

УДК 621.3.083.1:631.415

І.С. Лактіонов (канд. техн. наук)

Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ
кафедра електронної техніки
E-mail: ivanlaktionov88@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЧА ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛИЧНИХ ҐРУНТІВ З КОМПЕНСАЦІЄЮ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ

Розроблено програму та методику метрологічної атестації макетного зразка вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів з компенсацією дестабілізуючих впливів. На підставі розробленої методики проведено лабораторні випробування реалізованого комп'ютеризованого вимірювача. У результаті отримано емпіричні характеристики перетворення досліджуваного вимірювача та оцінено його основні метрологічні показники. Експериментально перевірено теоретичні моделі щодо способів та алгоритмів компенсації взаємних дестабілізуючих впливів вимірюваних параметрів (вологість, кислотність і температура) тепличних ґрунтів на показники точності реалізованого вимірювача. Оцінено ефективність досліджуваного вимірювача шляхом розрахунку можливого значення приросту врожайності теплиць від підвищення його точності. Обґрунтовано рекомендації щодо пріоритетних напрямків подальших досліджень розробленого комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів.

Ключові слова: вимірювач, експериментальні дослідження, тепличний ґрунт, фізичні параметри, дестабілізуючі впливи.

Актуальність задачі дослідження. Сільське господарство належить до базових, життєзабезпечуючих галузей, стан та ефективний розвиток яких безпосередньо впливає на функціонування всієї національної економіки. Однією з ключових проблем агропромислового виробництва України досі є низький ступінь освоєння підприємствами сучасних інноваційних технологій, через що в галузі автоматично унеможливується процес зниження собівартості сільськогосподарської продукції та зростання її якості, які б відповідали міжнародним стандартам. На підприємствах агропромислового комплексу працюють близько 20 % зайнятого населення і виробляється 10 – 15 % ВВП країни. Модернізація аграрних підприємств із захищеними ґрунтами, до яких безпосередньо відносяться промислові теплиці, є необхідною умовою задля стимулювання темпів зростання показників агропромислових виробництв. Із аналізу показників зрошування культур на закритих ґрунтах встановлено, що особливого значення набувають питання вивчення впливу фізичних параметрів закритих ґрунтів на показники акліматизації та селекції тепличних культур, що сприяє виробленню наукового підходу до обґрунтування агротехнічних прийомів щодо догляду за флорою і, як результат, покращенню врожайності промислових теплиць. Існуючі методи й засоби вимірювання показників закритих ґрунтів не забезпечують достатній рівень точності та періодичності вимірювань у виробничих умовах. Одним із можливих шляхів підвищення ефективності тепличних комплексів є впровадження інформаційно-вимірювальних систем фізичних параметрів ґрунтів, які відповідають сучасним тенденціям розвитку науки і техніки, задля підвищення врожайності українських аграрних підприємств із закритими ґрунтами.

Локалізація задачі дослідження. Метою цієї роботи є оцінка показників точності та ефективності розробленого у попередніх роботах автора [1–5] макетного зразка комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів ґрунтів промислових теплиць з компенсацією

впливів дестабілізуючих факторів за рахунок лабораторних випробувань реалізованого вимірювача та подальшому аналізі отриманих емпіричних даних. Задля досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні задачі:

- розробка програми та методики метрологічної атестації макетного зразка комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів;
- проведення натурних випробувань апаратно-програмної реалізації заявленого вимірювача в умовах максимально наближених до експлуатаційних;
- оцінка метрологічних характеристик багатоканального вимірювача кислотності, вологості та температури тепличних ґрунтів;
- розрахунок можливого приросту врожайності промислових теплиць від підвищення точності комп'ютеризованого вимірювача за рахунок реалізації комплексних вимірювань групи фізичних показників тепличних ґрунтів з компенсацією дестабілізуючих впливів.
- обґрунтування рекомендацій щодо пріоритетних напрямків подальших досліджень комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів задля вдосконалення технологічного процесу вирощування інтродукованих культур на закритих ґрунтах.

Результати досліджень. На підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень, які отримано в попередніх роботах автора [1–7], висунуто ряд вимог до досліджуваного комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів:

- вимірювальний канал кислотності повинен забезпечувати сумарну абсолютну похибку вимірювання в діапазоні від 5 до 8 од., не більше $\pm 0,2$ од.;
- вимірювальний канал вологості повинен забезпечувати сумарну абсолютну похибку вимірювання в діапазоні від 30 до 90 %, не більше ± 5 %;
- вимірювальний канал температури повинен забезпечувати сумарну абсолютну похибку вимірювання в діапазоні від 10 до 30 °C, не більше $\pm 0,3$ °C;

На підставі аналізу обґрунтованих технічних вимог з урахуванням розроблених алгоритмів функціонування [8] заявленого вимірювача реалізовано апаратну та програмну складові макетного зразка комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів ґрунтів промислових теплиць із компенсацією дестабілізуючих впливів. Апаратна складова макетного зразка досліджуваного вимірювача містить наступні функціональні вузли та блоки:

- 1) аналогова складова вимірювача вологості ґрунтів, який складається з:
 - генератора двохполярних прямокутних імпульсів типу меандр з амплітудою ± 5 В та дискретно-регульованою частотою від 200 Гц до 2 кГц; внутрішній опір генератора становить 200 ± 5 Ом при зміні опору навантаження від 50 Ом до 1 кОм; генератор прямокутних імпульсів виконано на базі мультівібратора на операційному підсилювачі за схемою із заземленим навантаженням;
 - чотирьохелектродної кондуктометричної комірки з максимальним розносом живильних електродів – 1 м та глибиною занурення – 0,5 м;
 - перетворювачів діючих значень е.р.с. генератора сигналу (E_T) та падіння напруги між прийомними електродами (U_{MN}) в еквівалентне постійне (RMS-to-DC converter) на базі мікросхеми AD736JNZ;
 - функціональних перетворювачів на базі мікросхеми AD820ANZ;
- 2) аналоговий вимірювач кислотності ґрунту, який складається з:
 - комбінованого скляного рН-електрода типу ЭСК-10601/7;
 - інструментального підсилювача на базі мікросхеми AD620ANZ;
 - пристрою, що масштабує, на базі мікросхеми AD820ANZ;
- 3) вимірювач температури ґрунту на базі платинового дротяного терморезистору класу допуску AA-W0,1-F0,1 з максимальною абсолютною похибкою $\pm 0,11$ °C у робочому діапазоні зміни температури від 10 до 30 °C [9], який увімкнено за мостовою схемою;
- 4) високошвидкісний мультиплексор аналогових сигналів типу ADG507AKNZ;
- 5) чотирьохканальний аналого-цифровий перетворювач на базі мікропроцесорного

модуля Arduino Leonardo [10].

