

за часом кількості дорожньо-транспортних пригод з врахуванням інтенсивності потоку автомобілів та інтенсивності геомагнітного поля // Вісник НУ "Львівська політехніка". № 460 2002. С. 135–143. 5. Овсяк В.К. Алгоритми: аналіз методів, алгебра впорядкувань, моделі, моделювання. – Львів 1996. 6. Банди Б. Методы оптимизации: – М., 1988. 7. Сопільник Л. Модель інтенсивностей дорожньо-транспортних пригод із врахуванням вікових особливостей водіїв, потоку автомобілів та геомагнітного поля // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2002, № 463. – С. 97–105. 8. Сало О.М., Сопільник Л. Формування і розвиток теоретичних засад безпеки дорожнього руху // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник. – 2002. – №1(12) – С. 90–102. 9. Столярчук П., Куць В., Юзевич В. Моделювання оцінки якості об'єктів нерухомості // Вимірювальна техніка та метрологія. – Львів, 2002. – Вип. 59. – С. 156–161.

УДК 006.015.5:628.16.033

Р.В. Бичківський, О.Й. Гонсьор
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЇЇ ОЗОНУВАННЯ

© Бичківський Р.В., Гонсьор О.Й., 2004

Розглянуто переваги та недоліки обробки питної води озоном, наведено порівняльну характеристику оцінювання і забезпечення якості питної води різними дезінфектантами та коротко описано технологію продукування озону.

In the given article the advantages and lacks of treatment of drinking-water are considered ozone, comparative description of providing of drinking-water quality by different disinfectants is resulted and technology of production of ozone is shortly described.

Вступ. Стійка тенденція погіршення якості джерел питного водопостачання, що супроводжується зниженням гігієнічних характеристик води, викликає особливу занепокоєність світової громадськості. Всесвітня організація охорони здоров'я серед комплексу найважливіших питань на перший план ставить вирішення проблеми питного водопостачання як невід'ємної частини реалізації програми охорони здоров'я [5].

Для забезпечення якості питної води необхідно постійно вдосконалювати методи очищення питної води та забезпечити періодичні вимірювання та оцінювання її якості.

1. Основні методи очищення питної води. Озон застосовують для очищення води вже понад 100 років, однак лише останні 10–15 років відзначені широким практичним застосуванням озонування на різноманітних стадіях обробки води з поверхневих вододжерел. Це пов'язано з виявленням мікроорганізмів, стійких до дії хлору, а також з утворенням вторинних продуктів хлорування, токсичних для людини [1].

Обробка озоном природних, водопровідних, стічних і зворотних вод, повітря чи харчових продуктів здійснюється для :

- зниження кольоровості та збільшення прозорості природних вод;
- дезодорації повітря ;
- позбавлення води присмаку;
- стерилізації (очищення від грибків, водоростей, мікроорганізмів, бактерій, вірусів та фагів);
- дезінфекції та санації;
- консервації [2].

У водообробці озонування та хлорування конкурують. В нашій країні ще й досі всюди застосовують хлорування через невисоку вартість обладнання і триваліший ефект обробки, в той час як розвинуті країни вже давно відмовились від нього. Як показали дослідження, речовини, які використовують для хлорування води, є канцерогенними (тригалопхідні метану та інших хлорорганічних сполук, які іноді токсичніші за вихідні). З огляду на це важливо було б впровадити озонування в водообробку або на перших порах хоча б компромісне застосування знезараження води озонуванням та хлоруванням.

В зв'язку з погіршенням екологічної ситуації в світі й зокрема в нашій країні у воді з'явилися нові забрудники та заразні речовини. Це привело до появи спектра нових окисників. Нові окисники та продукти окислення з'являються й досі, тому потрібно регулярно переглядати ставлення до окисників в зв'язку з новими обставинами, що стосуються хімізму окислення, кількісних характеристик окислення, проміжних продуктів окислення.

Проблема покращання якості води дуже широко і часто розглядається. Деякі джерела гостро критикують озонування як метод очищення питної води через утворення вільних радикалів (що не є точно доведеним), які є шкідливими для людини [4], інші вказують на економічну неефективність його застосування. Ми пропонуємо використовувати озонування разом з хлоруванням, оскільки в такому разі нівелюється шкідлива дія першого і другого.

