

І.Г. Грушка

ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТІВ ВПГ-4Ц

Подано наукові основи методу вимірювання вологості матеріалів і середовищ, покладеного в основу розробки нового кондуктометричного приладу на принципах кондуктометра. Він призначений для експрес-вимірювання вологості і температури ґрунту. Описано цифровий вимірювальний пристрій, конструкція запатентованого переносного і стаціонарного датчика вологості ґрунту, які захищені українською та міжнародною заявкою на винахід. Наведено метрологічні характеристики ВПГ-4ц, атестованого Всеукраїнським державним науково-виробничим Центром стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів. Представлено методику градування цього приладу на різних ґрунтах, результати польових випробувань і деякі дані про економічну ефективність його використання.

Наукові основи нового методу вимірювання вологості матеріалів і середовищ

Метод належить до кондуктометричних способів і пристроїв вимірювання комплексної електропровідності, електричної ємності та вологості матеріалів і середовищ. Може використовуватися для розроблення вимірювальної апаратури різного призначення, зокрема, для експресного вимірювання вологості ґрунту в польових умовах за відсутності таких трудомістких операцій термостатно-вагового методу, як відбір ґрунтових зразків, їх транспортування та лабораторний аналіз (зважування, висушування, обсяжне обчислювання).

Прототипом методу вимірювання є спосіб визначення вологості сипучих матеріалів [10]. Він полягає в тому, що перед визначенням вологості матеріалів спочатку визначають градувальний параметр матеріалу K , який характеризує інтегральні електричні їх властивості, пов'язані з вологістю. Наприклад, для конкретного типу ґрунту на певній глибині цей параметр є нормованою характеристикою вимірювального пристрою.

На основі цього параметра K та одержаних значень температури і об'ємної маси за допомогою вимірювальних пристроїв комплексного опору у прототипі застосовано нелінійну формулу розрахунку вологості різних типів ґрунтів.

В УкрНДГМІ на базі вказаного способу розроблено досить простий переносний портативний пристрій – вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-1 (ИПП-1) [2].

У 1987 році Охтирський завод “Промзв’язок” Сумської області випустив дослідну партію приладів у кількості 200 комплектів для виробничих випробувань і дослідної експлуатації в різних районах колишнього СРСР. На основі матеріалів випробувань ВПГ-1 Центральна Методична комісія (ЦМК) Держкомгідромету СРСР у грудні 1988 року прийняла рішення про впровадження приладу в практичну діяльність окремих гідрометеорологічних станцій України, Молдови, Росії, Казахстану.

ЦМК також рекомендувала розробнику приладу (УкрНДГМІ) зміцнити механічно датчик і застосувати цифрову індикацію у вимірювальному блоці ВПГ-1. Необхідність такого заходу диктувала практика використання ВПГ-1 сільським господарством та гідрометеорологічними станціями. Для широкого впровадження приладу конче необхідно було розширити експлуатаційні його можливості, спростити методику визначення вологості ґрунту, звести до мінімуму нескладні, але об'ємні і рутинні обчислення.

На початку таке завдання виявилось досить складним за нелінійним зв'язком між вимірюваною електричною величиною і вологістю ґрунту, що змусило авторів ВПГ-1 шукати способи лінеаризації його двома шляхами: за допомогою аналогового перетворювача та шляхом включення мікропроцесора у вимірювальний блок приладу для обчислення шуканої вологості. Обидва підходи призводили до ускладнення вимірювальної схеми і методики вимірювання. У першому випадку через істотну нелінійність зв'язку електричних параметрів із вологістю ґрунту, не вдавалося додатковими технічними засобами лінеаризації одержувати необхідний лінійний зв'язок між ними на всьому діапазоні вимірювання. У другому випадку прилад виявився занадто складним для масового його застосування. Потрібно було враховувати те, що основні користувачі ВПГ-1, зазвичай, недостатньо підготовлені для використання таких вимірювальних пристроїв. Оскільки включення у

вимірювальний блок мікропроцесора призвело до необхідності застосувати також спеціальну клавіатуру, то для більшості споживачів, головним чином, в сільськогосподарському виробництві, це створило певний бар'єр в освоєнні техніки і методики вимірювань. Практичний досвід, набутий нами в останні роки, показав, що для масового споживача необхідно, щоб подібні прилади були гранично простими, оснащені максимум 2-3 перемикачами.

Поставлене завдання вдалося вирішити за допомогою нового способу вимірювання електричних параметрів і пристроїв для його реалізації, які описані нижче.