Розроблена апаратна складова макетного зразка вимірювача містить вимірювальні канали (БК) вологості в робочому діапазоні від 30 до 90 %, кислотності в робочому діапазоні від 5 до 8 од. та температури тепличних ґрунтів у робочому діапазоні від 10 до 30 °С. Структурну схему макетного зразка вимірювача, що метрологічно атестується, наведено на рис. 1.

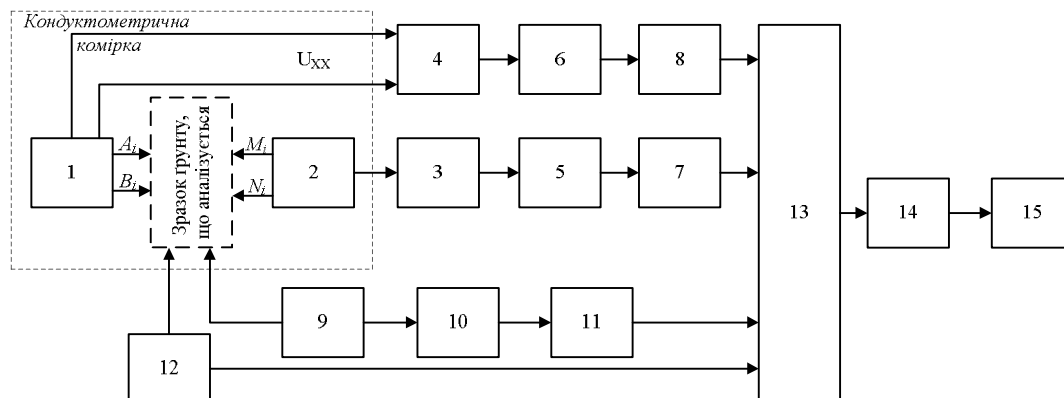


Рисунок 1 – Структурна схема макетного зразка вимірювача параметрів тепличних ґрунтів

В якості вхідних блоків (1 і 2) для вимірювального каналу (БК) вологості ґрунту використано чотирьохелектродну кондуктометричну комірку, що складається з двох пар живильних (A_1 і B_1 та A_2 і B_2) та прийомних (M_1 і N_1 та M_2 і N_2) електродів, що по чергово вмикаються, діаметром 0,8 мм та довжиною 500 мм, які виконано з нержавіючої сталі марки 1Х18Н9Т. Матеріал електродів обрано виходячи з умови мінімізації впливу окислювально-відновлювальних реакцій, а геометричні параметри задовольняють умові «точкового джерела енергії» [11]. Далі виконуються процедури аналогових перетворень діючих значень E_T та U_{MN} (блоки 3 і 4) у еквівалентні постійні задля зменшення інструментальної похибки вимірювача. Після чого виконуються процедури фільтрації (блоки 5 і 6) та функціонального перетворення відповідних вихідних сигналів (блоки 7 і 8).

Вхідним блоком (9) БК кислотності ґрунту є скляний комбінований рН-електрод ЭСК-10601/7 з координатами ізопотенційної точки в середині робочого діапазону: $pH_i=6,7$ од.; $E_i=18$ мВ. Вихідний сигнал сенсору рН у вигляді е.р.с. подається на вхід фільтру нижніх частот (блок 10), після чого сигнал поступає на вхід функціонального перетворювача (блок 11) для узгодження сенсора з навантаженням і уніфікації вимірюваної напруги від 0 до 5 В.

Вимірювальний канал температури ґрунту (блок 12) реалізовано на базі мостової схеми включення із використанням дротяного терморезистора.

Вихідні сигнали БК вологості, кислотності та температури поступають до відповідних входів мультіплексора (13). Після чого вихідні напруги відповідних вимірювальних каналів системи перетворюються в еквівалентні двійкові кодові комбінації (блок 14) за допомогою 10-розрядного внутрішнього АЦП Arduino Leonardo. Завершальним етапом отримання інформації щодо комплексу фізичних параметрів тепличних ґрунтів є обчислення значень вологості, кислотності й температури в одиницях вимірюваних величин. Цю операцію реалізовано в програмному блоці вимірювача в NI LabView 2012 (блок 15).

На підставі аналізу результатів попередніх досліджень [1, 3] було обґрунтовано вимоги до функціонального забезпечення досліджуваного комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів, що дозволило сформулювати сукупність вимоги до програмного блоку макетного зразка вимірювача, які полягають у наступному:

- знаходження середніх за часом значень пакетів кодових комбінацій еквівалентних значенням фізичних параметрів, що детектуються, з урахуванням виявлених та усунених грубих похибок;

- обчислення значень цифрових сигналів у одиницях вимірювання фізичних величин;
- обчислення необхідних поправок щодо результатів вимірювань із подальшою функціональною корекцією значень кислотності й вологості ґрунту;
- візуалізація та збереження вимірювальної інформації щодо поточних значень параметрів тепличних ґрунтів із регламентованою періодичністю;
- розрахунок поточного та прогнозованого значень індексу фізичного стану тепличного ґрунту на підставі запропонованого інтегрального показника.

