

# МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОХИБОК МЕТОДИК ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СОДИ КАЛЬЦИНОВАНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ЗА ГОСТ 5100<sup>\*)</sup>

Івков А.Г. (ХДНДІМетрології), Тюхтіна М.В. (НІОХІМ)

Визначення параметрів хімічного складу речовин та матеріалів, як і інших фізичних величин, завжди супроводжується похибками вимірювань, зумовленими недосконалістю методики виконання вимірювань та похибками застосовуваних засобів вимірювальної техніки.

Завдання визначення характеристик похибки методик виконання вимірювань (МВВ) та внесення їх до документів на МВВ, у тому числі й до державних стандартів (на той час — ГОСТ), постали на державному рівні колишнього СРСР на початку 70-х років минулого сторіччя з введенням в дію ГОСТ 8.010-72 [1] та ГОСТ 8.011-72 [2]. З багатьох причин, перш за все фінансових, й дотепер всі 17 міждержавних стандартів на неорганічні хімічні продукти, що закріплені за НІОХІМом (раніше вони мали статус державних стандартів СРСР), не відповідають встановленим вимогам щодо нормування значень похибки МВВ.

Деякий час у 90-х роках Міністерство промисловості України, якому підпорядковувався на той час НІОХІМ, виділяючи кошти на роботи з метрологічного забезпечення вимірювань, фінансувало й роботи з атестації МВВ. За рахунок цих коштів були проведені роботи з дослідження фактичних значень характеристик похибки п'яти МВВ параметрів хімічного складу соди кальцированої технічної — найважливішого продукту содової промисловості (що їх регламентовано ГОСТ 5100-85 [3]). До переліку параметрів, метрологічні характеристики МВВ яких досліджували, увійшли масові частки карбонату натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), хлориду натрію ( $\text{NaCl}$ ), феруму у перерахунку на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , сульфатів у перерахунку на  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та речовин, нерозчинних у воді.

Сприятливу нагоду отримання достовірних оцінок характеристик похибок забезпечила наявність створених раніше партій державних стандартних зразків складу соди кальцированої технічної ГСО 2404-82 та ГСО 2404-89п [4,5].

Дослідження здійснювали за програмами визначення характеристик похибок МВВ, розробленими і затвердженими згідно з чинною на той час нормативною документацією [6] (ці програми встановлювали, у тому числі, номенклатуру досліджуваних характеристик похибки [7], способи їх отримання та план проведення досліджень і розрахунків).

Оцінювати вирішили характеристики сумарної похибки вимірювань за МВВ (через її систематичну та випадкову складові), а для оперативного контролю випадкової похибки — припустиме розходження між результатами паралельних вимірювань. Попередній аналіз

показав, що значення характеристик похибок доцільно визначати експериментально-розрахунковим методом з експериментальним оцінюванням окремо характеристик випадкової і систематичної складових (за даними аналізів стандартного зразка складу соди кальцинованої технічної за методиками ГОСТ 5100) та подальшим розрахунком характеристик сумарної похибки [8,9].

Під час досліджень з оцінювання характеристик випадкової похибки МВВ масової частки основної речовини, хлоридів та феруму у спеціальному експерименті багаторазово аналізували партії стандартного зразка ГСО 2404-89п. Для врахування впливу індивідуальних особливостей операторів всі аналізи провадили аналітики, які працювали окремо. Послідовність участі аналітиків і прояв величин, що характеризують умови проведення вимірювань та впливають на похибку вимірювань, планували таким чином, щоб під час цих вимірювань вони змінювалися випадково (у межах змінювань, що їх дозволяють вимоги методики).

