

УДК 321.617

О. М. Васілевський¹, д.т.н., В. М. Дідич², к.т.н.

ГРАДУЮВАННЯ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГУМУСУ В ҐРУНТІ

¹Вінницький національний технічний університет, o.vasilevskyi@gmail.com,

²Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова

Запропоновано спосіб градуювання засобу вимірювання концентрації іонів на основі еталонних розчинів, що дозволяє отримувати статичні характеристики засобів вимірювання концентрації іонів калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту при використанні різних іон-селективних перетворювачів. Отримані електродні функції дозволяють виконувати вимірювання концентрації іонів складових елементів гумусу в ґрунті з підвищеною точністю та вносити коригування при відхиленні температури досліджуваного середовища від нормальних умов.

Вступ. Ґрунт, як будь-яке природне тіло біосфери, обов'язково вміщує в собі продукти життєдіяльності мікроорганізмів, які посилюють його родючість. Одним з таких найважливіших продуктів є гумус – специфічний органічний субстрат, який характеризує ґрунт в плані його потенційної родючості. Тому на сьогоднішній день актуальною є задача побудови градуювальних характеристик засобу вимірювання (ЗВ) концентрації (чи активності) іонів основних складових елементів гумусу в ґрунті з підвищеною точністю. Від складових елементів гумусу залежать і хімічна активність ґрунту, оскільки гумус утримує своїми хімічними зв'язками цілу низку дуже корисних для рослин живлячих речовин (амонійний азот, калій, нітратний азот, фториду та фосфату), і фізичні властивості ґрунту, такі як водопроникність, щільність, вологосмність, які напряду впливають на якість врожаю.

Існуючі ЗВ концентрації іонів дозволяють визначати концентрацію із похибкою (відносною непевністю вимірювання) 5 – 10 % за тривалий проміжок часу. При цьому в більшості випадків такими ЗВ є або дуже просте лабораторне обладнання, що не забезпечує потрібної точності аналізу, або дуже складне обладнання (спектрофотометричне, рентгеноструктурне, хроматографічне), яке є дуже дорогим. Тому розробка портативних ЗВ концентрації іонів та методики його калібрування з різними іон-селективними електродами, що дадуть змогу виконувати вимірювання концентрації іонів калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту з підвищеною точністю є метою даної статті.

Стан досліджень і публікацій. З літературних джерел [1 - 4] відомо, що найменшу методичну та інструментальну похибки має ЗВ концентрації іонів, побудований на основі перетворювача напруги в частоту (ПНЧ). Структурна схема такого ЗВ активності іонів представлена на рис. 1. До складу ЗВ активності іонів входять: іон-селективні перетворювачі (рX/U) та електрод порівняння (рX_c/U_c); операційні підсилювачі (А1 – А4) для забезпечення вимірювання як позитивно, так і негативно заряджених іонів (активність іонів рX_i = -lg a_i); мультиплексори (MX1 та MX2); ПНЧ (U_c/F_c і U/F) для перетворення потенціалів електроду порівняння U_c/F_c та іон-селективних електродів U/F в частоту; мікроконтролер (MC); рідинокристалічний дисплей (LCD); перетворювач рівнів напруги (RS232); вимірювальний канал (BK) температури, який складається з терморезистивного перетворювача, масштабного перетворювача (МП) та ПНЧ (рис. 1) [3].

Процедура градуювання полягає у вимірюванні потенціалу іон-селективного електроду у стандартних розчинах з відомим вмістом іону, активність якого вимірюється. Далі на основі отриманих результатів вимірювань будується статична характеристика. Концентрацію іонів у іонометрії прийнято виражати через величину рX, яка пов'язана з активністю іонів таким співвідношенням:

$$pX = -\lg a, \quad (1)$$

де a – активність вільних іонів, яка пов'язана з концентрацією виразом:

$$a = kC, \quad (2)$$

де C – молярна концентрація; k – коефіцієнт активності.

Постійність коефіцієнта активності k досягається при піддержанні однакової іонної сили в калібрувальних розчинах та розчинах, що аналізуються шляхом додання фонового електроліту. Кутовий коефіцієнт залишається постійним при умові, що температура не змінюється. Якщо дані умови не виконуються, то це призводить до збільшення похибки вимірювання [2].