Програмну складову макетного зразка досліджуваного вимірювача реалізовано на мові програмування високого рівня в середовищі NI LabView 2012 із використанням компоненти LabView Runtime Engine. Блок-схема розробленої програмної компоненти вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів, яку наведено на рис. 2, складається з чотирьох функціональних блоків, що являють собою програмні засоби обробки інформації від вимірювальних каналів вологості, кислотності та температури, а також блоку обчислення, накопичення та екстраполяції вимірювальної інформації щодо комплексу фізичних параметрів.

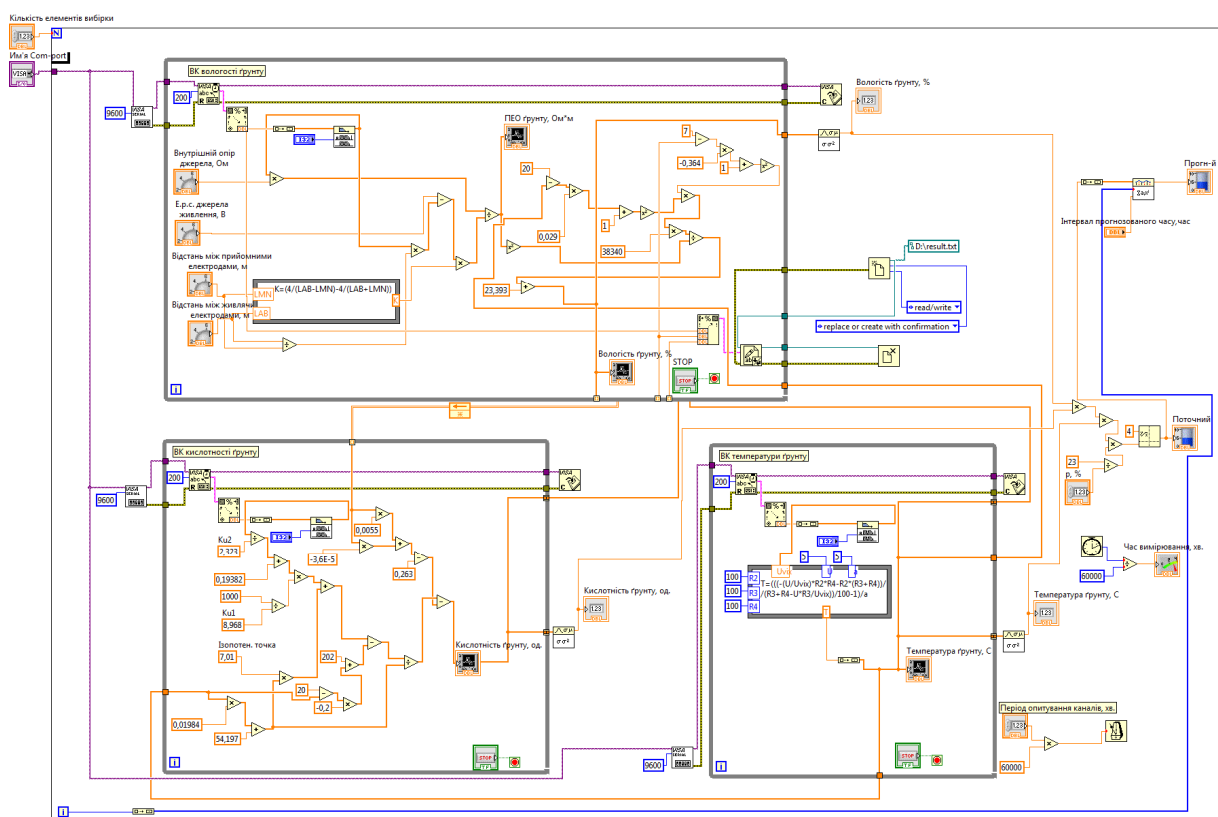


Рисунок 2 – Блок-схема програмної компоненти комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів

Інтерфейс реалізованої програмної компоненти вимірювача, який наведено на рис. 3, складається з блоків управління та індикації. Блок управління дозволяє виконувати початкові налаштування вимірювача в ергономічній формі, а також достроково переривати вимірювальний процес у разі виникнення помилки. Блок індикації призначено для візуалізації поточної й прогнозованої інформації щодо комплексу фізичних параметрів та індексу фізичного стану тепличних ґрунтів у режимі реального часу. Отже, розроблена програмна складова апаратно-програмної реалізації макетного зразка вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів дозволяє реєструвати, обробляти, відображати й накопичувати вимірювальну інформацію щодо вологості, кислотності та температури закритих ґрунтів у виробничих умовах селекційних комплексів та репродукційних теплиць.