Новий спосіб мав на меті вирішення таких завдань:

- одержання квазілінійного зв'язку між вимірюваними електричними величинами ємністю і вологістю матеріалу (наприклад, ґрунту) на всьому діапазоні вимірювань (наприклад, від 4 до 60 мм об'ємної вологості);
- спрощення методики вимірювань електричної величини і вдосконалення способу визначення вологості матеріалу з тим, щоб виключити рутинні обчислення електричної ємності та вологості матеріалів на основі даних вимірювань приладу.

Вирішення цих завдань в комплексі забезпечує підвищення точності вимірювання властивостей матеріалів і середовищ.

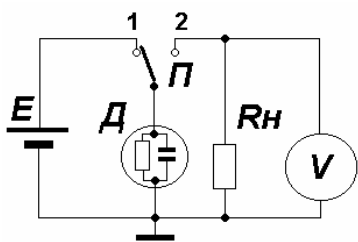


Рис. 1. Принципова схема вимірювання ємності електричної поляризації датчика

В основу нового способу вимірювання електричної ємності і вологості закладено загальновідомий принцип вимірювання ємності електричної поляризації датчика, поміщеного в досліджуваний матеріал або середовище. Цей принцип може ілюструвати спрощена схема,

Вона вміщує джерело постійної напруги E , перемикач Π , датчик D , опір навантаження R_n і вольтметр V . Схему заміщення датчика, здебільшого, представляють паралельним з'єднанням активного опору R і ємності C .

Коли перемикач Π знаходиться заданий час у положенні 1, то датчик зарядиться від джерела живлення E струмом, прямо пропорційним реактивній складовій ємності C датчика за винятком його частини, що

проходить через активний опір R датчика. Якщо перемикач Π перевести у положення 2, то датчик розрядиться через R_n . Вольтметр V покаже напругу, пропорційну ємності C датчика за виключенням втрат за рахунок активного опору R . Коли розглядати зміни цієї напруги в часі, після переведення перемикача Π в положення 2, одержимо графік гіперболи.

Якщо замість перемикача Π застосувати електронний ключ із використанням реле, пари транзисторів **n-p-n** і **p-n-p** провідності, пари польових транзисторів, пари тиристорів та інших електронних приладів, і здійснювати перемикання Π із положення 1 у положення 2 з певною частотою, то на R_n виділиться постійна напруга, пропорційна ємності C датчика, за виключенням утрат на активному опорі R .

У запропонованому способі вимірювання ємності та вологості матеріалів і середовищ застосовано новий ключовий квазілінійний перетворювач “ємність (вологість) – напруга” [7]. Типова схема його представлена на рис.2.

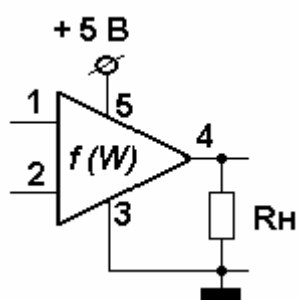


Рис. 2. Типова схема функціонального перетворювача “ємність (вологість) – напруга”

Це дозволило розробити і запропонувати чотири варіанти пристрою для вимірювання ємності і вологості датчика, що знаходиться в різних середовищах (грунт, зерно, коренеплід буряка, повітря тощо).

Завдяки квазілінійному зв'язку між електричною ємністю C (вологістю W) на вході перетворювача і постійною напругою U на його виході спрощується процедура градуювання вимірювального пристрою і методика вимірювання вологості матеріалу.

Одержана можливість градуювання приладу в одиницях шуканої ємності (вологості) матеріалу прямо на табло вольтметра в натуральному вигляді дозволила цілковито обійтись без рутинних обчислень.

Градувальний параметр K (K') для кожного конкретного матеріалу (середовища), на противагу нелінійному способу-прототипу [1], пропонується визначати на основі простого співвідношення (1):

$$K = C_0 / U_0 \text{ або } K' = W_0 / U_0, \quad (1)$$

де C_0 – контрольне значення модуля електричної ємності датчика з матеріалом, одержаним за допомогою контрольного вимірювального пристрою при температурі $t = t_0$ і об'ємній масі (щільності) матеріалу $\rho_0 \approx 1$; U_0 – контрольне значення напруги, одержаної за допомогою вимірювальних пристроїв, типова електрична схема, яка наведена на рис.2, при температурі $t = t_0$ і об'ємній масі (щільності) матеріалу $\rho_0 \approx 1$; W_0 – значення вологості матеріалу, визначене контрольним (наприклад, термостатно-ваговим) методом при температурі $t = t_0$ і об'ємній масі (щільності) матеріалу $\rho_0 \approx 1$; t_0 - нормоване значення температури матеріалу (константа, що може мати значення 0° або 20°C); ρ_0 - нормоване значення об'ємної маси градуйованої проби (об'єму) матеріалу при температурі $t = t_0$, г/см³ (для ґрунту ця величина знаходиться в межах від 0,4 до 2,0).