Сьогодні опубліковано багато наукових досліджень, що детально розглядають вплив озону на якість питної води. В [1] показано, що для моделювання знезараження води озоном як тест-об'єкт найдоцільніше використовувати природну асоціацію бактерій, яка стійкіша до дії озону і кінетика відмирання якої відрізняється від традиційно застосованого мікроорганізму *E.coli*.

В [6] розглянуто переваги та недоліки озонування, хлорування та інших альтернативних методів обробки води. Наведено залежності якості води від використання того чи іншого окисника.

Озон, як відзначено в [7], є дуже ефективним для вилучення з води марганцю і заліза.

2. Порівняльна характеристика забезпечення якості води озоном та іншими дезінфектантами
Оцінимо місце озону серед інших окислювачів, які використовують у водопідготовці.

В світовому масштабі перше місце серед дезінфікувальних речовин (дезінфектантів) займає хлор та його сполуки:

- хлор-газ Cl_2 ;
- діоксид хлору ClO_2 ;
- гіпохлорид натрію $NaClO$;
- гіпохлорид кальцію $Ca(ClO)_2$;
- перманганат калію $KMnO_4$;
- пероксид водню H_2O_2 .

Дезінфектантами є ще й срібло та йод, але їх використовують вкрай рідко через їх високу вартість.

Проаналізуємо кожен з дезінфектантів.

Хлор характеризується високою дезінфікувальною здатністю, є порівняно стійким і довгий час зберігає активність. Легко дозується і контролюється. Важливою перевагою хлору є те, що він руйнує шкідливий аміак, формуючи хлораміни. Діоксид хлору та озон у такому разі є неефективними.

Важливою проблемою, породженою реакцією окисдантів з органічними сполуками, є формування побічних продуктів реакції. Хлор вступає в реакцію з органічними речовинами і утворює органогалогени. З них тригалометани є найнебезпечнішими і є причиною постійних суперечок про використання хлору. Галометани, однак, формуються тільки в присутності органічних попередників і залишкового вільного хлору, якщо достатній час контакту. Один раз утворившись, галометани практично не можуть бути усунені наступним очищенням. Недоліком хлору є також утворення хлорфенолів, які надають воді запаху. Хлорування потребує транспортування та зберігання хлору. Але, незважаючи на це, хлор залишається основним дезінфікувальним засобом.

Діоксид хлору є сильніший, ніж хлор і як дезінфектант, і як окисник, прекрасно знищує присмаки та запахи, не взаємодіє з аміаком і його дезінфікувальна здатність не залежить від показника кислотності. Не потребує спеціального зберігання. Недоліком є утворення шкідливих речовин: хлоритів і хлоратів. Озон розщеплює хлорити, утворюючи хлорати. Проте вплив хлоратів на здоров'я людини ще не досліджено остаточно, тому хлорати необхідно підтримувати на мінімальному рівні. Крім озонування, хлорити розкладає ще й активоване вугілля. У діоксиду хлору більша вартість порівняно з хлором (і озоном). Переважно його використовують як додатковий засіб до хлору для усунення присмаків та запахів та зменшення вмісту тригалометанів.

Гіпохлорид натрію має високу антибактеріальну активність та широкий спектр дії на різноманітні мікроорганізми. Однак в ньому мало активного хлору і його розчини мають понижено стійкість.

Гіпохлорид кальцію містить більше активного хлору і є стабільнішим, ніж гіпохлорид натрію, однак його розчин у воді може знижувати кислотність, що є вкрай небажаним, оскільки низька кислотність негативно впливає на дезінфекцію води.

Перманганат калію не утворює речовин з неприємним запахом, не дає побічних ефектів, але має нижчу дезінфікувальну дію, ніж хлор і озон, є дорогим і дефіцитним. Також існує небезпека передозування, оскільки марганець в питній воді нормується на рівні 0,1 мг/л [3].

Пероксид водню має дуже низьку дезінфікувальну здатність (на рівні одиниць і сотень мг/л) і водночас він є токсичним і його рівень у воді обмежується до 0,1 мг/л.[3]

Озон є найсильнішим із всіх відомих окисників. Його перевагою є нездатність, на відміну від хлору, до реакцій заміщення. Озон дуже швидко розкладається у воді, тобто є екологічно безпечним. Недоліком озону є затрати електроенергії під час його синтезу, а також необхідність кінцевого хлорування (із зменшеною порівняно з відомою технологією дозою хлору) для дезінфекції та захисту мережі від вторинного бактеріального забруднення.

