

УДК 681.121

**СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА  
АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ**

© Пістун Є.П., Матіко Ф.Д., Дубіль Р.Я., Дябога З.Р., Новошицький Є.І., 2001  
Національний університет "Львівська політехніка"

© Коваль Р.І., 2001  
Управління магістральних газопроводів "Львівтрансгаз"

**Проаналізовано стан обліку природного газу на автомобільних газонаповнювальних станціях. Показано можливості створення нових систем обліку газу на основі методу змінного перепаду тиску із застосуванням спеціальних пристроїв звуження та розглянуто особливості їх реалізації.**

На сьогодні більшу частину автомобільного парку України складають автомобілі з бензиновими двигунами. Однак обмеженість запасів нафти та потреба її імпорту, загострення екологічних проблем у зв'язку із забрудненням повітряних басейнів великих міст поставили питання пошуку альтернативних видів автомобільного пального. В процесі тривалих досліджень спеціалістами різних країн було доведено, що одним з найкращих автомобільних палив за багатьма техніко-економічними показниками є природний газ.

Одною з найважливіших переваг "газових" палив є порівняно низький вміст токсичних речовин у вихлопних газах. Наприклад, викиди чадного газу СО в атмосферу у "газових" автомобілів зменшені в 20, оксидів азоту - в 15, а оксидів сірки в 10 разів відносно показників "бензинових" автомобілів [1].

Узагальнення і аналіз багаторічного досвіду експлуатації газових двигунів показують [2], що при переході з рідкого палива на газоподібне, термін роботи двигуна до капітального ремонту зростає в 1.5 рази, а термін заміни масла - в 2 рази. В масштабах країни це приносить значний економічний ефект.

Головним недоліком природного газу як моторного палива є дуже низька об'ємна концентрація енергії. Тому при використанні газу його потрібно попередньо підготувати: стиснути до тиску  $20 \div 25$  МПа і заправити в спеціальні балони, або зрідити природний газ охолодженням до  $-162$  °С і заповнити в теплоізольовані ємності. Енергетичні витрати на отримання стисненого природного газу (СПГ) за даними [2] є в 2-3 рази менші від витрат на отримання зрідженого природного газу. Це зумовило широке використання СПГ на автотранспорті, особливо, для вантажних автомобілів, де встановлення газових балонів не вимагає значних конструктивних ускладнень.

При порівнянні витрат бензину та стисненого природного газу двигунами різних марок автомобілів було встановлено [1], що відношення (витрата бензину)/(витрата СПГ) становить  $1 \div 1.25$  л/м<sup>3</sup>. Оскільки це співвідношення залежить від багатьох факторів марки автомобіля, досконалості газової апаратури, теплот згорання бензину та природного газу, режиму їзди), то воно, в багатьох випадках, суттєво відрізняється, хоч вказаний діапазон  $1 \div 1.25$  л/м<sup>3</sup> є усередненим еквівалентом статистичної обробки результатів тривалих експериментів з різними марками автомобілів.

Високі теплотехнічні характеристики (октанове число, теплота згорання) СПГ та низька токсичність продуктів його згорання, наявність в Україні розвиненої мережі газопроводів зумовили широке використання СПГ в якості альтернативного палива для автотранспорту вже з початку 80-х років. У сучасних умовах використання СПГ для автотранспорту набуло ще більшої актуальності.

Розширено мережу автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) різної потужності для заправки автомобілів СПГ. За повідомленням агентства ДІНАУ станом на вересень 1999 р. в Україні експлуатується 86 АГНКС. Частка автомобілів, які заправляються стисненим газом, становить 20 % від загальної чисельності автомобільного парку.

Разом із розширенням мережі АГНКС постало питання обліку природного газу, який відпускається споживачам на АГНКС.

Облік природного газу на АГНКС полягає у визначенні кількості газу, що відпускається автомобільному засобу. Відповідно, застосований спосіб вимірювання витрати повинен забезпечити інтегральний замір порції газу, що прийшов через вимірювальний пристрій.