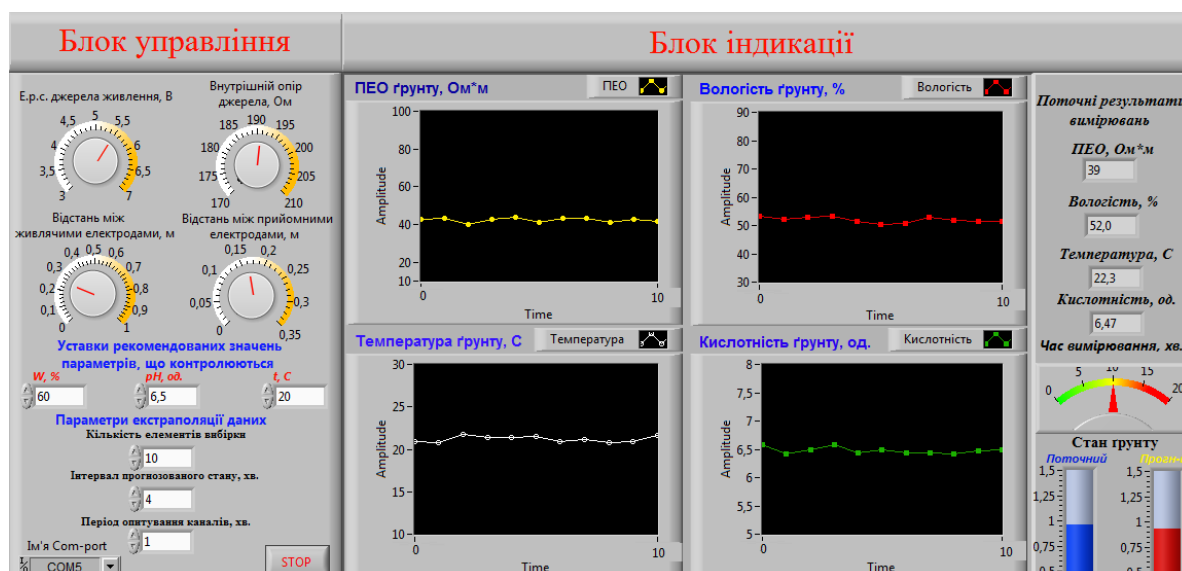


Рисунок 3 – Інтерфейс програмної компоненти вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів. Результат вимірювання

Процес інтеграції апаратної та програмної складових макетного зразка комп'ютеризованого вимірювача дозволяє виконувати комплексні вимірювання параметрів тепличних ґрунтів із компенсацією взаємних впливів дестабілізуючих факторів в on-line режимі.

Лабораторні випробування макетного зразка вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів щодо визначення його метрологічних характеристик проводилися в умовах виробничо-технологічної лабораторії ТОВ «ФІДЛАЙФ» та спеціалізованих лабораторій кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» на зразках ґрунтів, які попередньо доведені до повітряно-сухого стану.

Характеристики перетворення ВК вологості тепличних ґрунтів визначалися шляхом детектування діючих значень напруги між прийомними електродами кондуктометричної комірки та е.р.с. генератора прямокутного сигналу при заздалегідь встановленому рівні вологості зразка ґрунту за рахунок додавання дистильованої води. Результати лабораторних випробувань розробленого макетного зразка на предмет встановлення характеристики перетворення за вологістю, які наведено на рис. 4, проводились на різних глибинах (h) занурення електродів (див. рис. 4а) – 10, 25, 45 см та відстанях між живильними електродами (l_{AB}) (див. рис. 4б) – 0,3; 0,6; 0,9 м; частота проходження імпульсів – 1200 ± 5 Гц; внутрішній опір джерела – 200 ± 5 Ом; прийомні електроди розміщувались в середній третині відстані l_{AB} . Характеристика перетворення ВК кислотності тепличних ґрунтів, яку наведено на рис. 5, визначалась у ґрунтовому фільтраті шляхом вимірювання постійного значення напруги за встановленого необхідного рівня кислотності в робочому діапазоні від 5 до 8 од. З метою визначення характеристик перетворення макетного зразка вимірювача за вологістю та кислотністю проведено розрахунки дійсних значень інформативних фізичних параметрів та відповідних вихідних напруг вимірювальних каналів у кожній досліджуваній точці за умови термостатування зразків та обладнання ($t=20$ °C). Абсолютні значення відповідних середньоквадратичних похибок обчислювалися за формулами:

$$\begin{cases} \sigma[\Delta W_{оч.}] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (W_i - W_i^*)^2} \\ \sigma[\Delta pH_{оч.}] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (pH_i - pH_i^*)^2} \end{cases} \quad (1)$$

де W_i – дійсне значення вологості ґрунту, %; W_i^* – математичне очікування значення вологості ґрунту, що розраховане за характеристикою перетворення в i -й точці діапазону, %; pH_i – дійсне значення кислотності ґрунту, од.; pH_i^* – математичне очікування значення кислотності, що розраховане за характеристикою перетворення в i -й точці діапазону, од.

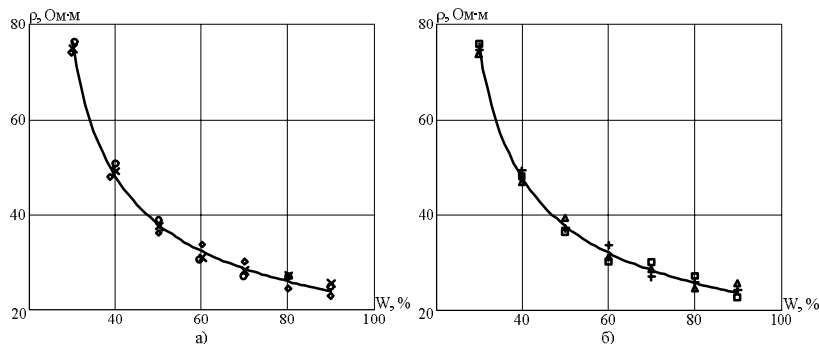


Рисунок 4 – Характеристика перетворення за вологістю за нормальних умов

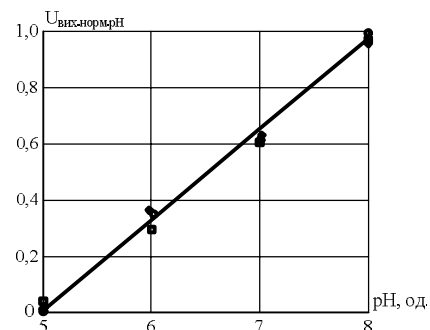


Рисунок 5 – Нормована характеристика перетворення за кислотністю за нормальних умов

З метою перевірки алгоритму компенсації взаємних дестабілізуючих впливів факторів вологості та кислотності на відповідні результати вимірювань знято сімейства статичних характеристик перетворення виду: $W=f(p, pH)$ та $pH=\varphi(U_{\text{вих.рН}}, W)$, які наведено у табл. 1 і 2, відповідно. Під час лабораторних випробувань на предмет встановлення конкретного виду функції $W=f(p, pH)$, що враховує дестабілізуючий вплив фактору зміни кислотності на результат вимірювання вологості ґрунту, було підготовлено набори проб з показниками рН: $(5 \pm 0,2)$ од.; $(6 \pm 0,2)$ од.; $(7 \pm 0,2)$ од.; $(8 \pm 0,2)$ од. Під час проведення натурних випробувань макетного зразка вимірювального каналу кислотності тепличних ґрунтів щодо встановлення конкретного виду функції $pH=\varphi(U_{\text{вих.рН}}, W)$, що враховує дестабілізуючий вплив фактору зміни наявного вмісту води в зразках ґрунтів, було підготовлено набір ґрунтових суспензій із показниками вологості від (10 ± 1) % до (90 ± 1) % з кроком $\Delta W=(5 \pm 1)$ %.