Викладення основного матеріалу. Для вимірювання концентрації іонів фториду використовується фторид-селективний електрод. При цьому будується градуювальна характеристика залежності різниці потенціалів ΔU від активності чи концентрації еталонних розчинів з відомою концентрацією. Знаходження концентрації середовища, що аналізується, здійснюється за вимірними значенням різниці потенціалів.

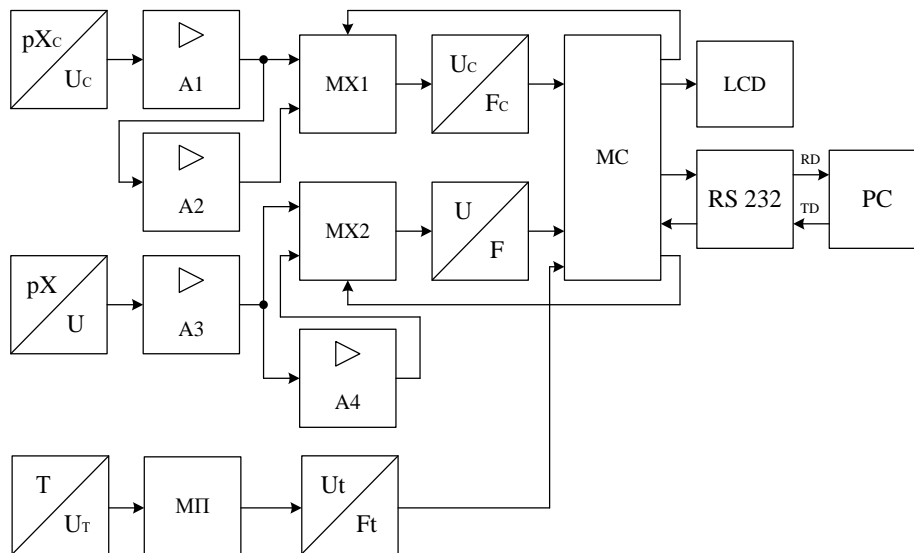


Рис. 1. Структурна схема ЗВ концентрації іонів

При калібруванні ВК активності іонів із фторид-селективним електродом ЭФ-У1 в парі з хлорсрібним допоміжним електродом ЭВЛ-1МЗ.1 отримано наступні експериментальні дані. Значення різниці потенціалів між вимірювальним і допоміжним електродами складало $\Delta U_1=142$ мВ при концентрації $C_{ct}=2,8 \cdot 10^{-3}$ М ($pF=2,55$) і температурі середовища, що аналізується 19°C . Оскільки фторид має заряд іону, що дорівнює мінус один, і температура відхиляється від 25°C , то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції фторидселективного електроду буде відрізнятись від загальноприйнятого стандартного значення і буде дорівнювати:

$$S = \frac{\alpha(273,16 + t)}{n} = \frac{198,4 \cdot 10^{-3}(273,16 + 19)}{-1} \approx -57,96 \text{ мВ/pF.} \quad (3)$$

Результати калібрування ВК активності іонів із фторид-селективним вимірювальним перетворювачем, що були отримані при використанні еталонних розчинів з концентраціями 2,55 pF, 2,86 pF ($\Delta U_2=124$ мВ), 3,16 pF ($\Delta U_3=106,6$ мВ) та 3,48 pF ($\Delta U_4=88,1$ мВ), наведено на рис. 2.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів фториду складає $\Delta_{max}=-0,02$. Тому зведену похибку вимірювання активності іонів фториду розрахуємо за формулою:

$$\gamma_F = \frac{|\Delta_{max}|}{|pX_{max} - pX_{min}|} 100\% , \quad (4)$$

де pX_{max} – верхня межа вимірювання ВК активності іонів, яка дорівнює 0,3; pX_{min} – нижня межа вимірювання ВК активності іонів, яка дорівнює 6.

Підставляючи значення абсолютної похибки вимірювання у рівняння (4) отримаємо зведену похибку ВК активності іонів фториду, яка складає 0,35%.