Для обліку природного газу на АГНКС

практичного застосування набули наступні методи [1, 2]:

випуск газу із мірної ємності або напускання в мірну ємність, якою вважаються балони автомобіля; тахометричні витратоміри (лічильники);

метод змінного перепаду тиску на основі нестандартних пристроїв звуження.

Метод випуску газу із мірної ємності застосовувався на АГНКС ще з 60-их років і полягав у наступному: перш ніж заправити автомобільну газобалонну установку, газом наповнювали спеціальну мірну ємність до тиску, що значно перевищує робочий тиск заправки. Потім газобалонну установку заправляли газом із цієї ємності. Кількість заправленого газу в одиницях маси в цьому випадку може бути розрахована за такою формулою [2]:

$$G = \frac{V}{R} \left( \frac{P_n}{Z_n T_n} - \frac{P_k}{Z_k T_k} \right) - \Delta G, \quad (1)$$

де  $V$ -об'єм мірної ємності;  $R$ -газова стала;  $P$ ,  $T$  - відповідно тиск та температура газу в ємності;  $Z$  - фактор стискуваності;  $\Delta G$  - кількість газу в трубопроводах, що підводять газ до балонів. Індеси  $n$  і  $k$  вказують, відповідно, на параметри початку і кінця заправки.

Кінцевий тиск  $P_k$  у мірній ємності повинен перевищувати робочий тиск в газобалонній установці автомобіля (20 МПа), що приводить до підвищених затрат енергії на стиснення газу. Крім того, визначити температуру  $T_k$  прямим вимірюванням не вдається внаслідок інерційності давачів температури, які розміщені в товстостінних гільзах. На практиці  $T_k$  розраховували з використанням коефіцієнтів, що залежать від швидкості спорожнення ємності. Це, звичайно, вносило значну похибку в результат визначення кількості газу.

У даний час в українській і закордонній практиці знайшов застосування модифікований спосіб визначення кількості газу за допомогою ємності газобалонної установки автомобіля. Кількість заправленого газу визначається за зміною густини газу в газобалонній установці на початку і в кінці заправки. Густина газу визначається за значеннями його тиску та температури. Дана методика має перевагу, оскільки не потребує враховувати кількість газу в підвідних газопроводах та втрати газу із з'єднувальних пристроїв. Однак вона вимагає або вимірювання параметрів газу безпосередньо всередині газобалонної установки, або використання розрахункового способу визначення зміни густини. Найбільшу складність тут викликає визначення температури  $T_k$  в кінці

заправки, так як для її вимірювання потрібно мати давачі температури у всіх балонах газобалонної установки. Оскільки ж автомобільні газобалонні установки такими давачами не обладнуються, то температуру  $T_k$  необхідно визначати на основі розрахунку, виходячи з вимірювання інших параметрів.

Методика саме такого типу застосовується на даний час в Україні для обліку природного газу, що відпускається споживачам на АГНКС. Розрахунок об'єму заправленого газу згідно з нині діючою методикою [3] ведеться за залежністю:

$$V_c = nRV_\delta \cdot \frac{T_c Z_c}{P_c} (\rho_k - \rho_n). \quad (2)$$

Крім позначень, прийнятих вище, тут:  $\rho_n$ ,  $\rho_k$  - густина газу в балонах перед заправкою та в кінці заправки;  $n$  - кількість балонів;  $V_\delta$  - об'єм одного балона;  $V_c$  - об'єм заправленого газу, приведений до стандартних умов;  $T_c$ ,  $P_c$  - температура та тиск стандартних умов;  $Z_c$  - фактор стискуваності природного газу в стандартних умовах.

Густина природного газу на початку та в кінці заправки обчислюється за значеннями температури та тиску. Значення тиску на початку та в кінці заправки та значення температури початку заправки вимірюються. Значення температури в кінці заправки  $T_k$  обчислюється з рівняння теплового балансу процесу заправки (рівняння балансу ентальпій). Відносна похибка визначення об'єму заправленого газу за методикою [3], за даними розробників, не перевищує 5 %.