Крім цих експериментальних даних, для визначення фактичних значень характеристик похибок МВВ ми залучили також наявні архівні дані вимірювань, отримані зі застосуванням методик ГОСТ 5100, а саме:

— результати аналізів державного стандартного зразка соди кальцинованої технічної ГСО 2404-82, отримані під час контролю точності поточних аналізів за ГОСТ 5100 в лабораторіях відділів технічного контролю (ВТК) та в центральних заводських лабораторіях (ЦЗЛ) содових підприємств протягом 1983-87 років (для показників  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , нерозчинні речовини);

— результати аналізів, отримані підприємствами різних галузей промисловості під час міжлабораторних атестаційних вимірювань матеріалу ГСО 2404-89п та ГСО 2404-82 (для показників  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та нерозчинні речовини);

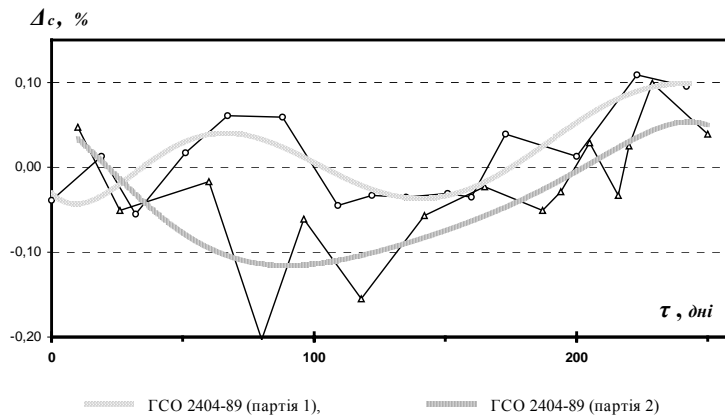
— отримані підприємствами результати аналізів спеціально усереднених проб соди кальцинованої технічної, використаних для співставлення результатів різних заводів (для показників  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та нерозчинні речовини);

— результати аналізів вихідного матеріалу соди при виготовленні ГСО 2404-82 (для показника  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ );

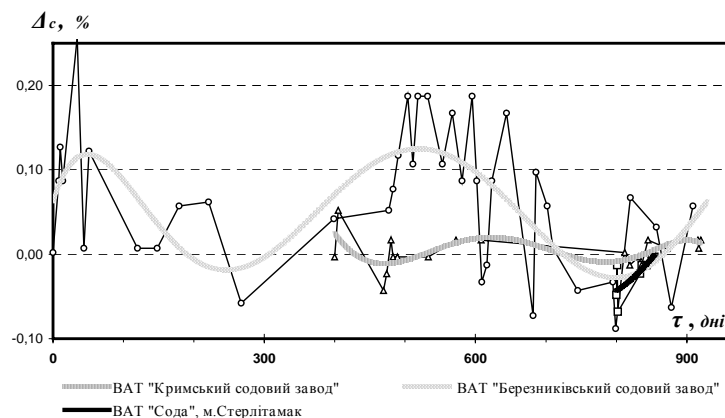
— результати аналізів представницьких проб поточних партій соди, виготовленої содовими підприємствами (для показників  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та нерозчинні речовини);

— результати аналізів соди, отримані під час досліджень з вибору видів пакування, придатного для зберігання стандартного зразка соди (для показника  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

На рисунку 1 для наочності наведена динаміка змінювань похибки результатів вимірювань масової частки одного з компонентів, досліджених протягом майже трьох років.



**a**



**б**

**Рисунок 1 Графіки фактичних змінювань у часі похибки (систематичної складової похибки) вимірювань масової частки  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
 а — в одній лабораторії (НІОХІМ); б — на різних підприємствах**

Аналогічний вигляд мають і графіки змінювань похибки вимірювань решти компонентів. Вони на значно довшому проміжку часу підтверджують дію досліджених нами раніше [10,11] низькочастотної та інфранизькочастотної складових похибки (остання відповідає тим складовим похибки вимірювань, що, власне, й формують систематичну похибку як таку).

Для знаходження значень характеристик похибки застосували загальновідому [12] схему.