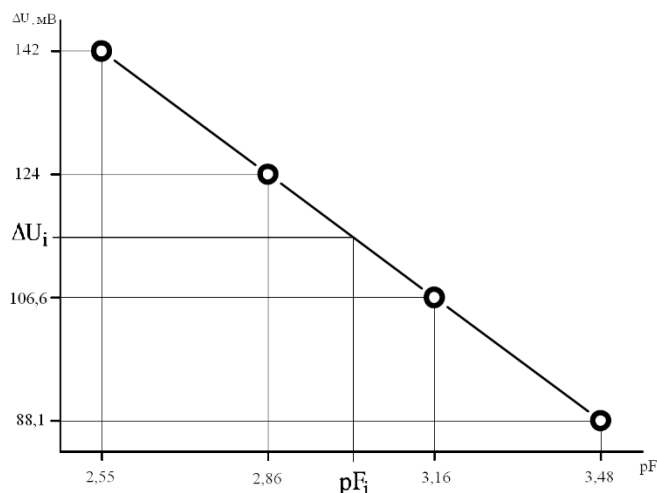


Рис. 2. Градувальна характеристика ВК активності іонів із фторид-селективним перетворювачем

Для калібрування ВК активності іонів калію готується головний еталонний розчин з вмістом 1 мг/мл K_2O . При цьому зважується на аналітичних вагах 1,583 г KCl , який поміщують мірну колбу з 1 л дистильованої води і доводять до мітки [5]. З цього еталонного розчину готують серію робочих розчинів. Для цього відміряють бюреткою головний еталонний розчин в мірні колби по 250 мл такі об'єми: 1,0; 1,85; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25,0 мл. Потім доводять до мітки укусно-кислим амонієм і перемішують. Ці значення відповідають таким концентраціям $C_{ст1} = 0,21 \cdot 10^{-3}$ (3,68 рК); $C_{ст2} = 0,39 \cdot 10^{-3}$ М (3,42 рК); $C_{ст3} = 0,53 \cdot 10^{-3}$ М (3,28 рК); $C_{ст4} = 1,05 \cdot 10^{-3}$ М (2,98 рК); $C_{ст5} = 2,11 \cdot 10^{-3}$ М (2,68 рК); $C_{ст6} = 3,16 \cdot 10^{-3}$ М (2,5 рК); $C_{ст7} = 4,21 \cdot 10^{-3}$ М (2,38 рК); $C_{ст8} = 5,26 \cdot 10^{-3}$ М (2,28 рК) K_2O на 1 л.

За серією робочих розчинів будують градувальну характеристику ВК активності іонів калію. В результаті калібрування ВК активності іонів калію отримано такі результати: для стандартної активності іонів калію 3,68 різниця потенціалів складає $\Delta U_1 = 4,75$ мВ і температура досліджуваного середовища на момент проведення експерименту дорівнює $22^\circ C$; при рК = 3,42 – різниця потенціалів складає $\Delta U_2 = 10,0$ мВ; при рК = 3,28 – різниця потенціалів складає $\Delta U_3 = 15,34$ мВ; при рК = 2,98 – різниця потенціалів складає $\Delta U_4 = 24,72$ мВ; при рК = 2,68 – різниця потенціалів складає $\Delta U_5 = 45,31$ мВ; при рК = 2,5 – різниця потенціалів складає $\Delta U_6 = 65,30$ мВ; при рК = 2,38 – різниця потенціалів складає $\Delta U_7 = 85,66$ мВ; при рК = 2,28 – різниця потенціалів складає $\Delta U_8 = 104,72$ мВ. Калібрувальна характеристика ВК активності іонів калію представлена на рис.3.

Оскільки калій має позитивний заряд іону, який дорівнює одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складає $22^\circ C$, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції калій-селективного електроду буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3), буде дорівнювати 58,16 мВ/рК.

Відповідно до літературних джерел [6 - 9], забезпеченість ґрунтів обмінним калієм (в мг K_2O на 100 г ґрунту) має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 1.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів калію складає $\Delta_{max} = +0,02$ рК, а зведена похибка вимірювання (відносна непевність вимірювання) [10] концентрації іонів калію, що розрахована за формулою (4) складає 0,35% в діапазоні від 6 до 0,3.