Об'ємні витратоміри (лічильники) за принципом дії вимірюють саме інтегральну кількість газу і тому їх застосування для АГНКС було б зручним. При встановленні такого пристрою в лінії, де автоматично підтримується постійна густина газу, такий витратомір може зразу ж показувати кількість заправленого газу. В умовах АГНКС місце постійної густини газу може бути створено лише в лінії подачі газу до регулятора тиску, тобто на ділянці з робочим тиском не менше 25 МПа. Крім того, в схемах наповнювальної станції, що передбачають ступінчасте заповнення газобалонної установки, таку ділянку виділити неможливо. Встановлення лічильників на ділянці газопроводу із змінною густиною потребує використання мікропроцесорного коректора, а, отже, й давачів тиску та температури. Таким чином, система вимірювання кількості природного газу на основі об'ємного лічильника за своїм складом мало відрізнятиметься від системи, побудованої за методом змінного перепаду тиску і, крім того, буде мати ще ряд додаткових недоліків [4], пов'язаних із роботою лічильників при високих швидкостях

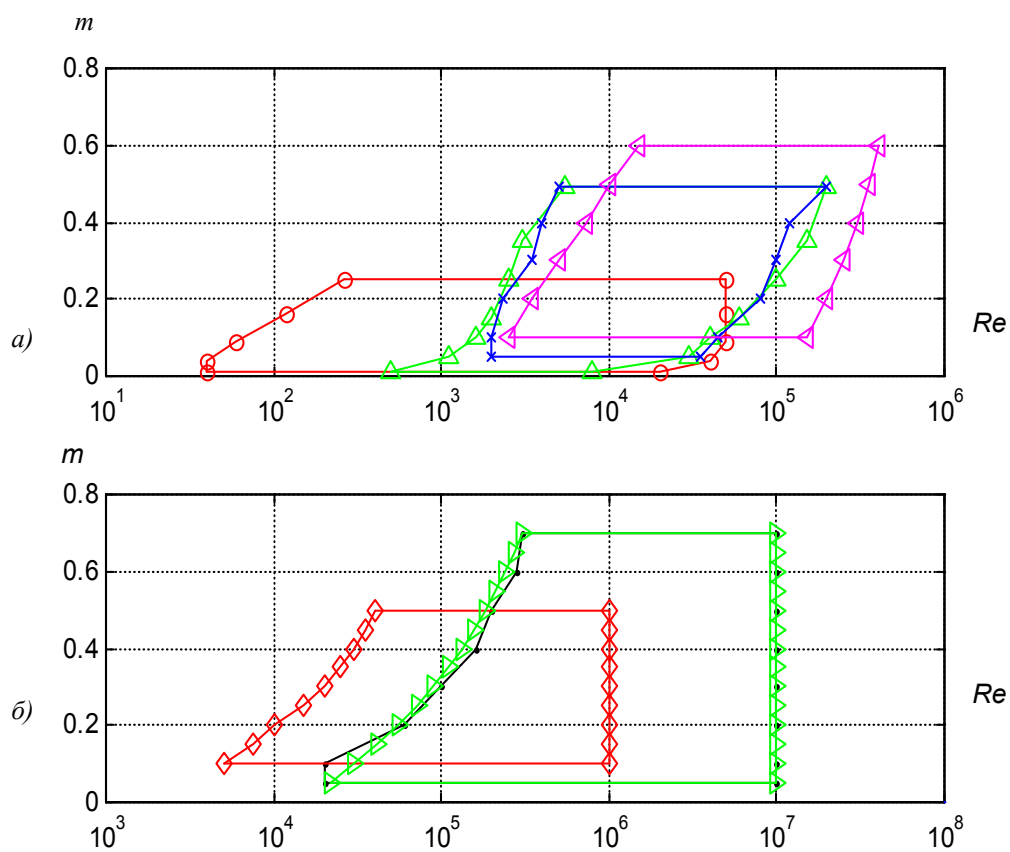
газового потоку.