Озонування має переваги над хлоруванням. Відомо, що для забезпечення відповідної якості води застосовують три процеси: коагулювання (для позбавлення води кольору), сорбційні методи (для покращання її смакових властивостей), хлорування (для знезараження води).

Необхідність застосування трьох різних процесів ускладнює технологію обробки води. Використання коагулянтів вносить у воду додаткові забруднювальні речовини. Негативну дію хлору ми вже розглядали вище. Попри це озонування дає змогу одночасно усунути колір води, присмаки і запахи, а також здійснити її знезараження завдяки високій окислювальній здатності озону. Озонування забезпечує зниження вмісту заліза та марганцю (важливо, що окислюються і стійкі комплекси заліза з гумусовими речовинами) [7]. При озонуванні продуктів життєдіяльності мікроорганізмів і водоростей запахи та присмаки усуваються практично повністю в широкому діапазоні кислотності, температури та кислотного складу води.

В обробці питної води важливе місце займає попереднє окислення, у якому як окисники використовують хлор, діоксид хлору, озон. Попереднє окислення робить дезінфекцію надійнішою. Важливим параметром цього процесу є час контакту окисника з бактеріями та вірусами. Табл. 1 демонструє, що контактний час буде достатнім, навіть якщо реагенти будуть застосовуватися ближче до кінця обробки [6]. Та й нелогічно намагатися знищити бактерії та віруси на попередній стадії процесу, коли вони є ще захищеними замуленими твердими частинками. У верхньому рядку комірки вказана доза реагенту (ppm – кількість частин на мільйон), а в нижньому – необхідний контактний час.

Таблиця 1

Практичні умови дезінфекції

	Хлор	Діоксид хлору	Озон
Знищення бактерій	0,1 – 0,2 ppm 10 – 15 хв.	0,1 – 0,2 ppm 5 – 10 хв	0,1 – 0,2 ppm 1 – 2 хв
Знищення вірусів	0,3 – 0,5 ppm 30 – 40 хв.	0,3 – 0,5 ppm 30 хв	0,4 ppm 4 хв

Як видно з табл. 1, для озону, порівняно з іншими окисниками, потрібен найменший час контакту, щоб знищити бактерії та віруси.

Розвиток промисловості та індустріалізація сільського господарства значно погіршили умови існування природних вододжерел та підвищили загрозу їх забруднення токсичними відходами.

Особливо небезпечними є пестициди, які належать до різних класів органічних сполук і містяться у воді у різних станах. Більшість пестицидів негативно діє на органолептичні властивості води, в зв'язку з чим вміст їх у водоймах нормується за цією ознакою. Токсичність пестицидів, які потрапляють у вододжерела, зростає під час обробки води, зокрема при знезаражуванні їх хлором (а також перманганатом калію). При озонуванні пестицидів розчин дезодорується і вихідні сполуки глибоко руйнуються.

Табл. 2 підсумовує впливи трьох окисників на органічні речовини.

Таблиця 2

Впливи різних окисників на органолептичні властивості води

Забрудник		Хлор	Діоксид хлору	Озон
Залізо і марганець		+	++	+++
Аміак		+++	0	0
Органічні речовини	Смак	+	++	+++
	Колір	+	++	+++
	Попередники тригалометанів	+++	0	0
	Посилення біологічного розкладу	+	+	+++

Як видно з табл. 2, озон є найефективнішим для вилучення з води заліза та марганцю, що є дуже істотним при обробці підземних вод, в яких є дуже малий вміст органічних речовин, проте велика концентрація заліза та марганцю. Озон також покращує смак та колір води, не утворюючи тригалометанів. Біологічний розклад під час озонування теж є найвищим.

Нафта і нафтопродукти погано розчиняються у воді і дуже стійкі до біохімічного окислення. Великі концентрації нафти надають воді сильного запаху, підвищують окислюваність, кольоровість, біологічне споживання кисню, знижують вміст розчиненого кисню. Дослідження показали, що озонування дає змогу значно знизити, а іноді і повністю позбавити воду запаху нафти, бензину і гасу. Повне очищення води від залишкових концентрацій нафти забезпечує озонування з подальшою коагуляцією.