Використовуючи дані вимірювань електричної напруги U_i на виході перетворювача “ємність (вологість) – напруга” за схемою на рис. 2, ємність або вологість матеріалу (середовища) пропонується визначати за формулами:

$$C_i = K_i \cdot U_i \text{ або } W_i = K'_i \cdot U_i, \quad (2)$$

де C_i і W_i – електрична ємність і вологість матеріалу (середовища); K_i і K'_i – мають ті ж значення, що й у формулі (1); U_i – має те ж значення, що й у формулі (1).

Відповідний підбір електричних елементів і R_n схеми (див. рис. 2), дозволяє майже повністю лінеаризувати зв'язок між ємністю (вологістю) датчика і показаннями вольтметра. Тому є можливість градуювати прилад таким чином, що шукану величину ємності (вологості) можна прочитати прямо на табло цифрового або іншого вольтметра без додаткових обчислень.

Якщо застосувати комбінацію різних варіантів вимірювання, то можна одержати значення окремо активної і окремо реактивної складової ємності датчика, розташованого в досліджуваному середовищі. Це надає додаткові можливості для подальшого дослідження інших, окрім ємності і вологості, властивостей різних матеріалів і середовищ, наприклад, щільності, хімічного складу тощо. Дослідження показали, що комбінацію з двох варіантів вимірювання електричної ємності можна застосувати також для визначення цукристості цукрових буряків.

Всі чотири варіанти вимірювального пристрою можуть виготовлятися у вигляді окремих мікросхем.

Вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-4ц і його технічні характеристики

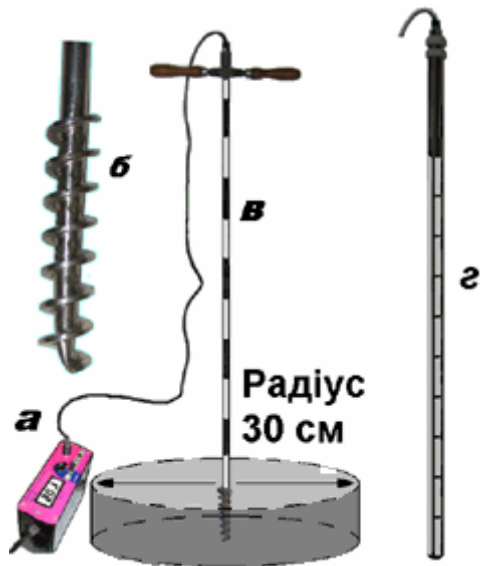


Рис. 3. Загальний вигляд ВПГ-4ц

a – цифровий вимірювальний блок; **б** – наконечник переносного датчика у збільшеному вигляді; **в** – переносний датчик вологості ґрунту; **г** – стаціонарний датчик

Вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-4ц призначений для вимірювання вологості і температури в шарах ґрунту 0-10, 11-20, ... 91-100, ... 151-150 см безпосередньо в польових умовах без відбору ґрунтових зразків. Може використовуватись у сільському господарстві, на гідрометеорологічних станціях, в будівництві, на транспорті і в інших галузях народного господарства. Прилад захищений багатьма авторськими свідоцтвами і патентами України [6-11]. За результатами державної метрологічної атестації у Всеукраїнському державному науково-виробничому Центрі стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів (протокол № 36-2/182 від

04.03.2004р.) прилад ВПГ-4ц визнано придатним для вимірювання вологості і температури ґрунту. Залежно від вимог споживача він може комплектуватись одним із двох переносних датчиків для глибин 0-100 см або 0-150 см. На рис. 3 представлено загальний вигляд ВПГ-4ц із переносним (**в**) і стаціонарним (**г**) датчиком для метрової глибини.

Цифровий вимірювач (**a**) зібраний на шасі і розташований у пластмасовому корпусі. Вимірювач ВПГ-4ц (див. рис. 3, **a**) містить у собі відсік для елементів електроживлення.

У нижній частині штанги (**в**) розміщений гвинтоподібний датчик вологості ґрунту “*W*” з умонтованим у нього напівпровідниковим датчиком температури “*T*”.