Таблиця 1 - Допуски активності іонів калію для найпоширеніших культур

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, Картопля	Овочеві культури
Дуже низька, Рк	<2,98	<2,68	<2,5
Низька, Рк	<2,68	<2,5	<2,38
Середня, Рк	2,68-2,5	2,5-2,38	2,38-2,28
Висока, Рк	>2,5	>2,38	> 2,28

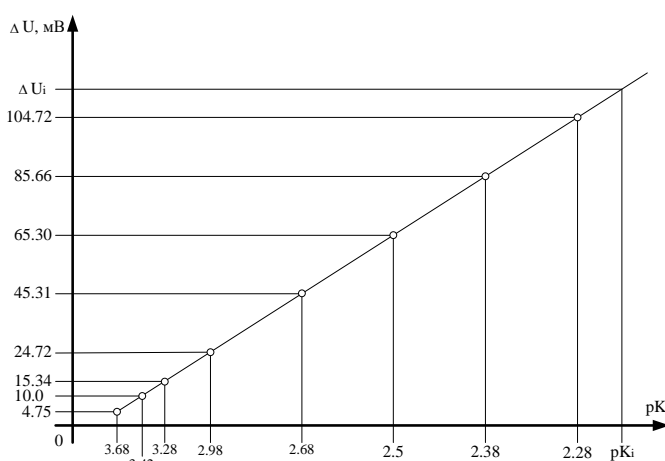


Рис. 3. Градувальна характеристика ВК активності іонів калію

Процедура калібрування ВК активності іонів нітратного азоту починається з приготування еталонних розчинів нітратного азоту. Для цього зважують 20 г повітряно-сухого ґрунту і поміщують в колбу на 250 мл, куди доливають 100 мл 0,05 % розчину K_2SO_4 . Цей вміст колби збовтують 3 хв. і відразу фільтрують за допомогою складчастого фільтру.

В залежності від очікуваного вмісту нітратів 10 – 50 мл створеного і описаного вище розчину наливають у фарфорову чашку на 100 мл і випаровують насухо на водяній бані. Одночасно в таких же фарфорових чашках випаровують 1, 2, 5, 10, 15, 20 і 40 мл еталонного робочого розчину, а також визначену кількість (10 – 50 мл) 0,05% розчину K_2SO_4 для холостого досліду.

Після випаровування чашкам дають повністю простигнути. Потім в кожну чашку додають по 1мл дисульфофенової кислоти. Сухий залишок на дні і стінках чашки ретельно розтирають з цією кислотою скляним пестиком. Чашки залишають в покої біля 10 хв, а потім в них наливають 15 мл дистильованої води. Суміш ретельно перемішують і доводять до лужної реакції 20 %-ним NaOH. Лужний розчин перестають додавати, якщо розчин набуває стійкого жовтого забарвлення. Забарвлений розчин через лійку (із складчастим фільтром) переносять в мірну колбу на 50 мл. Об'єм рідини доводять дистильованою водою до відмітки і добре розмішують. Таким чином, значення еталонних робочих розчинів будуть відповідати таким концентраціям $C_{ет1} = 0,01 \cdot 10^{-3}$ (5,0 pNO₃); $C_{ет2} = 0,02 \cdot 10^{-3}$ М (4,69 pNO₃); $C_{ет5} = 0,05 \cdot 10^{-3}$ М (4,3 pNO₃); $C_{ет10} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ М (4,0 pNO₃); $C_{ет15} = 0,15 \cdot 10^{-3}$ М (3,82 pNO₃); $C_{ет20} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ М (3,69 pNO₃); $C_{ет40} = 0,4 \cdot 10^{-3}$ М (3,39 pNO₃).

На основі створених еталонних розчинів проводять вимірювання активності іонів (концентрації) за допомогою розробленого ВК. Виміряні експериментальним шляхом потенціали еталонних розчинів нітратного азоту наведені в табл. 2.

Оскільки нітратний азот має негативно заряджений іон, валентність якого дорівнює мінус одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складала 20 °С, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і у відповідності з рівнянням (3), буде дорівнювати -58,16 мВ/pNO₃.