У витратомірах змінного перепаду тиску, розроблених для АГНКС, як первинні перетворювачі витрати було застосовано нестандартні пристрої звуження. Такі розробки були реалізовані в Київському інституті газу [7] та інженерно-технічним центром "Оріон-Д" (м. Суми). Недоліком вказаних розробок є те, що витратоміри, побудовані на основі нестандартних пристроїв звуження, потребують градування, яке при робочих тиску та температурі АГНКС стає технологічно складною та трудомісткою задачею.

Усунути вказаний недолік можна за рахунок застосування у витратомірах змінного перепаду тиску спеціальних пристроїв звуження, витратні коефіцієнти яких визначаються згідно з РД 50-411-83 [5]. Власне на цих засадах нами була поставлена задача розробки системи вимірювання кількості природного газу для АГНКС. При застосуванні

таких пристроїв звуження відпадає необхідність градування первинного перетворювача витрати, а точність системи вимірювання в цілому може бути оцінена через відомі метрологічні характеристики складових системи.

Важливою передумовою застосування витратомірів змінного перепаду тиску для обліку природного газу на АГНКС є наявність методів визначення фізичних властивостей природного газу (коефіцієнта стискуваності, показника адиабати, в'язкості) в робочих умовах АГНКС. Ці методи повинні забезпечувати таку точність розрахунку фізичних властивостей, яка є достатньою для задач обліку і, водночас, бути простими (їх програмна реалізація не повинна суттєво збільшувати тривалість циклу виконання програми обчислення витрати). Для вирішення цих питань у НУ "Львівська політехніка" було розроблено нові методи розрахунку фізичних властивостей



а) о - діафрагми з конічним входом, Δ - циліндричного сопла, × - сопла "чверть кола", <math>\triangleleft</math> - двійної діафрагми;

б) ● - зносостійкої діафрагми, ◇ - сегментної діафрагми, ▷ - стандартної діафрагми для трубопроводів з внутрішнім діаметром менше 50 мм

Рис. 1. Области постійного коефіцієнта витрати  $\alpha$  для спеціальних пристроїв звуження.

природного газу [8, 9, 10], що працюють у всьому діапазоні зміни тиску та температури на АГНКС.

Іншою передумовою застосування спеціальних пристроїв звуження в умовах АГНКС є забезпечення відповідності гідродинамічних характеристик потоку газу вимогам [5] на всьому діапазоні вимірювання витрати. Для цього було оцінено максимальне значення витрати і, відповідно, максимальне значення числа Рейнольдса  $Re_{MAX}$  газового потоку при наповненні балонів автомобілів.

Для оцінки максимального значення витрати газу, що заправляється в балони автомобіля, нами було розглянуто течію через технологічні звуження газового тракту як течію через критичні сопла. Для сопла без вихідного дифузора швидкість потоку в горловині не може перевищити швидкість звуку. Тобто об'ємна витрата газу при наповненні балонів буде обмежена, коли швидкість потоку в технологічному звуженні із найменшим отвором досягне швидкості звуку. Якщо ж лінія подачі газу до балонів немає технологічних звужень, авторами пропонується вводити перед вимірювальною ділянкою критичне сопло, яке буде обмежувати максимальне значення витрати і, таким чином, дозволить забезпечити виконання умови  $Re_{MAX} < Re_{MAX GP}$ , де  $Re_{MAX GP}$  - верхнє граничне значення числа Рейнольдса для вимірювального пристрою звуження.

Згідно з паспортом заправних колонок КГР-20, які експлуатуються сьогодні на АГНКС, мінімальний переріз газового тракту колонки становить 6 мм, а внутрішній діаметр газопроводу 10 мм. Нами розглянуто дану ділянку газопроводу із таким технологічним звуженням, як циліндричне сопло з відносною площею отвору  $m = (6/10)^2 = 0.36$ . Для такого "критичного сопла" отримано значення  $Q_{MAX} = 2.782 \text{ нм}^3/\text{с}$ .