Потрапляючи у воду з промисловими і побутовими стоками, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) різко знижують її якість. Озонування води, що містить СПАР, приводить до повного зникнення запахів та присмаків (водночас навіть зникає піна).

На рис.1 подано порівняльні діаграми, які демонструють ступінь забезпечення якості води трьома реагентами у семи аспектах: бактерії, віруси, патогенні сполуки, тригалометани (їх відсутність), смак та колір, залізо та марганець, а також аміак. Остання діаграма демонструє ідеальний реагент, при якому б забезпечувалася найвища якість питної води.

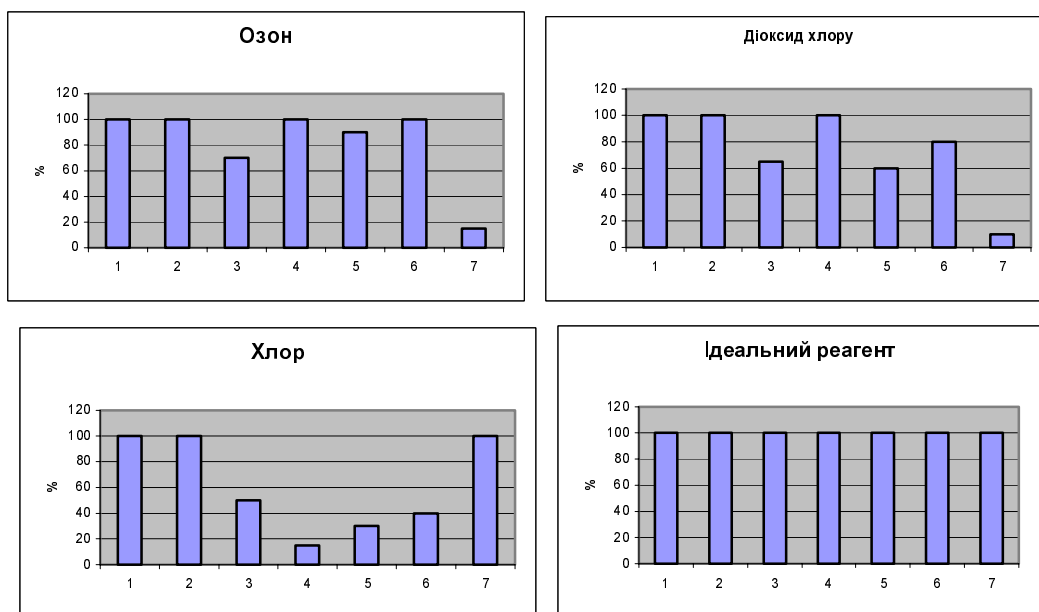


Рис. 1. Порівняльна характеристика забезпечення якості питної води трьома реагентами – озоном, хлором та діоксидом хлору:

1 – бактерії; 2 – віруси; 3 – патогенні сполуки; 4 – тригалометани (їх відсутність); 5 – смак та колір; 6 – залізо та марганець; 7 – аміак

Як видно з рис.1, озон є найкращим окисником та забезпечує найвищу якість питної води у всіх аспектах, крім останнього (аміак), у якому найкращим є хлор.

Одним з істотних недоліків озонування є утворення і перетворення вільних радикалів при обробці озоном води, що містить органічні домішки (треба зазначити, що вільні радикали утворюються при окисно-відновних реакціях під час обробки питної води і є дуже шкідливими для організму людини).[4] Вирішенням цієї проблеми є використання вугільних фільтрів після озонування.

Для продукування озону необхідно створювати озоногенератори, які, поєднуючи досягнення сучасного озоногенераторобудування, забезпечували б усі вимоги до очищення і знезараження води для міського та промислового водопостачання.