У збільшеному вигляді чутливий до вологості і температури наконечник датчика вказано літерою „*б*”. На штанзі (*б*) нанесено поділки через кожні 10 см для визначення глибини занурення датчика в ґрунт. До вимірювального пристрою датчик підключається за допомогою багатожильного кабелю.

Органи управління розміщені на передній панелі вимірювального приладу, на якій нанесені відповідні написи, що пояснюють порядок роботи. Цю панель показано на рис. 4.

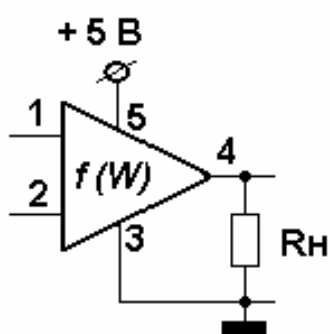


Рис. 4. Передня панель ВПГ-4ц

Перемикач "ВКЛ" здійснює підключення приладу до джерела автономного живлення або відключення від нього. При натисненні кнопки "Т" до цифрового вольтметра підключається функціональний перетворювач "температура-напруга".

Установка коефіцієнта *K*, обернено пропорційного коефіцієнту електропровідності різних типів ґрунтів, здійснюється за допомогою трьох органів управління. Спочатку за допомогою перемикача діапазонів 0,4÷1,0 встановлюють грубо коефіцієнт у потрібних межах, потім виставляють потрібний, обернений коефіцієнт "К", який визначають заздалегідь для даного типу ґрунту за методикою, описаною нижче.

Існує можливість забезпечити споживачів варіантом цифрового приладу для вимірювання параметрів ґрунтів у стаціонарних умовах. Для цього рекомендується стаціонарний датчик ВПГ-4ц (рис.3г). Він улаштований таким чином: на стінці пластмасової труби довжиною 120-170 см і діаметром циліндра-пробовідбірника бура АМ-16 або Скіпського укріплені через кожні 10 см парні, ізольовані одна від одної металеві пластинки з нержавіючої сталі. Ці пластинки закріплені в заглибленнях труби таким чином, щоб загальний діаметр датчика залишався постійним і рівним діаметру пластмасової труби. В одному з проміжків між пластинками розміщені капсули з датчиками температури – платиновими терморезисторами або транзисторами у діодному включенні. Кожна пара металевих пластинок та пара контактів датчиків температури за допомогою ізольованих електропроводів у середині пластмасової труби має окремий вихід на контакти розетки, розміщеної у верхній частині

труби. Міжнародна і українська заявки на патент щодо конструкції цього датчика зареєстровані в УКРПАТЕНТі [6].

Датчик, представлений на рис. 3г можна встановити на стаціонарних спостережних ділянках, наприклад, на метеорологічних майданчиках гідрометеорологічних станцій, на дослідних станціях та в окремих сільськогосподарських підприємствах. Він підключається до переносного вимірювального блоку. Але можна також вимірювальний блок установити в кімнаті, підключивши його за допомогою кабелю довжиною 1-3 км до датчика і вимірювати параметри ґрунтів дистанційно незалежно від умов погоди в будь-які строки спостережень. Такої можливості агрометеорологія і агрономія до цього часу не мали.

Нижче коротко представлені технічні дані ВПГ-4ц.

Діапазон вимірювання параметрів ґрунту: температури T , град. - $10 \div +35^{\circ}\text{C}$; вологості ґрунту W' (%) $2 \div 40$; загальних запасів продуктивної вологи в 10 см шарі (мм) $3 \div 60$.

Середньоквадратична похибка вимірювання: температури $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$; вологості ґрунту $\pm 2,5$ %; загальних запасів вологи в 10 см шарі ± 3 мм.

Час безупинної роботи від одного джерела постійного струму не менше 100 годин. Максимальна електрична потужність не більше 100 мВт. Струм, який споживає прилад від постійного джерела, не перевищує 10 мА.

Працездатність приладу забезпечує напруга живлення 7-10 В від автономного джерела при номінальній напрузі 9 В. При зниженні напруги живлення навіть до 7 В, щоб уникнути помилкових даних вимірювань, обов'язково необхідно замінити батарею на нову. Напругу джерела живлення можна контролювати за допомогою цифрового індикатора при натисканні кнопки **“Бат.”** (контроль живлення).

Середній термін використання до списання не менше 8 років. Строк гарантійного ремонту 1 рік.