Таблиця 1 – Результати лабораторних випробувань ВК вологості на предмет похибки від зміни кислотності тепличних ґрунтів

Дійсне значення вологості (W), %	Виміряне значення вологості ґрунту (W^*), %					Дод. похибка вимірювання вологості, %
	Кислотність ґрунту (рН), од.	Серія № 1	Серія № 2	Серія № 3	Середнє значення вологості, %	
30	5	31,9	32,0	32,0	32,0	2,0
	6	31,1	31,2	30,8	31,0	1,0
	7	30,1	30,1	30,2	30,1	0,1
	8	31,3	31,1	30,8	31,1	1,1
60	5	62,0	62,1	61,8	62,0	2,0
	6	61,5	61,5	61,6	61,5	1,5
	7	60,2	60,4	60,7	60,4	0,4
	8	61,2	61,3	61,6	61,4	1,4
90	5	91,7	91,5	92,0	91,7	1,7
	6	90,6	90,8	90,9	90,8	0,8
	7	90,1	90,1	90,4	90,2	0,2
	8	91,4	91,1	91,8	91,4	1,4

Дійсне значення вологості тепличних ґрунтів (W) визначалося методом гарячого сушіння.

Таблиця 2 – Результати лабораторних випробувань ВК кислотності на предмет похибки від зміни вологості тепличних ґрунтів

Дійсне значення кислотності ґрунту (pH), од.	Вимірне значення кислотності при різних значеннях вологості ґрунту (pH*), од.						
	Рівень вологості тепличного ґрунту (W), %						
	30	40	50	60	70	80	90
5,12	5,15	5,15	5,13	5,14	5,13	5,10	5,11
6,85	6,82	6,81	6,83	6,84	6,86	6,82	6,83
7,94	7,98	7,97	7,96	7,96	7,95	7,92	7,93
Середнє значення додаткової похибки ($\Delta pH_{\text{дод.}}^W$), од.	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Дійсне значення кислотності тепличних ґрунтів (pH) визначалося у ґрунтовому фільтраті при співвідношенні дистильована вода-ґрунт рівному 2,5:1							

З метою реалізації запропонованих алгоритмів компенсації основних дестабілізуючих факторів виконано оцінку складових похибок вимірювання вологості та кислотності від вищевказаних впливів за формулами:

$$\begin{cases} \sigma[\Delta W_{\text{дод.}}^{pH}] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (W_k - W_k^*)^2}; \\ \sigma[\Delta pH_{\text{дод.}}^W] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (pH_k - pH_k^*)^2}, \end{cases} \quad (2)$$

де W_k – дійсне значення вологості ґрунту, %; W_k^* – математичне очікування значення вологості ґрунту, що розраховане за характеристикою перетворення в k -й точці діапазону, %; pH_k – дійсне значення кислотності ґрунту, од.; pH_k^* – математичне очікування значення кислотності, що розраховане за характеристикою перетворення в k -й точці діапазону, од.

Оцінка додаткових похибок вимірювання кислотності та вологості тепличних ґрунтів від фактору зміни температури виконувалася шляхом зняття сімейства характеристик перетворення відповідних вимірювальних каналів, які наведено на рис. 6а,б, за різних температур ґрунтів у діапазоні від 10 до 30 °С з кроком 5 °С.

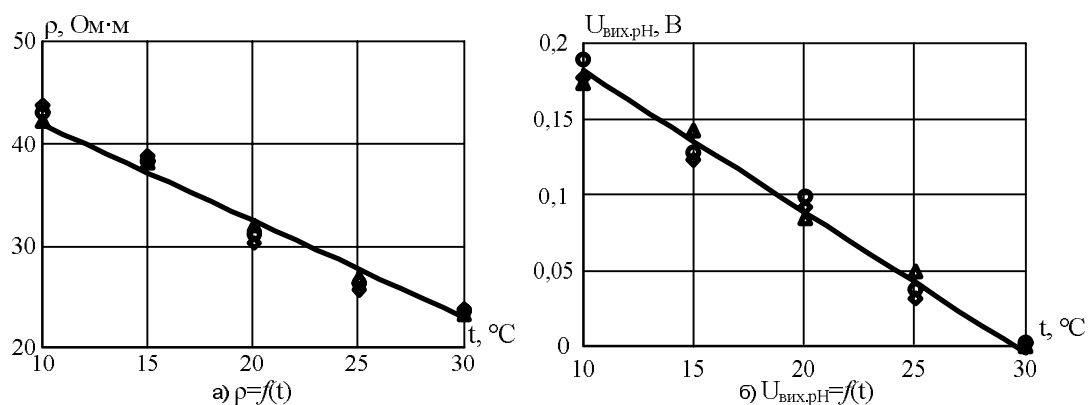


Рисунок 6 – Температурна залежність вихідних сигналів досліджуваного вимірювача

Розрахунок відповідних складових похибок вимірювання вологості та кислотності ґрунтів у виробничих умовах промислових тепличних комплексів від зміни фактору температури виконувався за формулами:

$$\begin{cases} \sigma[\Delta W_{\text{доод.}}^t] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (W_j - W_j^*)^2}; \\ \sigma[\Delta pH_{\text{доод.}}^t] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (pH_j - pH_j^*)^2}, \end{cases} \quad (3)$$

де W_j – дійсне значення вологості ґрунту, %; W_j^* – математичне очікування значення вологості, що розраховане за характеристикою перетворення в j -й точці діапазону, %; pH_j – дійсне значення кислотності ґрунту, од.; pH_j^* – математичне очікування значення кислотності, що розраховане за характеристикою перетворення в j -й точці діапазону, од.

