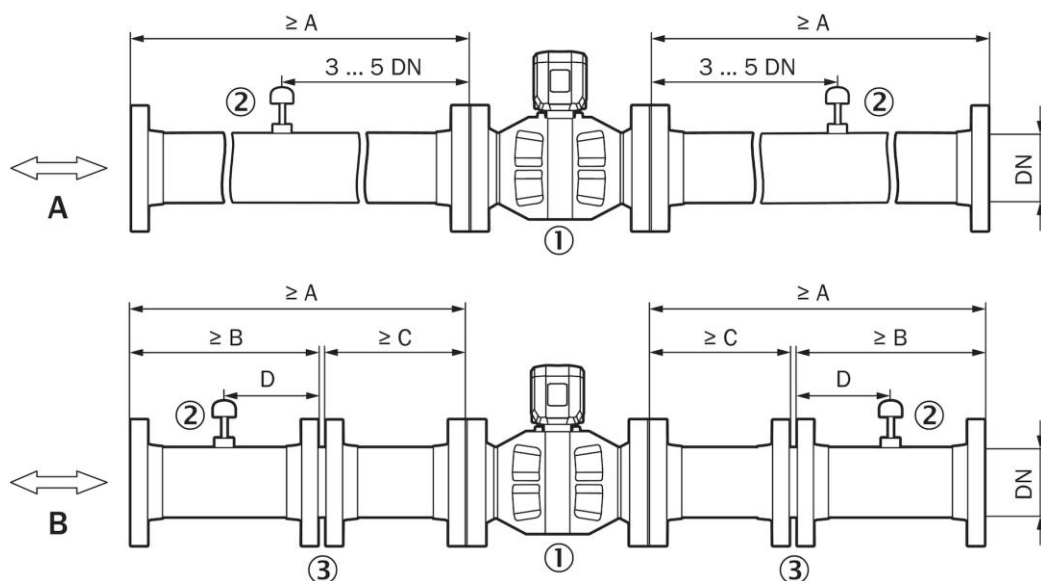


Рисунок 9 – Встановлення FLOWSIC600-XT для двостороннього вимірювання [9]

Варто відмітити, що FLOWSIC600-XT має вбудований коректор об'єму газу, який визначає коефіцієнт стиснення на вибір згідно з SGERG88, AGA 8, AGA NX-19, GOST 30319.2-2015, чи заданим фіксованим значенням [9]. Важливою складовою оцінювання придатності використання ультразвукових витратомірів до фіксації витрати газоводневої суміші є аналіз їх

основних метрологічних характеристик. Також слід звернути увагу на допустимі максимальні концентрації водню, на які розраховані відповідні витратоміри.

В таблиці 2 наведено декілька моделей витратомірів з їх метрологічними характеристиками. Деякі дані можуть бути неповними, у зв'язку з відсутністю даних у відкритому доступі на сайті виробників.



**Таблиця 2 – Основні метрологічні характеристики витратомірів та допустимі концентрації водню, відповідно до даних виробників**

Лічильник	Виробник	DN	Діапазон	Похибка	H <sub>2</sub> %
FLAWSIC600-XT	SICK AG	80-1400	5-1000 m <sup>3</sup> /h min 1000-120000 m <sup>3</sup> /h max	≤±0.5%/0.2/0.1 ≤±1%/0.5/0.2	30
FLAWSIC500	SICK AG	50 80 100 150	1-160 m <sup>3</sup> /h 2.5-400 m <sup>3</sup> /h 4-650 m <sup>3</sup> /h 4-1000 m <sup>3</sup> /h	≤±1% ≤±0.5% ≤±2% ≤±1%	30
FLAWSIC600	SICK AG	50-1200	4 - 400 m <sup>3</sup> /h 1600 - 100000 m <sup>3</sup> /h	≤±1% (для версії з 2-ма вимірювальними шляхами) ≤±0.5% (для версії з 4-ма вимірювальними шляхами та сухим калібруванням) ≤±0.2%/±0.1% (для версії з 4-ма вимірювальними шляхами після калібрування потоку з використанням константи/ поліноміальної корекції)	100
ALTOSONIC V12	KROHNE	100 - 1600		≤±0.5%	100
USM GT400	RMG Messtechnik GmbH	80-600 700-1000	5 – 34000 m <sup>3</sup> /h 420 – 108000 m <sup>3</sup> /h	≤±0.5% (сухе калібрування) ≤±0.1% (калібрування при високому тиску)	30 mol%
FIOSONIC	Pietro Fiorentini S.p.a.	80-750	9 - 43700 m <sup>3</sup> /h	≤±0.5% (заводське калібрування) ≤±0.2% (калібрування при високому тиску)	30
FIOSONIC H	Pietro Fiorentini S.p.a.	80-750	9 - 43700 m <sup>3</sup> /h	≤±0.5% (заводське калібрування) ≤±0.2% (калібрування при високому тиску)	100
H2-SSM-ICON	Pietro Fiorentini S.p.a.		0.13-20 m <sup>3</sup> /h (для водню)	≤±1.5%	20 100
H2-SSM	Pietro Fiorentini S.p.a.		0.13-20 m <sup>3</sup> /h (для водню)	≤±1.5%	100