ВПГ-4ц має такі переваги перед термостатно-ваговим (ТВ) методом:

1. Переносний і стаціонарний датчики вологості приладу ВПГ-4ц діють в об'ємі ґрунту, який за формою нагадує циліндр висотою 10 см і радіусом 30 см. Для того, щоб визначити ТВ-методом вологість такого об'єму ґрунту, необхідно було б відбирати ґрунтові проби для сушіння вагою не 40-50 г., а 40-50 кг (див. рис. 3, г). Таким чином, ВПГ-4ц більш репрезентативний, ніж ТВ-метод.

2. Прилад ВПГ-4ц удвічі дешевший за обладнання ТВ-методу (сушильні шафи, комплекти алюмінієвих баночок, ґрунтовий бур, витрати електроенергії тощо)

3. Дані про вологість ґрунтів можна одержати зразу під час вимірювання в полі, а не через 1,5-2 доби після відбору ґрунтових проб, висушування їх у сушильних шафах, подвійного зважування та громіздких обчислювань.

4. Переносний датчик ВПГ-4ц легше занурити в ґрунт, ніж ґрунтовий бур АМ-26. При цьому стаціонарний варіант ВПГ-4ц потребує затрат фізичних сил лише один раз при його установленні, надалі спостереження за вологістю ґрунту зовсім не потребують фізичних зусиль протягом кількох років.

Методологія визначення вологості ґрунтів вологомірами типу ВПГ-4ц започаткована в роботах [1, 2] і передбачає, перш за все, градування приладу на різних ґрунтах.

В умовах невизначеності градування приладу зводиться до одержання деякого комплексного електричного параметра K_i (оберненого коефіцієнта комплексної електропровідності) для даного типу ґрунтів на різних глибинах i . Для цього необхідно мати дані вимірювання загальних запасів води в ґрунті приладом ВПГ-4ц W при $K=99,9$ і термостатно-ваговим методом W'' на глибинах від 10 до 100-150 см пошарово через кожні 10 см. Оборнений коефіцієнт електропровідності даного типу ґрунту K_i на різних глибинах можна розрахувати за формулою:

$$K_i = W''_i / W_i, \quad (3)$$

де K_i – оборнений коефіцієнт електропровідності для типу ґрунту і глибини занурення датчика; W''_i – загальні запаси води за термостатно-ваговим методом для i -го шару у мм; W_i – загальні запаси води за даними ВПГ-4ц у мм.

$$W''_i = W'_i \rho, \text{ мм} \quad (4)$$

де W' – вологість в 10 см шарі ґрунту за термостатно-ваговим методом (%); ρ – об'ємна маса цього ж шару ґрунту в г/см³.

Термін “невизначеність” означає ситуацію, коли відсутня будь-яка інформація про ґрунти, їх фізико-хімічний склад і електропровідність окремих типів ґрунту на конкретній глибині занурення датчика.

Обернений коефіцієнт електропровідності K_i для конкретного типу ґрунту і глибини занурення датчика залежить від впливу хіміко-механічного складу, температури і щільності конкретного типу ґрунту в природному стані. Його можна представити у такому вигляді:

$$K_i = K\omega_i \cdot Kt_i \cdot K\rho, \quad (5)$$

де $K\omega_i$ – обернений коефіцієнт електропровідності, залежний від хіміко-механічного складу ґрунту; Kt_i – аналогічний коефіцієнт, залежний від температури ґрунту; $K\rho_i$ – аналогічний коефіцієнт, залежний від щільності (об’ємної маси) ґрунту.

Залежність Kt_i від температури ґрунту T на основі математичної обробки лабораторних і польових досліджень УкрНДГМІ за останні 5 років можна описати такою емпіричною формулою:

$$Kt_i = 2,5 \cdot T^{-0,306} \quad (6)$$

За допомогою коефіцієнта Kt_i дані вимірювань вологості ґрунту в межах температур від 0 до +50 °С можна привести до температури +20°. Запаси води за допомогою ВПГ-4ц при різних температурах можна одержати тоді, коли дані приладу помножити на Kt_i , розраховані за формулою (6).

Для території Київської області, електричні параметри ґрунтів якої на даний час найбільш вивчені, складена мапа обернених коефіцієнтів електропровідності $K\omega_i$ в залежності від типу ґрунту і його хіміко-механічного складу. Вона дозволяє застосовувати прилад ВПГ-4ц без попереднього градування його за допомогою термостатно-вагового методу. Такі ж мапи можна побудувати для всіх інших областей України за 2-3 роки.