На основі створених еталонних розчинів та відповідних їм вимірних потенціалів побудовано калібрувальну характеристику ВК активності іонів нітратного азоту, яка зображена на рис. 4.

Таблиця 2 - Шкала еталонних розчинів та відповідні їм потенціали

№ колб	1	2	3	4	5	6	7
Еталонний розчин, мл	1	2	5	10	15	20	40
Еталонна активність іонів, pNO ₃	5	4,69	4,3	4	3,82	3,69	3,39
Вимірне значення різниці потенціалів, мВ	300,72	268,86	235,82	202,78	171,51	138,70	106,49

Калібрувальна характеристика (рис. 4), що побудована для ВК активності іонів нітратного азоту прошивається у мікроконтролер, який на основі значення вимірюваної температури і визначеної крутизни та побудованої лінійної залежності автоматично визначає вміст у тому чи іншому середовищі активність іонів нітратного азоту в діапазоні від 0,3 до 6 pNO₃.

Відповідно до стандарту [11], забезпеченість ґрунтів нітратним азотом має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Допуски концентрації іонів нітратного азоту

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька, мг/кг	<15	<20	<40
Низька, мг/кг	<20	<40	<60
Середня, мг/кг	20-40	40-60	60-100
Висока, мг/кг	>40	>60	>100

На основі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна абсолютна похибка вимірювання активності іонів нітратного азоту складає $\Delta_{max} = 0,02$ [pNO₃], а зведена похибка вимірювання активності іонів нітратного азоту складає 0,35 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [pNO₃].

Процедура калібрування ВК активності іонів амонійного азоту починається з відбору 10 г ґрунту, який кладуть в колбу на 250 мл і заливають його 100 мл 2 % розчину KCl. Колби трусять на протязі

однієї години. Після чого вміст колби фільтрується. Потім відфільтрований розчин в розмірі 4 – 5 мл наливають в мірну колбу на 50 мл, до якого додають дистильовану воду приблизно 40 мл, після якої додають 2 мл сегнетової солі і добре перемішують.

Еталонні розчини готуються шляхом розливу вище описаного розчину (робочого еталонного розчину) в мірні колби на 50 мл по: 0,1; 0,2; 1; 2; 5; 10; 15; і 20 мл. Далі в приготуванні зразкові розчини додають 40 мл дистильованої води і 2 мл сегнетової солі, після чого такий вміст добре перемішують.

Потім готується запасний еталонний розчин. Для цього зважують на аналітичних вагах 0,382 г хімічної частки NH_4Cl , який кладуть в мірну колбу на 1 л, розчиняють дистильованою водою до мітки. Такий запасний зразковий розчин має 0,1 мг NH_4 на 1 мл.

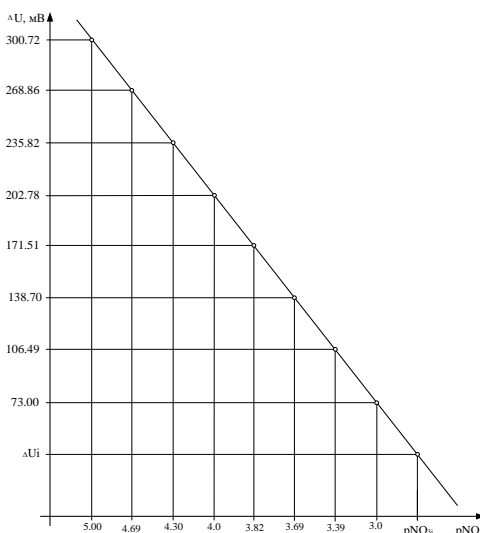


Рис. 4. Градувальна характеристика ВК активності іонів нітратного азоту

Робочий еталонний розчин отримують шляхом розбавлення запасного зразкового розчину в 10 раз. Тобто робочий еталонний розчин вміщує 0,01 мг NH_4 в 1мл. Цей розчин використовується для приготування шкали еталонних розчинів, яку можна подати у вигляді табл. 4. Виміряні експериментальним шляхом потенціали еталонних розчинів амонійного азоту за допомогою розробленого ВК активності іонів амонійного азоту також наведені в табл. 4.