Відповідно до таблиці 2, можна спостерігати збереження границі допустимої концентрації водню у газоводневих сумішах, що становить 30%. Для чистого водню розроблялася окрема лінійка продукції. Найбільше значення похибки становить ≤±2% для витрати 4-650 м<sup>3</sup>/год (витратомір FLOWSIC500), а найменше становить ≤±0.1%.

Враховуючи той факт, що виробники витратомірів не завжди вказують в документації, чи враховується корекція об'єму за тиском, в подальшому слід буде провести розрахунок впливу коефіцієнту стиснення на точність вимірювань описаними вище витратомірами.

## Висновки

Використання водню для досягнення кліматичних, економічних цілей, а також забезпечення енергетичної безпеки країни неможливе без точного обліку водню та газоводневих сумішей. Результати досліджень показують, що ультразвукові витратоміри рекомендовані для застосування в житловому, промисловому та транспортному секторах. Термомасові витратоміри рекомендовані для житлового сектора, а для промислового та транспортного – потенційно придатні. Турбінні витратоміри та диференційні манометри рекомендовані для застосування в промисловому секторі, а витратоміри Коріюса – в транспортному. Мембранні лічильники наразі оцінюються як потенційно придатні для житлового сектору і не придатні для інших застосувань.

Ультразвукові технології активно розглядаються як для застосування з чистим воднем, так і для газоводневих сумішей. Для забезпечення відповідних метрологічних характеристик, приймають допустиму об'ємну концентрацію водню на рівні 30%, і, як показано у таблиці 2, в існуючих витратомірах, придатних для роботи із водневмісними сумішами, зберігається така пропорція.

Оскільки на вимірювання витрати безпосередньо впливає тиск у системі, важливим є перерахування спожитого об'єму до нормованих умов. З цього випливає, що необхідно враховувати коефіцієнт стиснення газоводневих сумішей. Рівняння стану SGERG та AGA8 коректно працюють з концентрацією водню до 10%, а GERG2004 – до 40%. Однак інші рівняння станів повинні також бути досліджені на придатність обрахунків для газоводневих сумішей. Також, не всі виробники наведених витратомірів вказують інформацію про врахування коефіцієнту стиснення, тому доцільно вважати, що для підвищення точності вимірювань необхідно розрахувати даний

параметр для різних концентрацій водню за різними методиками.

## Список використаних джерел

1. Стратегія майбутнього: Україна – це енергетичний хаб, який допоможе Європі позбутися залежності від росії. Міністерство енергетики України. Урядовий портал [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/strategiia-maibutnoho-ukraina-tse-enerhetychnyi-khab-iaki-dopomozhe-ievropi-pozbutysia-zalezhnosti-vid-rosii>.

2. Енергетична стратегія. Міністерство енергетики України [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-strategiya>.

3. Книш К., Кудря С. та ін. Біла книга 2021. Офшорна вітроенергетика та «зелений» водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України [Електронний ресурс], режим доступу: [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2\\_5438583199909284286.pdf](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2_5438583199909284286.pdf).

4. Schiller M. Hydrogen Energy Storage: A New Solution To the Renewable Energy Intermittency Problem / Renewable Energy World [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/hydrogen-energy-storage-a-new-solution-to-the-renewable-energy-intermittency-problem/>.

5. Кліматичні цілі та українська промисловість: модернізуйся або програй. Heinrich Boll Stiftung [Електронний ресурс], режим доступу: <https://ua.boell.org/uk/2021/11/16/klimatychni-tsili-ta-ukrayinska-promyslovis-t-modernizuysya-abo-prohrai>.