3.Продукування озону. Коротко розглянемо продукування озону. Озон продукується внаслідок проходження безшумного електричного розряду через повітря або кисень. Змінний струм високої напруги прикладений між двома електродами, відокремленими скляним діелектриком і вузьким отвором (приблизно 2 см), через який проходить озоноване повітря. Електроліз проходить при низькій частоті – 50–60 Гц та напрузі 9–14 кВ. На практиці два електроди – це концентричні труби. Зовнішній електрод – це труба з нержавіючої сталі; внутрішній – це скляний трубчатий діелектрик з металізованим шаром. Типовий генератор озону складається з декількох сотень таких труб, що зібрані у великій камері. Висока напруга прикладається до металевого покриття всередині внутрішньої труби; низька напруга під'єднана до нержавіючої сталі зовнішньої труби. Приблизно 90–95 % вхідної енергії нагріває діелектрик і вона повинна усунути за допомогою охолодженої води. Повітря (або кисень), що надходить в озонатор, повинне бути дуже сухим, цілком безмасляним – щоб запобігти вибуху, і вільним від пилу до рівня 95 % в 1 мікроні, щоб запобігти забрудненню електрода. Стандартна вимога – повітря повинне мати точку роси –50 °C або –60 °C щоб запобігти іскрінню і утворенню азотної кислоти. Щоб досягти цієї сухості, повітря охолоджують і пропускають через осушувач. Якщо повітря не висушило до потрібного рівня, проходження вологого повітря через озонатор навіть упродовж декількох хвилин спричиняє формування кислотних рідин, які призводять до припинення роботи установки. Повітря, що подається, повинне бути холодним, з температурою нижче ніж 25°C, і компресори або вентилятори, що використовуються, щоб збагачувати повітря, повинні бути безмасляними.

Типове виробництво – 1–2 % озону в повітрі або 6 % озону в кисні. Розчинений озон (в повітрі або кисні) обробляє воду за допомогою зануреного пористого дифузора, струменевого насоса (в глибоких резервуарах), або насадних колон чи занурених турбін. Турбіни переважно застосовують там, де вода містить мікрочастинки, або при застосуванні окислення, коли формується осад. Для дезінфекції найчастіше використовують дифузори.

Споживання енергії залежить від цілої низки чинників і становить приблизно 2.0–2.7 кВт для вироблення 100г О₃ для установок повітряного живлення, і близько 1.5кВт на 100 г. О₃ для установок кисневого живлення.

Близько 10 % озону залишається в повітрі, що витрачається, у верхній частині контактної камери. Концентрація його є вдвічі вищою від прямого розряду в атмосфері, тому необхідним є деструктор для перетворення невикористаного озону на кисень для безпечного розряду. Цього перетворення можна досягати за допомогою нагрівання газу до температури 350 °С, при якій розпад триває 2 хв, або за допомогою нагрівання газу приблизно до температури 60 °С і проходження його через каталізатор, щоб пришвидшити розпад.

Озон отруйний і небезпечний у використанні газ; його поріг сприйняття запаху менший, ніж 0.02 мл/м³. Детектори витоку озону повинні встановлюватися із пристроями для припинення роботи генераторів за наявності витоку. Повинні бути передбачені й інші заходи безпеки для мінімізації ризику для здоров'я. Крім того, озоноване повітря є висококорозійним за наявності вологи. Тому трубопроводи та інше обладнання повинні бути виготовлені із спеціальних матеріалів, здебільшого із неіржавіючої сталі. Електричні установки та ізоляція можуть також вимагати спеціального захисту проти можливості витоку озону, оскільки він є корозійним.

Проектуючи установки озонування, важливо правильно оцінити необхідну концентрацію озону в воді і тривалість її зберігання. Враховують, що вплив озону на речовини, які містяться у воді, поділяється на швидкий і повільний. Крім цього, необхідна гарантована дія. Наприклад, при дії на мікроби і віруси, які активно розмножуються, необхідна залишкова концентрація 0,3 ± 0,1 мг/л, для підтримання дії з неменшою концентрацією упродовж 15 – 20 хв потрібна концентрація 0,4 ± 0,1 мг/л. Ці експерименти на дистильованій воді при перенесенні на неочищену воду вимагають створення залишкової концентрації озону 0,5 ± 0,1 мг/л. Для забезпечення таких залишкових концентрацій озону, для попередньої обробки води необхідними є концентрації 12...16 мг/л. Окрім водообробки, озоногенератори використовують для дезодорації повітря та консервації харчових продуктів.

Загальне обладнання (підготовка повітря, генератор озону, контактні камери) потребує істотних операційних та грошових затрат. За оцінками фахівців, вартість озонування є втричі вищою від вартості дезінфекції хлором, та постає запитання: чи варто економити на здоров'ї?

Висновки.

1. Не можна з впевненістю стверджувати про цілковиту перевагу озону чи діоксиду хлору над хлором. Слід уникати попередньої обробки води за допомогою окислювача, а ріст водоростей можна було б контролювати механічно за допомогою очищувальних робіт.