Оскільки амонійний азот має позитивно заряджений іон, який дорівнює одиниці, а виміряна температура при проведенні досліджень складала $20\text{ }^\circ\text{C}$, то кутовий коефіцієнт нахилу електродної функції відрізняється від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3) складає $58,16\text{ мВ}/\text{pNH}_4$.

На основі створених еталонних розчинів та відповідних їм вимірних потенціалів побудовано калібрувальну характеристику ВК, яка зображена на рис. 5.

Відповідно до стандарту [8], забезпеченість ґрунтів амонійним азотом має відповідати нормам (допускам), які наведені в табл. 5.

Перерахунок масової концентрації мг на 50 мл, що наведена в табл. 4, в активність іонів здійснюється автоматично мікроконтролером за формулою [12]

$$C_m = M \cdot 10^{-pX}, \quad (5)$$

де C_m – концентрація, г/дм³; M – молярна маса іона, г/моль.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що значення максимальної абсолютної похибки вимірювання активності іонів амонійного азоту складає $\Delta_{\text{max}}=0,03$ [pNH₄], а зведена похибка вимірювання активності іонів амонійного азоту складає 0,53 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [pNH₄].

Процедура градування ВК концентрації іонів фосфату починається з відбору 4 г повітряно-сухого ґрунту, який кладуть в колбу на 250 мл і заливають його 100 мл 0,5 н розчину CH_3COOH . Перемішують ротатором дві години і фільтрують через складчастий фільтр. Перші порції відфільтрованого розчину (5 мл) відкидають, для того щоб звільнитися від домішок. Потім відфільтрований розчин в розмірі 5 – 20 мл наливають в мірну колбу на 100 мл, до якого додають дистильовану воду приблизно до 90 мл, після якої додають 4 мл 2,5 % розчину молибденово-кислого амонія в сірчаній кислоті і добре перемішують. Далі додають в колбу 6 крапель свіжоприготовленого розчину двохлористого олова SnCl_2 , потім додають дистильовану воду до відмітки і ще раз добре перемішують 4-х кратним перевертанням колби.

Таблиця 4 - Шкала еталонних розчинів та відповідні їм потенціали

№ колб	1	2	3	4	5	6	7	8
Еталонний розчин, мл	0,1	0,2	1	2	5	10	15	20
Концентрація еталонного розчину, $C_{ет} NH_4$ в 50 мл	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20
Еталонна активність іонів NH_4	6	5,69	5	4,69	4,3	4	3,82	3,69
Вимірне значення різниці потенціалів, мВ	15,93	35,10	54,75	74,15	93,21	111,56	131,39	149,57

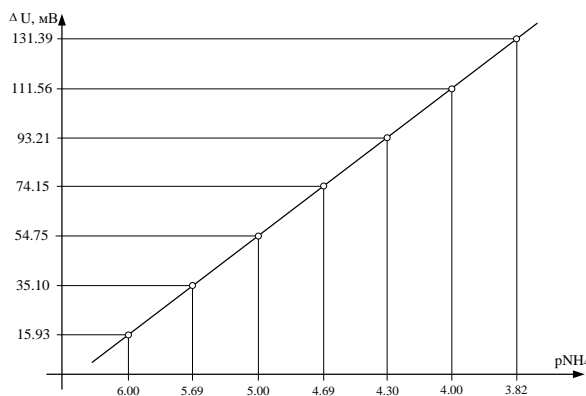


Рис. 5. Градувальна характеристика ВК активності іонів амонійного азоту

Таблиця 5 - Допуски активності іонів амонійного азоту

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, Картопля	Овочеві культури
Дуже низька, pNH_4	< 4,69	< 4,3	< 4
Низька, pNH_4	< 4,3	< 4	< 3,82
Середня, pNH_4	4,3 – 4	4 – 3,82	3,82 – 3,69
Висока, pNH_4	> 4	> 3,82	> 3,69

Для приготування шкали еталонних розчинів спочатку готують головний еталонний розчин, для цього розчиняють 0,1917 г х. ч. KH_2PO_4 в мірній літрової колбі і отримують розчин із вмістом 0,1 мг P_2O_5 в 1 мл. З цього розчину готують робочий еталонний розчин, розбавивши дистильованою водою головний розчин в 50 раз. При цьому утворюється робочий розчин, який вміщує 0,002 мг P_2O_5 в 1 мл.