На підставі отриманих за формулами (1) – (3) оціночних значень складових похибок вимірювання вологості та кислотності тепличних ґрунтів виконано розрахунок абсолютних значень сумарних похибок вимірювання відповідних фізичних параметрів за довірчої ймовірності $P=0,95$ ($k=1,1$) з урахуванням похибок апроксимації експериментальних даних за формулами (4). Порівняльну характеристику результуючих оцінок отриманих метрологічних характеристик досліджуваного макетного зразка вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів та існуючих серійних однокомпонентних аналогів наведено в табл. 3.

$$\begin{cases} \sigma[\Delta W_{\Sigma}] = k \sqrt{(\sigma[\Delta W_{\text{осн.}}])^2 + (\sigma[\Delta W_{\text{анп.}}])^2 + (\sigma[\Delta W_{\text{доод.}}^t])^2 + (\sigma[\Delta W_{\text{доод.}}^{pH}])^2}; \\ \sigma[\Delta pH_{\Sigma}] = k \sqrt{(\sigma[\Delta pH_{\text{осн.}}])^2 + (\sigma[\Delta pH_{\text{анп.}}])^2 + (\sigma[\Delta pH_{\text{доод.}}^t])^2 + (\sigma[\Delta pH_{\text{доод.}}^w])^2}, \end{cases} \quad (4)$$

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз вимірювачів фізичних параметрів тепличних ґрунтів

Параметр, що вимірюється	Тип вимірювача	Метрологічні показники	
		Робочий діапазон	Сумарна похибка
Кислотність	Розроблений макетний зразок	від 5 до 8 од.	$\pm 0,15$ од.
	Існуючі серійні аналоги	від 0 до 12 од.	$\pm 0,2$ од.
Вологість	Розроблений макетний зразок	від 30 до 90 %	$\pm 2,7$ %
	Інструментальні серійні аналоги	від 5 до 95 %	± 6 %

На підставі аналізу результатів досліджень, які наведено в науковому джерелі [12], щодо можливих шляхів підвищення врожайності тепличних культур встановлено, що між показниками точності вимірювань фізичних параметрів ґрунтів і приростом урожайності теплиць (ΔCY) існує прямолінійний корелятивний зв'язок. Коефіцієнти чутливості показника врожайності до точності вимірювання параметрів ґрунтів у діапазонах зміни: вологості від 40 до 85 % – $\partial CY / \partial W = S_W^{CY} = 0,46$ кг/(м²·%); кислотності від 3 до 9 од. – $\partial CY / \partial pH = S_{pH}^{CY} = 0,77$ кг/(м²·од.); температури від 17 до 32 °С – $\partial CY / \partial t = S_t^{CY} = 0,63$ кг/(м²·°С). Отже, із урахуванням інформації щодо результатів метрологічної атестації розробленого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів, яку наведено в табл. 3, комплексний вплив зменшення похибок вимірювань заявлених параметрів тепличних ґрунтів на приріст урожайності (ΔCY) за довірчої ймовірності ($P=0,95$) до регла-

ментованих значень (ΔW , ΔpH , Δt) відносно метрологічних показників існуючих вимірювачів (ΔW^* , ΔpH^* , Δt^*) з урахуванням відповідних коефіцієнтів чутливості може бути визначений за наступною формулою:

$$\Delta CY = k(0,95) \cdot \sqrt{[S_W^{CY} \cdot (|\Delta W^*| - |\Delta W|)]^2 + [S_{pH}^{CY} \cdot (|\Delta pH^*| - |\Delta pH|)]^2 + [S_t^{CY} \cdot (|\Delta t^*| - |\Delta t|)]^2} =$$

$$= 1,1 \cdot \sqrt{[0,46 \cdot |6 - 2,7|]^2 + [0,77 \cdot |0,2 - 0,15|]^2 + [0,63 \cdot |1,0 - 0,3|]^2} = 1,6 \text{ кг/м}^2. \quad (5)$$

Проведені розрахунки за формулою (5) довели, що реалізація процесу комп'ютеризованих комплексних вимірювань вологості, кислотності й температури тепличних ґрунтів із застосуванням розробленого вимірювача з можливістю компенсації основних дестабілізуючих впливів дозволяє обґрунтувати напрямок можливого підвищення врожайності промислових теплиць (ΔCY) на $1,6 \text{ кг/м}^2$. У результаті порівняльного аналізу отриманого значення $\Delta CY = 1,6 \text{ кг/м}^2$ з наявними показниками середньої врожайності українських промислових тепличних господарств [13] встановлено, що її відносний приріст складає 6 % за рік. Таким чином, підвищення точності вимірювальних каналів розробленого та реалізованого комп'ютеризованого вимірювача на 20 – 30 % відносно існуючих однокомпонентних вимірювачів призводить до бажаного ефекту покращення врожайності українських аграрних господарств на закритих ґрунтах у середньому з $26,7 \text{ кг/м}^2$ до $28,3 \text{ кг/м}^2$ за рік. Це досягається за рахунок обґрунтування і розробки способів та реалізації засобів компенсації комплексних взаємних впливів дестабілізуючих факторів на відповідні результати вимірювань заявленої групи фізичних параметрів тепличних ґрунтів.

Задля вдосконалення технологічного процесу вирощування інтродукованих культур на закритих ґрунтах потребують подальшого вирішення наступні пріоритетні задачі щодо покращення ефективності комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів з компенсацією дестабілізуючих впливів:

- розробка дослідного зразка польового вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів з метою використання його в якості портативного модуля систем комплексної автоматизації промислових тепличних господарств;
- розширення функціонального забезпечення вимірювача з метою можливості виконання більш об'єктивного прогнозу інтегрального стану ґрунтів за різних умов експлуатації;
- проведення комплексних досліджень дослідного зразка вимірювача, як модульної складової автоматизованих систем крапельного поливу та регуляторів дозування кислотності ґрунтів у виробничих умовах тепличних комплексів.