2. Хлор все ще має перевагу, вилучаючи аміак, і в деяких випадках може бути абсолютно необхідним.

3. Озонування, закінчене фільтруванням за допомогою вугільного фільтра, має най-позитивніший ефект.

4. Хлор у дозі, меншій, ніж 0,3 частини на мільйон, може бути збережений як кінцевий дезінфектант.

5. Для того, щоб зменшити побічні продукти від хлорування до мінімального рівня, найкращим вирішенням буде – на довгий період – використання вугільного фільтра. Однак багато заводів неспроможні впровадити цей вид очищення упродовж декількох років. Озон та діоксид хлору можна використовувати як альтернативу хлоруванню, але лише на короткий період.

1. *Потапченко Н.Г., Гончарук В.В., Косинова В.Н., Сова А.Н. // Химия и технология воды. 2001, Т. 23, №4.* 2. *Вигдорович В.Н., Исправников Ю.А., Нижадэ-Гавгани Э.А. Проблемы озонпроизводства и озонобработки и создание озоногенераторов второго поколения. – М. – СПб. 1994.* 3. *ДСанПіН "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-*

питного водопостачання". 4. Маляренко В.В., Гончарук В.В. // Химия и технология воды. 2002, Т. 24, №1. 5. Доан С., Бондаренко В. та ін. Характеристика вірусного забруднення водопровідної води // Стандартизація, сертифікація, якість. – №4. 2003. 6. *Studies in Environmental Science 12 Water supply and Health*. Edited by H. van Lelyveld, B.C.J. Zoeteman. ELSEVIER, 1981. 7. Twort A. C., Law F.M., Crowley F.W., Ratnayaka B.B. *Water supply*, 1996.

УДК 681.2.53.082:543.5:389.14

З.М. Теплох, І.В. Ділай

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

ЗМІШУВАЧ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ХРОМАТОГРАФІВ

© Теплох З.М., Ділай І.В., 2004

Описаний змішувач побудований на дроселях з кратними значеннями газодинамічних опорів (провідностей) і призначений, зокрема, для градуювання і метрологічної перевірки хроматографів у системі контролю якості природного газу і визначення витрати (кількості) отриманої (відпущеної) з газом енергії. Описана також методика визначення впливу супутніх компонентів на вихідний сигнал аналізатора складу газу за допомогою цього змішувача.

The described mixer is build on the capillaries with divisible values of gas-dynamical resistances and is assigned, specifically, for chromatograph's calibration and metrological testing in system of natural gas quality control and flow rate (quantity) determination energy received with gas. The methods of determination attendant components influence on outlet signal of gas composition analyzer by that mixer is also described.

Вступ. Питання обліку природного газу як основного енергоносія мають першочергове значення для України, яка займає одне з перших місць в Європі за обсягами його транспортування і споживання. Так, щороку у нас транспортується близько 200 млрд. куб. метрів газу, а довжина газотранспортної системи – понад 35 тис. км. і газорозподільної – 225 тис. км. Сьогодні природний газ практично увесь використовують як джерело теплової енергії з регламентованою нижньою межею калорійності, проте його облік зводиться до контролю витрати (кількості). Внаслідок цього взаємовідносини між постачальником і споживачем газу побудовані не на основі відпущеної (одержаної) енергії, а на основі відповідних об'ємів газу з частковим (одностороннім, періодичним) контролем якості природного газу, що не завжди забезпечує налагодження нормальних ринкових взаємовідносин між постачальником і споживачем. Так, теплотворна здатність газу в газогонях Львівтрансгазу, як правило, значно перевищує мінімально допустиму (наприклад, на 6 %) і змінюється в межах ± 1 %, що може призводити до неврахування значної кількості енергії, а, отже, і до неправильного визначення вартості відпущеного (одержаного) газу.

Визначати кількість відпущеної (одержаної) з природним газом енергії доцільно за допомогою автоматичного розрахунку за даними неперервного контролю витрати (кількості) газу з одночасним контролем його якості через концентрації компонентів. Для визначення компонентного складу природного газу найпоширенішим і визнаним методом в багатьох країнах світу є хроматографічний метод [1], проте впровадженню хроматографії в практику перешкоджає насамперед проблема метрологічного забезпечення. Крім того, у зв'язку з особливостями хроматографа як аналітичного приладу існує потреба постійного підтвердження його градуюваль-