### **Оцінювання характеристик випадкової складової похибки**

З цією метою за експериментальними даними обчислювали (з відповідним числом ступенів свободи) середнє квадратичне відхилення  $S(\Delta)_i^0$ , що характеризує розсіювання результатів вимірювань, отриманих в однакових умовах. Після підтвердження (за критеріями

Кохрена або Бартлета [13] для  $\alpha=0,01$ ) однорідності  $S(\Delta)_i$  в кожній групі результатів для даного компонента обчислювали об'єднані оцінки середнього квадратичного відхилення випадкової похибки вимірювань (абсолютні або відносні значення —  $\overline{S(\Delta)}^0$  чи  $\frac{\overline{S(\Delta)}^0}{X} \cdot 100$ ) наступним чином:

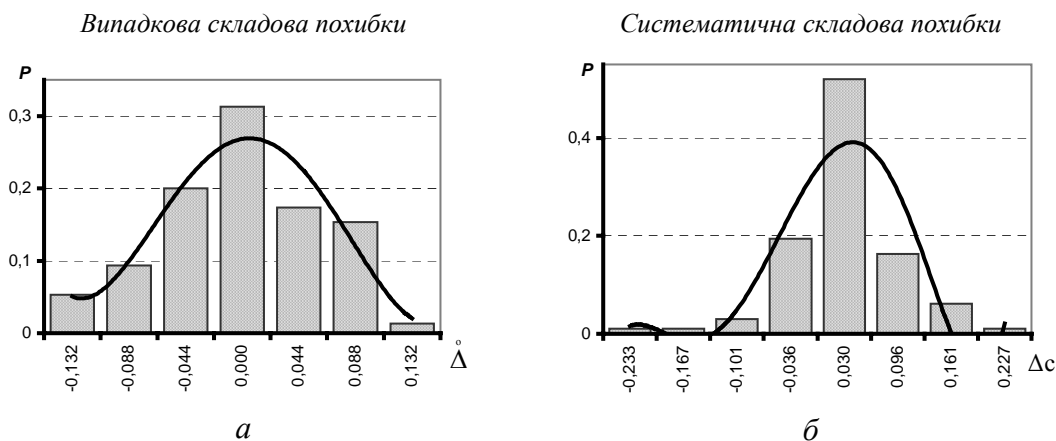
— як характеристику випадкової похибки вимірювань масової частки карбонату натрію за відповідною методикою ГОСТ 5100 використали об'єднану за двома партіями стандартного зразка соди ГСО 2404-89п оцінку  $\overline{S(\Delta)}^0$ ;

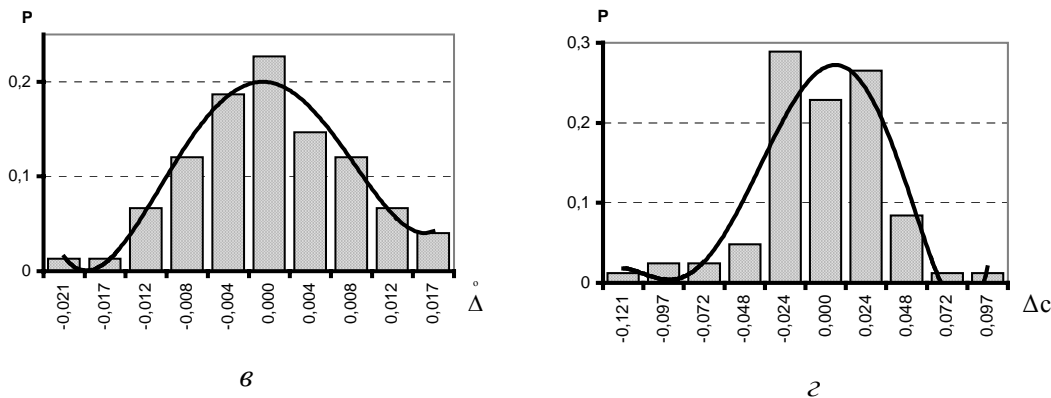
— для масової частки феруму при розрахунку додатково до об'єднаної за двома партіями ГСО 2404-89п оцінки  $\frac{\overline{S(\Delta)}^0}{X} \cdot 100$  долучили також відповідні оцінки, отримані при статистичному обробленні архівних даних;

— характеристики випадкової похибки вимірювань масової частки сульфатів та нерозчинних речовин обчислювали за даними вимірювань, що виконували раніше.