6. Report on the impact of renewable gases, and mixtures with natural gas, on the accuracy, cost and lifetime of gas meters: Literature overview for renewable gases flow metering. Deliverable D1, NewGasMet (2020) [Електронний ресурс], режим доступу: <https://newgasmet.eu/wp->

content/uploads/2020/11/18NRM06-Newgasmet-D1-Report-on-the-impact-of-renewable-gases-...-on-the-accuracy-cost-and-lifetime-of-gas-meters.pdf.

7. Gert Muller-Syring, Marco Henel, Wolfgang Koppel [et al.]. Management summary. Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz. 2013. 350 p.

8. FioSonic. Industrial metering. Technical brochure [Електронний ресурс], режим доступу: [https://www.fiorentini.com/wp-content/uploads/2021/03/FioSonic\\_technicalbrochure\\_ENG\\_revB.pdf](https://www.fiorentini.com/wp-content/uploads/2021/03/FioSonic_technicalbrochure_ENG_revB.pdf).

9. FLOWSIC600-XT. Product detail. Technical details [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.sick.com/sg/en/catalog/products/flow-measurement/gas-flow-meters/flowsic600-xt/flowsic600-xt/p/p406745?tab=detail#technical-details>.

## References

1. Stratehiya maybutn'oho: Ukrayina – tse enerhetychnyy khab, yakyy dopomozhe Yevropi pozbutysya zalezhnosti vid rosiyi. Ministerstvo enerhetyky Ukrayiny. Uryadovyy portal [Elektronnyy resurs], rezhym dostupu: <https://www.kmu.gov.ua/news/stratehiia-maibutnoho-ukraina-tse-enerhetychnyi-khab-iakyi-dopomozhe-ievropi-pozbutysya-zalezhnosti-vid-rosii>. [in Ukrainian]

2. Enerhetychna stratehiya. Ministerstvo enerhetyky Ukrayiny [Elektronnyy resurs], rezhym dostupu: <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya>. [in Ukrainian]

3. Knysh K., Kudrya S. ta in. Bila knyha 2021. Ofshorna vitroenerhetyka ta «zelenyy» voden': vidkryttya novykh mezh enerhetychnoyi potuzhnosti Ukrayiny [Elektronnyy resurs], rezhym dostupu: [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2\\_5438583199909284286.pdf](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/2_5438583199909284286.pdf). [in Ukrainian]

4. Schiller M. Hydrogen Energy Storage: A New Solution To the Renewable Energy Intermittency Problem / Renewable Energy World [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/hydrogen-energy-storage-a-new-solution-to-the-renewable-energy-intermittency-problem/>.

5. Klimatychni tsili ta ukrayins'ka promyslovis't': modernizuysya abo prohray. Heinrich Boll Stiftung [Elektronnyy resurs], rezhym dostupu: <https://ua.boell.org/uk/2021/11/16/klimatychni-tsili-ta-ukrayinska-promyslovis-t-modernizuysya-abo-prohray>. [in Ukrainian]

6. Report on the impact of renewable gases, and mixtures with natural gas, on the accuracy, cost and lifetime of gas meters: Literature overview for renewable gases flow metering. Deliverable D1, NewGasMet (2020) [Електронний ресурс], режим доступу: <https://newgasmet.eu/wp-content/uploads/2020/11/18NRM06-Newgasmet-D1-Report-on-the-impact-of-renewable-gases-...-on-the-accuracy-cost-and-lifetime-of-gas-meters.pdf>.

7. Gert Muller-Syring, Marco Henel, Wolfgang Koppel [et al.]. Management summary. Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz. 2013. 350 p.

8. FioSonic. Industrial metering. Technical brochure [Електронний ресурс], режим доступу: [https://www.fiorentini.com/wp-content/uploads/2021/03/FioSonic\\_technicalbrochure\\_ENG\\_revB.pdf](https://www.fiorentini.com/wp-content/uploads/2021/03/FioSonic_technicalbrochure_ENG_revB.pdf).

9. FLOWSIC600-XT. Product detail. Technical details [Електронний ресурс], режим доступу: <https://www.sick.com/sg/en/catalog/products/flow-measurement/gas-flow-meters/flowsic600-xt/flowsic600-xt/p/p406745?tab=detail#technical-details>.