Вищезаявлені перспективні напрямки подальших досліджень дозволять розширити набір функціональних можливостей досліджуваного комп'ютеризованого вимірювача з метою його використання в якості портативного модуля автоматизованих систем різного агрофізичного та геохімічного призначення.

Висновки

1. Розроблено програму та методику метрологічної атестації вимірювача, що дозволило провести лабораторні випробування реалізованого макетного зразка вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів в умовах виробничо-технологічної лабораторії та оцінити його основні метрологічні характеристики.

2. Проведено лабораторні випробування розробленого макетного зразка вимірювача, на підставі яких встановлено факт поліпшення точності комплексного вимірювання фізичних параметрів тепличних ґрунтів за рахунок обґрунтування способів і реалізації засобів обліку та компенсації взаємних дестабілізуючих впливів заявлених параметрів один на одного, що дозволило покращити метрологічні характеристики досліджуваного вимірювача в цілому

на 20 – 30 % у робочих умовах експлуатації відносно існуючих однокомпонентних аналогів.

3. Обґрунтовано напрямок можливого приросту врожайності тепличних культур на закритих ґрунтах на 6 % (при $P=0,95$) відносно поточного значення з 26,7 кг/м² до 28,3 кг/м² за рік за рахунок використання розробленого вимірювача у виробничих умовах теплиць.

4. Сформульовано пріоритетні напрямки подальших досліджень, які полягають у розширенні функціональних можливостей комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів з метою його використання в якості портативного модуля автоматизованих комплексів різного агрофізичного і геохімічного призначення.

Список використаної літератури

1. Лактионов, И.С. Разработка и исследование макетного образца измерителя влажности почвы / И.С. Лактионов, В.В. Турупалов // Збірн. наук. пр. Донецьк. ін-ту залізн. трансп. укр. держ. академ. залізн. трансп. – Донецьк, 2014. – Вип. 38. – С. 13 – 19.
2. Лактионов, И.С. Метод повышения эффективности измерителя влажности почвы / И.С. Лактионов, А.В. Вовна // «НП». – СПб, 2014. – Т. 24, № 4. – С. 81 – 87.
3. Лактионов, И.С. Полевой измеритель кислотности почв с аппаратно-программной компенсацией дестабилизирующего влияния естественной влажности / И.С. Лактионов, М.Ю. Никоненко // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер.: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Красноармійськ, 2015. – Вип. 1 (28)' 2015. – С. 133 – 140.
4. Вовна, О.В. Вимірювальний прилад контролю вологості ґрунту / О.В. Вовна, І.С. Лактионов // Зб. тез доповідей XII Міжнарод. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 23 – 24 квіт. 2013. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – С. 139 – 140.
5. Лактионов, І.С. Розробка та дослідження макетного зразка польового вимірювача кислотності ґрунтів / І.С. Лактионов, М.Ю. Никоненко // Зб. тез доповідей XIV Міжнарод. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 22 – 23 квіт. 2015. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 123 – 124.
6. Лактионов, І.С. Розробка вимог та обґрунтування структури приладу вимірювання кислотності ґрунту в польових умовах / І.С. Лактионов, О.В. Вовна // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. Володимира Даля: Наук. журнал. – Луганськ, 2012. – Вип. 18 (189). – С. 162 – 168.
7. Вовна, А.В. Математическая модель компьютеризированной системы измерительного контроля влажности почвы / А.В. Вовна, И.С. Лактионов // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер.: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк, 2013. – Вип. 2 (25). – С. 197 – 206.
8. Лактионов, І.С. Структурно-алгоритмічний синтез вимірювальної системи визначення фізико-хімічних параметрів ґрунту / І.С. Лактионов, О.В. Вовна // Зб. наук. пр. I Всеукр. наук.-техн. конф. «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень», 25 – 29 трав. 2015. – Красноармійськ: ДонНТУ, 2015. – С. 429 – 432.
9. Термопреобразователи. Общие технические требования и методы испытаний: Межгос. стандарт ГОСТ 6651–94. – Действ. от 2002–01–01. – Минск: Издательство стандартов, 2002. – 31 с. – (Держстандарт України).
10. Arduino [Електронний ресурс]: Arduino Leonardo. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLeonardo>. – Назва з титул. екрана.
11. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1996. – 628 с.
12. Юрина, А.В. Теоретическое обоснование приемов повышения урожайности огурца в теплицах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. с.-х. наук: спец. 06.01.06 «Овощеводство» / Юрина Анна Васильевна; Санкт-Петербургский гос. ун-т. – СПб, 1995. – 46 с. – рус.
13. Agronews. Всеукраїнське інформаційне агентство [Електронний ресурс]: Виробництво тепличних овочів в Україні. – Режим доступу: <http://agronews.ua/node/52262>. – Назва з титул. екрана.