Перед тим, як об'єднати результати різних груп, ми попередньо перевіряли (за  $\alpha=0,01$ ) гіпотезу однорідності відповідних оцінок середнього квадратичного відхилення випадкової похибки за критеріями Фішера або Бартлета [13].

За критеріями  $\chi^2$  Пірсона [12] та за складовим критерієм [13] провели перевірку (за  $\alpha=0,01$ ) гіпотези щодо нормальності розподілення результатів у вибірках. Як і сподівалися, результати виявилися розподіленими нормально (за всіма компонентами у кожній групі даних). Як приклад, на рисунку 2 (а,б) подано гістограми розподілення випадкових складових похибок вимірювання масових часток  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та  $\text{NaCl}$ .





**Рисунок 2 Гістограми розподілення складових похибок**

*a, б* — вимірювання масової частки  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

*в, г* — вимірювання масової частки  $\text{NaCl}$

Оскільки під час експериментів, проведених в рамках цієї роботи (як і при отриманні архівних результатів) вимірювання провадили зі застосуванням різних екземплярів засобів виміральної техніки, випадкова та систематична частини інструментальної похибки увійшли невизначеними складовими частинами відповідно до випадкової та систематичної складових методичної похибки. Через це характеристики інструментальної похибки окремо не оцінювали й не враховували.

Фактичні значення характеристик випадкової похибки наведені у таблиці 1.

### **Оцінювання характеристик систематичної складової похибки**

Систематичну похибку визначали за результатами таких вимірювань:

- експериментальні результати аналізів ГСО 2404-89п;
- архівні дані міжлабораторного атестаційного аналізу ГСО 2404-89п та ГСО 2404-82;
- результати з контролю точності поточних аналізів на содових заводах за ГСО 2404-82;
- результати з порівняльного аналізу однорідної проби кальцинованої соди содовими заводами.

Для оцінювання систематичної складової похибки вимірювань взяли значення різниць  $(\Delta C)_{ki} = \bar{X}_{ki} - A_k$  (де  $\bar{X}_{ki}$  — отримане під час експериментальних вимірювань та за архівними даними середнє арифметичне значення масової частки компонента в  $k$ -му стандартному зразку або в  $k$ -й однорідній пробі соди;  $A_k$  — атестоване значення масової частки компонента в  $k$ -му стандартному зразку).

**Таблиця 1 — Оцінки характеристик випадкової похибки методик ГОСТ 5100, отримані за даними аналізу стандартного зразка складу**

Компонент	Середні квадратичні відхилення випадкової похибки МВВ, отримані за даними аналізу								Об'єднані оцінки $\frac{S(\Delta)}{X} \cdot 100$	Припустиме розходження між результатами двох паралельних вимірювань (за довірчої ймовірності P = 0,95) $d, \frac{d}{X} 100$	
	ГОСТ 2404-89п під час проведених досліджень з оцінювання похибок МВВ			ГОСТ 2404-82 під час поточного контролю виробництва на содових заводах	вихідного матеріалу ГОСТ 2404-82	спеціально усередненої проби соди	проб соди під час вибору видів пакування для стандартного зразка соди	проб соди під час поточного контролю виробництва на содових заводах			проб соди різних содових заводів
	партія 1	партія 2	партія 3								
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$S(\Delta)_i = 0,0729\% \quad f=60$	$S(\Delta)_i = 0,0737\% \quad f=60$								$S(\Delta) = 0,073\% \quad f=120$	d = 0,20 %
NaCl	$S(\Delta)_i = 0,0088\% \quad f=60$									$S(\Delta) = 0,0088\% \quad f=60$	d = 0,025 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		$S(\Delta)_i = 0,00033\% \quad f=114$	$S(\Delta)_i = 0,00052\% \quad f=115$	$S(\Delta)_i = 0,00062\% \quad f=26$	$S(\Delta)_i = 0,00033\% \quad f=37$	$S(\Delta)_i = 0,00031\% \quad f=60$				$\frac{S(\Delta)}{X} \cdot 100 = 13,8\% \quad f=352$	$\frac{d}{X} 100 = 35\%$
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>							$\frac{S(\Delta)_i}{X} 100 = 5,92\% \quad f=8$	$\frac{S(\Delta)_i}{X} 100 = 6,69\% \quad f=49$	$\frac{S(\Delta)_i}{X} 100 = 6,64\% \quad f=48$	$\frac{S(\Delta)}{X} \cdot 100 = 6,63\% \quad f=105$	$\frac{d}{X} 100 = 20\%$
Нерозчинні речовини						$S(\Delta)_i = 0,0060\% \quad f=24$			$\frac{S(\Delta)_i}{X} 100 = 10,6\% \quad f=42$	$\frac{S(\Delta)}{X} \cdot 100 = 9,50\% \quad f=66$	$\frac{d}{X} 100 = 25\%$