Результати польових випробувань вимірювача параметрів ґрунтів ВПГ-4ц

Польові випробування будь-яких приладів передбачають вирішення питання доцільності їх впровадження.

Прилад ВПГ-4ц проходив польові випробування на полях господарств Київської області двічі. Перший раз – разом з Київською гідрогеолого-меліоративною експедицією (КГГМЕ) Держводгоспу України в 2002 році. Вдруге – в 2003 році на деяких полях господарств Баришівського, Білоцерківського, Бориспільського, Макарівського, Фастівського районів Київської області разом з працівниками відповідних ГМС при участі співробітників Відділу енергомасообміну в геосистемах Центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних досліджень НАН України.

При польових випробуваннях ВПГ-4ц застосовані дві схеми. За першою схемою в точці поля, де мають бути проведені вимірювання приладом, на відстані 10 см в двох кутах рівностороннього трикутника пробурено дві свердловини ґрунтовими бурами АМ-16 і буром Скіпського. За другою схемою були пробурені додатково ще по одній свердловині згаданими бурами. Перевага таких схем дослідження полягає в тому, що вони дають змогу не тільки визначити відхилення показань приладу від даних ТВ-методу, але й оцінити помилки ТВ-методу, взятого за еталон. Коли прилад дає показання, які не відрізняються від еталону, то такий прилад цілком може замінити еталон.

За першою схемою в 2002 році були проведені випробування на 10 полях (всього 90 випадків), в 2003 році - на 15 полях з різними ґрунтами (всього 140 випадків), за другою схемою проведені дослідження тільки в 2003 р. на двох полях. Видовий склад ґрунтів такий: дернові глейові, ясно-сірі, сірі, темно-сірі, чорноземи опідзолені, чорноземи малогумусні, чорноземи середньогумусні глибокі, торф'яники і інші. За механічним складом ґрунти були піщані, супіщані, суглинки і піщано-глинисті.

Глибина всіх свердловин досягала 1м, вимірювання і взяття проб для визначення вологості ТВ-методом здійснювалось у кожному шарі ґрунту через 10 см.

Варто відзначити те, що буром Скіпського відбиралися проби не порушеної структури ґрунту у формі циліндра висотою 10 см. Така ж висота чутливої частини датчика ВПГ-4ц. Це 50-60 г ґрунту. Буром АМ-26 відбирається в алюмінієву баночку грудочка землі діаметром не більше 3-4 см (орієнтовно 40-50 г). Таким чином, завчасно можна було передбачити, що вимірювання ВПГ-4ц повинні трохи краще співпадати з даними ТВ-методу при використанні бура Скіпського, ніж при використанні бура АМ-26. До того ж за допомогою бура Скіпського

визначають ще один важливий параметр - об'ємну масу ґрунту, чого не можна досягти при використанні бура АМ-26.

Із аналізу даних табл. 1 дуже виразно впливає висновок, що прилад ВПГ-4ц дає більш об'єктивні дані про вологість ґрунту, ніж ТВ-метод.

Аналогічно в табл. 2 показано, що коефіцієнт кореляції R між даними ТВ-методу становив $0,73 \pm 0,07$, у той час, як між даними ВПГ-4ц і ТВ-методу він знаходився в межах $0,76 \div 0,89$.

Таблиця 1

Забезпеченість відхилень даних вологості ґрунту, одержаних за допомогою приладу ВПГ-4ц, від даних ТВ-методу

Різниця	Забезпеченість (%)		
	± 3 мм	± 4 мм	± 5 мм
Між даними ТВ-методу, одержаними за допомогою бурів Скіпського і АМ-26 - ($W_1 - W_2$)	33	60	71
Між даними ВПГ-4ц і ТВ-методу (середні між даними, одержаними за допомогою бурів Скіпського і АМ-26) - ($W_{\Pi} - W_0$)	60	72	88
Між даними ВПГ-4ц і даними ТВ-методу, одержаними в УкрНДГМІ за допомогою бура Скіпського ($W_{\Pi} - W_1$)	56	70	92
Між даними ВПГ-4ц і даними ТВ-методу, одержаними гідрометстанціями за допомогою бура АМ-26 ($W_{\Pi} - W_2$)	56	85	89