References

1. Laktionov, I.S. and Turupalov, V.V. (2014), "Razrabotka i issledovanie maketnogo obrazca izmeritelja vlazhnosti pochvy", *Zbirnik naukovih prac' Donec'kogo institutu zaliznichnogo transportu ukraïns'koyi derzhavnoyi akademiyi zaliznichnogo transportu*, no. 38, pp. 13 – 19.
2. Laktionov, I.S. and Vovna, A.V. (2014), "Metod povysheniya jeffektivnosti izmeritelja vlazhnosti pochvy", *Nauchnoe priborostroenie*, vol. 24, no. 4, pp. 81 – 87.
3. Laktionov, I.S. and Nikonenko, M.Ju. (2015), "Polevoj izmeritel' kislotnosti pochv s apparatno-programmnoj kompensaciej destabilizirujushhego vlijaniya estestvennoj vlazhnosti", *Nauk. pr. Donec'k. nac. tehn. un-tu. Ser.: «Obchisljuval'na tehnika ta avtomatizacija»*, vol. 1 (28)' 2015, pp. 133 – 140.
4. Vovna, O.V. and Laktionov, I.S. (2013), "Vymiryuval'nyy prylad kontrolyu volohosti gruntu", *Zb. tez dopovidey XII Mizhnarod. nauk.-tekhn. konf. «Pryladobuduvannya: stan i perspektyvy»*, pp. 139 – 140.
5. Laktionov, I.S. and Nikonenko, M.Ju. (2015), "Rozrobka ta doslidzhennya maketnoho zrazka pol'ovoho vymiryuvacha ky-slotnosti gruntiv", *Zb. tez dopovidey XIV Mizhnarod. na-uk.-tekhn. konf. «Pryladobuduvannya: stan i perspektyvy»*, pp. 123 – 124.
6. Laktionov, I.S. and Vovna, O.V. (2012), "Rozrobka vimog ta obgruntuvannja strukturi priladu vimirjuvannja kislotnosti gruntu v pol'ovih umovah", *Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja: Naukovij zhurnal*, no. 18 (189), pp. 162 – 168.
7. Vovna, A.V. and Laktionov, I.S. (2013), "Matematicheskaja model' komp'juterizirovannoï sistemy izmeritel'no-go kontrolja vlazhnosti pochvy", *Nauk. pr. Donec'k. nac. tehn. un-tu. Ser.: «Obchisljuval'na tehnika ta avtomatizacija»*, vol. 2 (25), pp. 197 – 206.
8. Laktionov, I.S. and Vovna, O.V. (2015), "Strukturno-alhorytmichnyy sintez vymiryuval'noyi sistemy vyzna-cheniya fizyko-khimichnykh parametriv gruntu", *Zb. nauk. pr. I Vseukr. nauk.-tekhn. konf. «Avtomatyzatsiya, kontrol' ta upravlinnya: poshuk idey ta rishen'»*, pp. 429 – 432.
9. Derzhstandart Ukrayiny (2002), *Mezhgos. standart GOST 6651–94: Termopreobrazovateli. Obshhie tehicheskie trebovaniya i metody ispytaniy*, Izdatel'stvo standartov, Minsk, Belarus.
10. Arduino. Arduino Leonardo (2016) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLeonardo> (Accessed 20 February 2016).
11. Bessonov, L.A. (1996), *Theoretical Foundations of Electrical Engineering: Electrical circuit*, Higher School, Moscow, Russian Federation.
12. Jurina, A.V. (1995), *Teoreticheskoe obosnovanie priemov povysheniya urozhajnosti ogurca v teplicah*, Abstract of Doctor of Science dissertation, Ovoshhevodstvo, Sankt-Peterburgskij gos. un-t, SPb, Russian Federation.
13. Agronews. Vseukrayins'ke informatsiyne ahentstvo: Vyrobnystvo teplychnykh ovochiv v Ukrayini (2016) Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <http://agronews.ua/node/52262> (Accessed 01 March 2016).

Надійшла до редакції
21.03.2016

Рецензент
д-р техн. наук, доц. Вовна О.В.

И.С. Лактионов

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Результаты экспериментальных исследований компьютеризированного измерителя физических параметров тепличных почв с компенсацией дестабилизирующих влияний. Разработана программа и методика метрологической аттестации макетного образца измерителя физических параметров тепличных почвогрунтов с компенсацией дестабилизирующих воздействий. На основании разработанной методики проведены

лабораторные испытания реализованного компьютеризированного измерителя. В результате получены эмпирические характеристики преобразования исследуемого измерителя и оценены его основные метрологические характеристики. Экспериментально проверены теоретические модели относительно способов и алгоритмов компенсации взаимных дестабилизирующих воздействий измеряемых параметров (влажность, кислотность и температура) тепличных почвогрунтов на показатели точности реализованного измерителя. Оценена эффективность исследуемого измерителя путем расчета возможного значения прироста урожайности теплиц от повышения его точности. Обоснованы приоритетные направления дальнейших исследований разработанного компьютеризированного измерителя физических параметров тепличных почвогрунтов.

Ключевые слова: измеритель, экспериментальные исследования, тепличный почвогрунт, физические параметры, дестабилизирующие воздействия.

I.S. Laktionov

Donetsk National Technical University

The experimental studies results of the computerized meter of the greenhouse soils physical parameters with destabilizing influences compensation.

The computerized measuring instrument model sample of the industrial greenhouse soils physical parameters with destabilizing influences compensation has been developed. Program and methodology of the model sample measuring instrument metrological certification of the greenhouse soils physical parameters has been developed. Based on the developed technique the implemented computerized measuring instrument laboratory tests have been carried out. As a result, empirical transformation characteristics of the test measuring instrument have been obtained and its main metrological characteristics have been estimated. The previous theoretical models have been experimentally verified. Techniques of accuracy improvement of the integrated measurement of greenhouse soil moisture and acidity have been developed. They take into account mutual destabilizing effects of the defined parameters and influence of soil temperature changes in the range from 10 to 30 °C. The method has made it possible to improve the whole system metrological parameters by 20 – 30 % under the working greenhouse conditions. The methods and algorithms of the measured parameters (humidity, acidity and temperature) mutual destabilizing influences compensation of the realized measuring instrument accuracy indicators have been confirmed. The test measuring instrument effectiveness has been evaluated by calculating the potential value growth in greenhouse yields from increasing its accuracy. It provides comprehensive moisture, acidity and temperature measurements with destabilizing effects compensation which allows its operation as a part of the industrial greenhouse automation complex. Further research priority directions of the developed computerized measuring instrument of the greenhouse soils physical parameters have been substantiated.

Keywords: measuring instrument, experimental studies, greenhouse soils, physical parameters, destabilizing effects.



Лактіонов Іван Сергійович, Україна, закінчив ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», кандидат технічних наук, асистент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Донецька обл., 85301, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – прогресивні технології з підвищення ефективності комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем фізико-хімічних показників багатокomпонентних середовищ.