Ці різниці відбивають змінюваність систематичної складової похибки за досліджуваній термін часу, при заміні одного комплекту засобів вимірювальної техніки іншим, при заміні операторів (аналітиків), які виконують вимірювання.

За вибірками значень  $(\Delta C)_{ki}$  обчислювали значення статистичних оцінок систематичної похибки — математичного очікування  $\hat{M}(\Delta_c)_k$  цієї складової та її середнього квадратичного відхилення  $S(\Delta_c)_k$ .

За  $t$ -критерієм [13] перевіряли значущість (відмінність від нуля) значення оцінки  $\hat{M}(\Delta_c)_k$  у кожній групі результатів вимірювання кожного компонента. Перевіркою за критеріями Фішера та Бартлета (за  $\alpha=0,01$ ) доведено однорідність  $S(\Delta_c)_k$  чи  $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100$  різних груп даних для кожного компонента, що вимірювався. На цій підставі обчислили об'єднані оцінки характеристик систематичної складової похибок MBV —  $\hat{M}(\Delta_c)$  та  $S(\Delta_c)$ .

Границю систематичної похибки (її абсолютне чи відносне значення) знаходили за формулами

$$\theta = \left| \hat{M}(\Delta_c) \right| + t_{p,f} S(\Delta_c)$$

$$\frac{\theta}{X} 100 = \left| \frac{\hat{M}(\Delta_c)}{X} 100 \right| + t_{p,f} \frac{S(\Delta_c)}{X} 100,$$

де  $t_{p,f}$  — параметр розподілення Стюдента для числа ступенів свободи  $f$  та довірчої ймовірності  $P = 0,95$ .

Фактичні значення складових систематичної похибки вимірювань та її границь для кожної дослідженої MBV наведені у таблиці 2.

Гістограми розподілення систематичних складових похибок вимірювань масових часток  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та  $\text{NaCl}$  див. на рисунку 2 ( $\beta, \epsilon$ ).

### **Розрахунок характеристик сумарних похибок MBV**

Відповідно до ГОСТ 8.207 [12], за отриманими значеннями характеристик випадкової та систематичної похибок обчислили границі сумарної похибки методик. Як виявилось під час виконання розрахунків, для всіх методик, крім MBV масової частки  $\text{NaCl}$  у діапазоні від 0,5 % і вище (де домінує систематична складова похибки), сумарна похибка є композицією випадкової та систематичної складових. Значення коефіцієнта  $K$  (що залежить від співвідно-

**Таблиця 2 — Оцінки характеристик систематичної похибки методик ГОСТ 5100, отримані за даними аналізу стандартного зразка складу соди та інших проб соди**