Таблиця 6 - Шкала еталонних розчинів фосфату та відповідні їм потенціали

№ колб	1	2	3	4	5	6	7
Еталонний розчин, мл	2	5	10	20	30	40	50
Концентрація еталонного розчину, $C_{ет} P_2O_5$, мг в 100 мл	0,004	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,1
Еталонна активність іонів фосфатів, P_2O_5	5,4	5,0	4,7	4,4	4,3	4,09	4,0
Вимірне значення різниці потенціалів, мВ	20,00	23,94	27,89	31,63	35,58	39,54	43,51

Для приготування шкали еталонних розчинів беруть серію мірних колб на 100мл і бюреткою відмірюють в них 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 мл робочого еталонного розчину фосфору, в результаті чого отримують шкалу з концентраціями, відповідно: 0,004; 0,01; 0,02; 0,04; 0,05; 0,08; 0,1 мг в 100 мл. Всі наступні операції додавання реактивів такі ж самі, як і з досліджуваними розчинами, тобто

добавляють дистильовану воду 90 мл, добавляють 4 мл, 2,5 % розчину молібденово-кислого амонія в сірчаній кислоті, перемішують, добавляють 6 капель SnCl_2 , доводять до відмітки і ще раз перемішують.

Виміряні експериментальним шляхом потенціали та відповідні їм концентрації робочих еталонних розчинів фосфору, за допомогою розробленого ВК активності іонів фосфату, наведені в табл. 6. Визначення вмісту фосфору в мг/100 г ґрунту в досліджуваних розчинах здійснюється за калібрувальною характеристикою ВК активності іонів фосфатів, або перераховується за формулою (5).

Оскільки фосфор має позитивно заряджені іони, валентність якого дорівнює 5-ти, а виміряна температура при проведенні досліджень складала $20\text{ }^\circ\text{C}$, то кутовий коефіцієнт нахилу фосфат-селективної електродної функції буде відрізнятися від загальноприйнятого стандартного значення, і відповідно до рівняння (3) буде дорівнювати $+1,63\text{ мВ/рР}_2\text{O}_5$.

На основі створених робочих еталонних розчинів та відповідних їм вимірних потенціалів побудовано характеристику ВК активності іонів фосфату, що зображена на рис. 6.

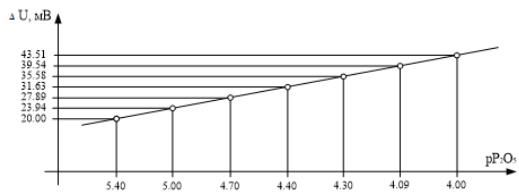


Рис. 6. Градувальна характеристика ВК активності іонів фосфату

Відповідно до стандарту [13], забезпеченість ґрунтів фосфатами має відповідати нормам (допускам) [14-26], які наведені в табл. 7.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що значення максимальної абсолютної похибки вимірювання активності іонів фосфату складає $\Delta_{\text{max}} = -0,04\text{ [рР}_2\text{O}_5]$, а зведена похибка

вимірювання (відносна непевність) концентрації іонів фосфату складає 0,7 % в діапазоні вимірювання від 6 до 0,3 [рР₂O₅].

Таблиця 7 - Допуски активності іонів фосфату в ґрунтах

Забезпеченість	Зернові, лен, трави	Корнеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька, рР ₂ O ₅	< 5,4	< 5,0	< 4,7
Низька, рР ₂ O ₅	< 5,0	< 4,7	< 4,4
Середня, рР ₂ O ₅	5,0 – 4,7	4,7 – 4,4	4,3 – 4,09
Висока, рР ₂ O ₅	> 4,4	> 4,3	> 4,0

Висновки. Запропоновані способи градування ЗВ концентрації іонів фториду, калію, фосфату, амонійного і нітратного азоту дозволяють отримувати електродні функції на основі еталонних розчинів відповідних іонів, виконувати вимірювання різниці потенціалів цих розчинів та контролювати допустимі значення концентрації іонів складових елементів гумусу в ґрунті. На основі запропонованих способів побудовано експериментальні статичні характеристики ВК активностей іонів складових елементів гумусу в ґрунті, які дозволяють проводити вимірювання із максимальною зведеною похибкою (відносною непевністю вимірювання), що не перевищує 0,7 % в діапазоні від 6 до 0,3 рХ.