Застосування спеціальних пристроїв звуження, регламентованих нормативним документом [5], можливе в трубопроводах з внутрішнім діаметром більше 12.5 мм, тому вимірювання витрати природного газу при наповненні балонів вимагає проводити монтаж пристрою звуження разом з прямими ділянками необхідної довжини діаметру більше 12.5 мм. Наприклад, якщо після технологічного звуження змонтовано вимірювальну ділянку на основі трубопроводу високого тиску з  $D_{20} = 15 \text{ мм}$  (ТУ 14-3-251-74), то при вказаних вище параметрах стану потоку і максимально можливій витраті  $Q_{MAX} = 2.782 \text{ нм}^3/\text{с}$  число Рейнольдса становитиме  $Re_{MAX} = 8.198 \cdot 10^6$ .

Перевіримо належність  $Re_{MAX} = 8.198 \cdot 10^6$  до

діапазону  $Re_{MIN GP} \dots Re_{MAX GP}$  спеціальних пристроїв звуження, нормованих в [5]. На рис. 1 показані області чисел Рейнольдса  $Re_{MIN GP} \dots Re_{MAX GP}$  в залежності від відносної площі  $m$  для різних спеціальних пристроїв звуження.

Як видно з рис. 1, із всіх спеціальних пристроїв звуження, нормованих в [5], тільки зносостійкі діафрагми та стандартні діафрагми для діаметра трубопроводу менше 50 мм зберігають коефіцієнт витрати  $\alpha$  постійним в околі  $Re_{max} = 8.198 \cdot 10^6$  і, відповідно, дозволяють провести вимірювання в умовах АГНКС без додаткового градування. Слід зауважити, що зносостійка діафрагма нормована для застосування в трубопроводах з внутрішнім діаметром від 30 мм (стандартна – від 14 мм) [5]. Збільшення діаметру трубопроводу вимагає відповідного збільшення прямих ділянок трубопроводу до та після діафрагми, що небажано з точки зору мінімізації габаритних розмірів витратомірної колонки.

Тобто із спеціальних пристроїв звуження, нормованих в [5], для вимірювання витрати природного газу на АГНКС найбільш доцільно вибрати стандартну діафрагму для діаметра трубопроводу менше 50 мм.

Оскільки витрата природного газу при наповненні балонів змінюється від  $Q_{max}$  до величини, близької до нуля, то система вимірювання повинна забезпечити високу точність в широкому діапазоні зміни витрати. Розширення діапазону вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску може бути досягнуто розширенням діапазону вимірювання перепаду тиску та тиску газу. Нами пропонується застосувати в системах обліку природного газу на АГНКС алгоритм розбиття повного діапазону вимірювання на піддіапазони, який дозволить знизити значення відносної похибки вимірювання тиску та перепаду тиску до значення близького до класу точності приладу в діапазоні вимірювання  $\Delta p_{max} : \Delta p_{min} = 100:1$ .

Система вимірювання витрати та кількості природного газу на АГНКС поряд із високою точністю вимірювання витрати та кількості потоків повинна забезпечувати ряд інших функцій, серед яких: представлення результатів вимірювання в масових та об'ємних одиницях; архівування даних про витрату, кількість та параметри потоку на протязі певного періоду; зв'язок з ЕОМ вищого рівня для побудови централізованої системи обліку. Забезпечення вказаних функцій можливе тільки за умови побудови даної системи на основі програмованого мікропроцесорного обчислювача.

Для побудови такої системи нами застосовано

мікропроцесорний обчислювач ОВК-ПГ (виробник НПВП "Техприлад", м. Львів). Обчислювач розроблений для комерційного обліку природного газу і може експлуатуватись при температурі навколишнього середовища  $-40 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$  та відносній вологості  $15 \dots 98 \%$ . Прилад дозволяє проводити розрахунок витрати та кількості одночасно для одного (див. рис. 2), двох чи трьох витратомірних вузлів.