Компонент	Математичні очікування та середні квадратичні відхилення систематичної похибки МВВ, отримані за даними аналізу						Об'єднані оцінки $\hat{M}(\Delta_c)$ , $S(\Delta_c)$	Значення границь систематичної похибки $\theta$		
	ГСО 2404-89п під час проведених досліджень з оцінювання похибок МВВ		ГСО 2404-89п під час між лабораторного аналізу			ГСО 2404-82 під час поточного контролю виробництва на содових заводах			ГСО 2404-82 під час між лабораторного аналізу	спеціально усередненої проби соди
	партія 1	партія 2	партія 1	партія 2	партія 3					
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>						$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,03 \%$ $S(\Delta_c)_k = 0,091 \%$ $f = 67$			$\hat{M}(\Delta_c) = 0$ $S(\Delta_c) = 0,084 \%$ $f = 95$	$\theta = 0,20 \%$
NaCl	$\hat{M}(\Delta_c)_k = -0,0014 \%$ $S(\Delta_c)_k = 0,0284 \%$ $f = 14$					$\hat{M}(\Delta_c)_k = 0$ $S(\Delta_c)_k = 0,0348 \%$ $f = 67$			$\hat{M}(\Delta_c) = 0$ $\frac{S(\Delta_c)}{X} 100 = 5,05 \%$ $f = 81$	$\frac{\theta}{X} 100 = 10,1 \%$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,00030 \%$ $S(\Delta_c)_k = 0,00035 \%$ $f = 27$	$\hat{M}(\Delta_c)_k$ не оцінювали $S(\Delta_c)_k = 0,00044 \%$ $f = 5$	$\hat{M}(\Delta_c) = +0,00030 \%$ $S(\Delta_c) = 0,00037 \%$ $f = 31$	$\frac{\theta}{X} 100 = 15,4 \%$	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,0006 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 19,6 \%$ $f = 8$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,0009 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 23,3 \%$ $f = 8$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,0001 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 13,3 \%$ $f = 9$		$\hat{M}(\Delta_c)_k = 0$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 6,0 \%$ $f = 11$	$\hat{M}(\Delta_c) = 0$ $\frac{S(\Delta_c)}{X} 100 = 16,1 \%$ $f = 36$	$\frac{\theta}{X} 100 = 32,9 \%$	
Нерозчинні речовини			$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,0003 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 27,0 \%$ $f = 9$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = +0,0005 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 29,4 \%$ $f = 8$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = 0$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 14,9 \%$ $f = 10$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = -0,0009 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 5,33 \%$ $f = 7$	$\hat{M}(\Delta_c)_k = -0,0015 \%$ $\frac{S(\Delta_c)_k}{X} 100 = 17,4 \%$ $f = 7$	$\hat{M}(\Delta_c) = 0$ $\frac{S(\Delta_c)}{X} 100 = 20,9 \%$ $f = 41$	$\frac{\theta}{X} 100 = 40 \%$	



шення випадкової та невиключеної систематичної похибки), оцінок  $S_{\Sigma}$  сумарного середнього квадратичного відхилення результату вимірювань та границь сумарної похибки методик дорівнюють:

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ :	$K = 1,81$	$S_{\Sigma} = 0,125 \%$	$\Delta = 0,23 \%$
$\text{NaCl}$ 0,2 % :	$K = 1,81$	$S_{\Sigma} = 0,0131 \%$	$\Delta = 0,023 \%$ ( $\frac{\Delta}{X}100 = 11 \%$ )
0,3 % :	$K = 1,79$	$S_{\Sigma} = 0,0185 \%$	$\Delta = 0,033 \%$ ( $\frac{\Delta}{X}100 = 11 \%$ )
0,4 % :	$K = 1,78$	$S_{\Sigma} = 0,0240 \%$	$\Delta = 0,042 \%$ ( $\frac{\Delta}{X}100 = 10 \%$ )
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :	$K = 1,85$	$\frac{S_{\Sigma}}{X}100 = 13,2 \%$	$\frac{\Delta}{X}100 = 25 \%$
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ :	$K = 1,77$	$\frac{S_{\Sigma}}{X}100 = 19,5 \%$	$\frac{\Delta}{X}100 = 35 \%$
нерозчинні речовини :	$K = 1,78$	$\frac{S_{\Sigma}}{X}100 = 25,3 \%$	$\frac{\Delta}{X}100 = 45 \%$