Таблиця 2

Статистичні характеристики даних польових випробувань ВПГ-4ц

Зв'язок	Коефіцієнт кореляції $R \pm Er$	Середнє квадратичне відхилення σ , мм	Помилка E , мм	Відношення E/σ
Між даними ТВ-методу при відборі проб ґрунту за допомогою бурів Скіпського і АМ-26	$0,73 \pm 0,07$	7,37	3,96	0,54
Між даними ВПГ-4ц і ТВ-методу (середні між даними, одержаними за допомогою бурів Скіпського і АМ-26)	$0,86 \pm 0,04$	7,37	1,98	0,27

Між даними ВПГ-4ц (індекс вологості) і даними ТВ-методу, одержаними за допомогою бура Скіпського	$0,83 \pm 0,05$	7,37	1,99	0,27
Між даними ВПГ-4ц (запас вологи в мм) і даними ТВ-методу, одержаними за допомогою бура Скіпського	$0,89 \pm 0,03$	7,37	1,61	0,22

Коли поставити умову, щоб відхилення загальних вологозапасів між двома незалежними способами їх визначення за абсолютним значенням не перевищували ± 5 мм (див. табл. 1), то при використанні ТВ-методу вони забезпечені в 71 % випадків, в той час, як для ВПГ-4ц вони забезпечені в 88-92 % випадків.

На перший погляд може здатися, що це парадокс, оскільки при оцінці помилок ВПГ-4ц та термостатно-вагового методу, використовувався один і той же ТВ-метод.

Цей, на перший погляд, “парадокс” пояснюється просто, коли згадати правила математичної статистики. Треба мати на увазі те загальновідоме правило, що чим більша вибірка з даної конкретної сукупності, тим ближче середнє значення вибірки відповідає генеральній сукупності даних.

Тепер порівнюємо вибірки ТВ-методу і ВПГ-4ц. ТВ-метод характеризує вибірку всього 40-50 г ґрунту, в той час як ВПГ-4ц характеризує вибірку 40-50 кг ґрунту. Для 10 см шару ґрунту при щільності рівній одиниці на полі площею 1 га, ця вибірка для ТВ-методу становитиме $4 \div 5 \cdot 10^{-8}$, а для ВПГ-4ц — $4 \div 5 \cdot 10^{-5}$ частини поля.

При аналізі даних табл. 2 треба відзначити кілька моментів:

1. Кореляція між даними ВПГ-4ц і термостатно-ваговим методом завжди більша, ніж між даними самого ТВ-методу, коли використовувати бури АМ-26 (АМ-16) і Скіпського.
2. Дані ВПГ-4ц краще корелюють з даними ТВ-методу, коли їх представляти в мм загальних вологозапасів.
3. Середньоквадратична помилка ВПГ-4ц знаходиться в межах $0,22 \div 0,38$ від σ при допустимому її значенні $0,675\sigma$.

Економічна ефективність використання ВПГ-4ц

При впровадженні нових технологій, об'єктів в народне господарство в масштабі держави приймають строки їх окупності до 10 років. Новий технічний засіб ВПГ-4ц одержання інформації про вологість і температуру ґрунту може окупитися навіть при його одноразовому використанні, наприклад, для оцінки доцільності сівби озимих під час осінніх ґрунтових посух.

У степовій частині України з частотою, приблизно, один раз в чотири роки повторюються осінні ґрунтові посухи. Повторюваність згубних осінніх посух для території окремих або ряду областей України складає близько 8%. У межах районів і окремих господарств вони можуть виникати більш часто (до 20%). За цих умов на окремих полях продуктивні запаси вологи бувають такими, які просто не можуть забезпечити нормальні сходи озимих. Такі посіви гинуть ще до початку зими. Якби вдалося вчасно виявити такі поля, то можна було б зекономити норму висіву насіння в середньому 2 ц на кожному гектарі. Їх на даний час можна виявити лише за допомогою приладу ВПГ-4ц. Термостатно-ваговий метод через неоперативність і необхідність масового обстеження всіх полів, призначених для сівби озимих, непридатний. Якщо прийняти ціну 1 т озимої пшениці 500грн., а вартість 1 комплексу ВПГ-4ц – 5000 грн., то прилад окупиться вже тоді, коли за його допомогою стане можливим зекономити всього 10 т насіння. Це посівна норма на 50 га озимини. Тобто, придбання приладу ВПГ-4ц окремим господарством чи фермером може окупитися навіть тоді, коли його використати лише один раз на площі озимини в 50 га. Очікувана вартість серійного зразка ВПГ-4ц ще менша – близько 1000-1500 грн.

Потенційна потреба в такого типу приладах дуже велика. Очевидно, що прилади, подібні ВПГ-4ц, потрібні кожному фермеру, що володіє землею площею близько 50 га, тим більше кожному агроному великих господарств.