Для систем обліку АГНКС нами розроблено програму, яка реалізує розрахунок витрати та кількості природного газу, приведених до нормальних умов, у відповідності з РД 50-411-83 [5]. Похибка розрахунку витрати не перевищує  $0.001 \%$ , кількості - не більше  $0.01 \%$  (без врахування похибок давачів та похибок методів розрахунку фізичних властивостей).

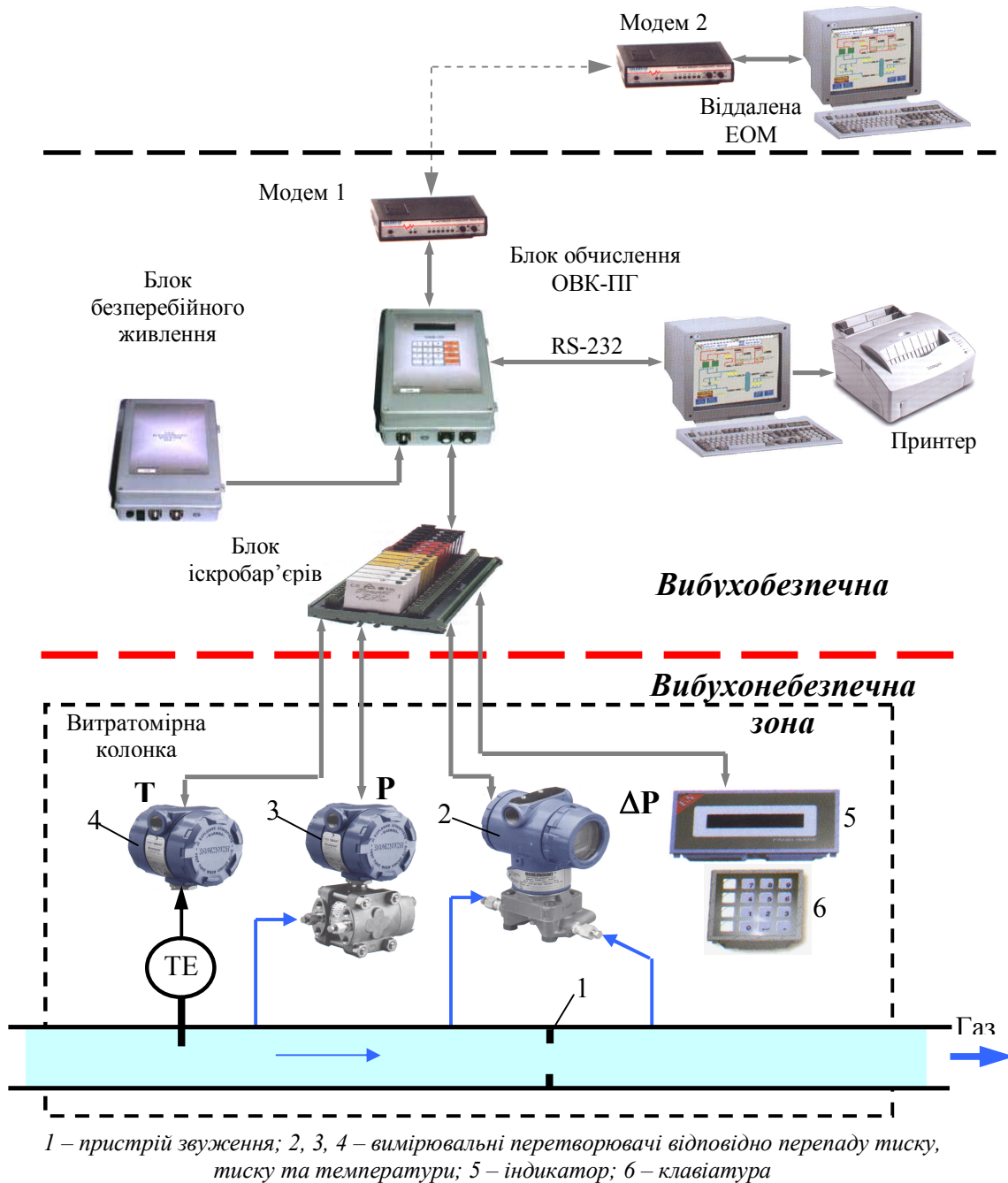


Рис.2. Структурна схема витратомірного комплексу на базі обчислювача ОВК-ПГ.