Границі сумарної похибки МВВ масової частки  $\text{NaCl}$  для діапазону концентрації від 0,5 % і вище, які відповідають границям систематичної похибки методики у цьому діапазоні вимірювань, складають  $\frac{\Delta}{X}100 = 10 \%$ . Це значення практично відповідає наведеним вище для іншого діапазону, й тому у документі на методику можна навести одне значення сумарної похибки методики.

Знайдені в цьому дослідженні значення характеристик складових похибки вимірювань масової частки  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  не тільки підтверджують висловлене в [11] твердження про “усунення при вимірюванні постійної систематичної похибки за способом протиставлення” (з  $\hat{M}(\Delta_c) = +0,30 \%$  до  $\hat{M}(\Delta_c) = 0$ ), а й фіксують ще й подальше суттєве зниження змінюваної частини систематичної похибки (з  $S(\Delta_c) = 0,18 \%$   $f=24$  [11] до  $S(\Delta_c) = 0,084 \%$   $f=95$ ). Це наочно свідчить про надійне забезпечення достатньої точності та стабільності характеристик процесу вимірювання в разі застосування створеного нами стандартного зразка складу соди кальцинованої технічної.

Отримані значення характеристик фактичних похибок досліджених методик слід внести до ГОСТ 5100 під час його чергового перегляду (при збереженні вимог щодо застосування стандартного зразка). У подальшому, за необхідності, на підставі розглянутих даних також можна обчислити відповідні оцінки невизначеності, передбачені [14].

---

## Література

1. ГОСТ 8.010-72 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений
2. ГОСТ 8.011-72 Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений
3. ГОСТ 5100-85 Сода кальцинированная техническая. Технические условия
4. Ивков А.Г., Книгавко И.П. Разработка стандартных образцов химического состава кальцинированной соды и бариевых солей // Химическая технология, 1984. - №3 (135). - С.10-12.
5. Ивков А.Г., Тюхтина М.В. Обеспечение единства и требуемой точности измерений параметров химического состава в аналитическом контроле содовой и смежных отраслей промышленности. 1. Воспроизведение и хранение размера единицы количества вещества в кислотно-основных измерениях. В кн.: Химия и технология производств основной химической промышленности // Труды НИОХИМ, т. 71. - Харьков, 1998. - С. 153-163.
6. ГОСТ 8.010-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений
7. МИ 1317-86 Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
8. Ивков А.Г. Методы определения характеристик погрешности измерений при аттестации и стандартизации методик анализа // Обзорн. инф. Сер.: "Содовая промышленность". - М.: НИИТЭХИМ, 1987. – 52 с.
9. Ивков А.Г. Применение стандартных образцов для оценки значений показателей точности измерений экспериментальным способом. В кн.: Всесоюзная научно-техническая конференция "Стандартные образцы в практической деятельности государственной и ведомственных метрологических служб" (Свердловск, 21-23 октября 1986 г.) // Тезисы докладов. - Свердловск, 1986. - С. 21-23.
10. Ивков А.Г. Исследование временной структуры погрешности количественного анализа // Журн. аналит. химии, 1987. - №5. - С.807-813.
11. Ивков А.Г., Тюхтина М.В. Исследование характеристик модели погрешности количественного анализа // Журн. аналит. химии, 1987. - №5. - С. 814-82.
12. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения
13. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. - М.: Физматгиз, 1960. – 472 с.
14. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. — ISO, Switzerland, 1993. — 101 p. (Див. також: Керівництво з вираження невизначеності у вимірюваннях / Автентичний пер. з англ. ХДНДІМ. – Харків: ХДНДІМ, 2002. – 114 с.).