Наведений приклад засвідчує лише один випадок застосування ВПГ-4ц. Можливості використання приладу значно ширші. У землеробстві він потрібен повсякденно. Оцінка ж повного економічного ефекту від впровадження приладу потребує спеціальних досліджень, як і в інших галузях народного господарства.

Але навіть тільки один наведений приклад окупності ВПГ-4ц свідчить про перспективність розробки, виробництва і впровадження цього приладу.

Висновки

В Українському НДГМІ створено унікальний прилад ВПГ-4ц, який уперше здатен повністю замінити дорогий і трудомісткий термостатно-ваговий метод визначення вологості ґрунтів, що використовується на гідрометеорологічній мережі.

При вимірюванні вологості ґрунту на окремому полі ВПГ-4ц має кращі метрологічні характеристики, ніж ТВ-метод враховуючи надзвичайно велику просторову мінливість цього параметру.

Широке застосування ВПГ-4ц на гідрометеорологічній мережі має істотну перспективу, враховуючи універсальність методики калібрування його на різних ґрунтах з врахуванням їх фізико-хімічних властивостей.

Метод вимірювання вологості та стаціонарний датчик ВПГ-4ц можуть успішно використовуватись в дистанційних і автоматизованих пристроях для вимірювання вологості і температури ґрунту.

* *

Представлены научные основы метода экспресс-измерения влажности материалов и сред, положенного в основу нового кондуктометрического прибора. Описано цифровое измерительное устройство, конструкция запатентованного переносного и стационарного датчиков влажности и температуры грунта, которые защищены украинской и международной заявкой на изобретение. Приведены метрологические характеристики ВПГ-4ц, аттестованного Всеукраинским государственным научно-производственным Центром стандартизации, метрологии, сертификации и защиты прав потребителей. Представлены методика градуирования этого прибора на разных почвах, результаты полевых испытаний и некоторые данные об экономической эффективности его использования.

* *

1. Грушка І. Г. Дослідити датчики вологості ґрунту та розробити ескізу документацію на вимірювач параметрів ґрунтів ВПГ-3 // Звіт про науково-дослідну роботу, № держ. реєстрації 0198U003807, інв. № 0200U001063, УкрНДГМІ, – 1999. – 13с.

2. *Грушка И.Г.* Измеритель влажности почв ИПП-1 // Киевское отделение УкрНИИНТИ – 1987. – 4с.
3. *Грушка І.Г.* Методи і засоби експрес-контролю агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур // Праці УкрНДГМІ. – 1998. – Вип. 246. – С. 151-165.
4. *Грушка І.Г.* Методи і засоби вимірювання вологості матеріалів і середовищ (див. цей збірник).
5. *Грушка І.Г.* Нові методи і засоби агрометеорологічних вимірювань і питання гідрометеорологічного забезпечення землеробства // Матеріали наради-семінару “Обмін досвідом гідрометеорологічного забезпечення сільськогосподарського виробництва у сучасних умовах”, Ялта, 15-20 жовтня 2001 р. – Київ: 2001. – С. 43-54.
6. *Грушка І. Г., Грушка Я.І.* Блок датчиків вологості та температури. G01 N 27/02, G 01 N 25/56, заявки № РСТ/UA2005/000009 від 02.03.2005 та № 20044011597 від 04.03.2004.
7. *Грушка І. Г., Грушка Я.І.* Спосіб вимірювання електричної ємності та вологості і пристрій для його здійснення (варіанти). 001 N 22/00, 27/02, 27/12/ 27/22, № 200500714 від 26.01.2005.
8. *Грушка И. Г., Калинин Ю. И., Грушка Г. Г. и др.* Способ определения влажности сыпучих материалов. G 01 N 27/02, А. С. 1695209 (СССР): Бюлл. изобрет. – 1991. – № 44, 30.11.1991.
9. *Грушка И. Г., Рубан М. А.* Датчик влажности почвы // G 01 N 25/56, а. с. 987492 СССР: Бюлл. изобрет. – 1982. – № 29. – С. 182.
10. *Грушка І. Г., Рубан М. А.* Датчик вологості ґрунтів // G 01 N 25/56: Патент UA № 239. – Бюл. №1, 30.04.1993.
11. *Грушка І. Г., Рубан М. А., Грушка Г. Г. та ін.* Датчик вологості // G01N27/02, патент UA № 277798. Бюл. № 5, 16.10.2000.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*