Зв'язок із системами збору даних верхнього рівня здійснюється за допомогою інтерфейсного модуля RS485 через COM-порт послідовного обміну даними. За допомогою пари модемів (див. рис. 2) може бути реалізовано зв'язок із системами збору даних на значних відстанях. Розроблено програму верхнього рівня "HOST", яка за допомогою простого віконного інтерфейсу користувача дозволяє працювати з даними обчислювачів. Програма дозволяє вибрати потрібний обчислювач та вимірювальну нитку, змінити параметри обчислювача, вимірювальної ділянки та потоку, зчитати з пам'яті обчислювача дані про витрату та кількість і сформувати у файлі на диску ЕОМ звіт по годинах, по добах, по місяцях, по роках та про "нештатні" ситуації.

Енергонезалежна пам'ять обчислювача дозволяє зберігати значення коефіцієнтів, результатів обчислень та інформації про аварійні та нештатні ситуації. Термін зберігання даних в енергонезалежній пам'яті при відсутності мережевого живлення є не меншим 10 років.

Таким чином, на основі запропонованих підходів реалізована система обліку природного газу на АГНКС. Метрологічна атестація такої системи здійснюється по аналогії до будь-яких вимірювальних систем, що реалізують метод змінного перепаду тиску у відповідності до РД 50-213-80 [11] з врахуванням особливостей РД 50-411-83 [5], а також похибок методів розрахунку фізичних властивостей природного газу в робочих умовах АГНКС [8, 9, 10].

1. Боксерман Ю.И., Мкртычан Я.С., Чириков К.Ю. *Перевод транспорта на газовое топливо*. - М.: "Недра", 1988. - 220 с. 2. Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Золотаревский Л.С.

*Природный газ как моторное топливо на транспорте*. - М.: Недра, 1986. - 255с. 3. Методика виконання вимірювань об'єму газу, що відпускається споживачам на автомобільній газонаповнювальній компресорній станції (АГНКС). Харків, 1996. 4. Матіко Ф.Д. *Аналіз можливості застосування методів вимірювання витрати для задач обліку природного газу на АГНКС. Міжвідомчий науково-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія"*, № 56, Львів, 2000, С.60-64. 5. РД 50-411-83. *Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств*. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 54 с. 6. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества: Справочник*. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 701 с. 7. Розкин С.М. *Кинетика процесса заправки баллонов компримированным природным газом*. - В зб. *Нафта і газ України: Матеріали 5-ої Міжнародної конференції "Нафта - Газ України - 98"*. Полтава, УНГА, 1998. - том 2-ий, с. 295-297. 8. Пістун Є.П., Матіко Ф.Д. *Методика розрахунку коефіцієнта стискуваності природного газу для задач його обліку. Нафтова та газова промисловість*, № 1, Київ, 2001, С. 53-54. 9. Матіко Ф.Д. *Визначення показника адіабати природного газу для задач його обліку на автомобільних газонаповнювальних станціях. «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація.» Вісник НУ "ЛП"*. №404. Львів, 2000. С.86-89. 10. Матіко Ф.Д. *Розрахунок в'язкості природного газу для задач його обліку в широкому діапазоні зміни тиску. Методи та прилади контролю якості*. № 6. *Наук.-техн. журнал. ІФДТУНГ, Івано-Франківськ*, 2000, С.51-54. 11. РД 50-213-80. *Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами*. - М.: Изд-во стандартов. - 1982. - 320 с.