Список використаних джерел

1. Датчики измерительных систем / [Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.]; под ред. А.С. Обухова. – [Кн. 2]. – М.: Мир, 1992. – 424 с.
2. Васілевський О. М., Дідич В. М. Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю : [монографія]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 176 с.
3. Дідич В.М., Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Потенціометричні засоби вимірювання активності іонів складових елементів гумусу в ґрунті // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – №5. – 2008. – С. 5 – 10.
4. Vasilevskiy O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty // International Journal of Metrology and Quality Engineering. - 2014. - Volume 5. - Issue 04. - 403.
5. Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой: ГОСТ 26210-91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 4 с.
6. Христенко А.А., Бурлакова Л.Н., Корецкая Л.К. Оценка методов определения содержания подвижных соединений азота, фосфора и калия в почвах // Почвоведение. – №4. – 2008. – С. 96 – 104.
7. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 9 – 13.
8. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів : [навчальний посібник]. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 129 с.

9. Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4290-2004. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 14 с.
10. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : [підручник]. - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.
11. Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н.Соколовського: ДСТУ 4727-2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 17 с.
12. Дідич В.М., Поджаренко В.О., Васілевський О.М. Калібрування фторидселективного електрода методом градуувального графіка : *наукові праці конф., 14 – 16 жовтня 2008 р., Харків*. Т. 1. – Харків: Нац. науковий центр «Інститут метрології», 2008. – С. 92 – 94, VI, [1] с. – (Метрологія – 2008).
13. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова: ДСТУ 4115-2002. – К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. – 6 с. – (Національний стандарт України).
14. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів : [навчальний посібник]. - Вінниця : ВНТУ, 2012. – 160 с. - ISBN 978-966-641-535-9.
15. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювань. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 87 с.
16. Vasilevskyi O.M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty // *Technical Electrodynamics*. – 2014. - № 6. - pp. 81-88.
17. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [навчальний посібник]. - Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. – ISBN 978-966-641-348-5.
18. O. Vasilevskyi, V. Kucheruk, V. Bogachuk K. Gromaszek, W. Wójcik, S. Smailova, N. Askarova, The method of translation additive and multiplicative error in the instrumental component of the measurement uncertainty // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10031. – 2016. - art. no. 1003127. - DOI: 10.1117/12.2249195.
19. Васілевський О.М. Статистичні методи виявлення систематичних похибок вимірювань // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. - 2012. - № 1. - С. 9 - 12.
20. Сопрунюк П. М., Василевский А. Н., Чабанюк Ю. А. Неопределенность результатов измерений при контроле асинхронности вращения электромеханических преобразователей // *Системаи обробки інформації*. – 2006. – №7 (56). – С. 72 – 75.
21. Васілевський О.М., Дідич В.М. Оцінювання міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2018. - № 2. – С. 24 - 30.
22. Vasilevskyi O. M. Advanced mathematical model of measuring the starting torque motors // *Technical Electrodynamics*. – 2013. - № 6. – С. 76-81.
23. Vasilevskyi O. M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy // *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia*. – 2012. – № 73. – p. 52-56.
24. Васілевський О. М. Дослідження метрологічних характеристик засобу вимірювання моменту інерції роторів електромоторів // *Вісник Національного авіаційного університету*. – 2013. – № 2 (55). – С. 62 – 67.
25. Podzharenko V. O., Vasilevskyi O. M. Diagnostics of technical condition of electromechanical systems for the logarithmic decrement // *Proceedings of Donetsk National Technical University*. – 2005. – 88. – p. 138-144.
26. Поджаренко В. О., Дідич В. М., Васілевський О. М. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумусу в ґрунті // *Вісник національного університету „Львівська політехніка”*. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. - № 639. - С. 51 – 54.