

УДК 681.513

О.О. БРОВАРЕЦЬ\*

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ**

\*Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, Україна

**Анотація.** Сучасне землеробство передбачає виконання певної технологічної операції згідно з відповідною картограмою-завданням, яка попередньо розробляється на основі різнопланової інформації. Знання певної структури варіабельності ґрунтового покриву, отримані з використанням інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення для ефективного управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь. Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. У зв'язку з цим ставиться завдання отримання достовірних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища шляхом зменшення похибки при визначенні величини електропровідних властивостей ґрунту, забезпечення індивідуальної стабілізації робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів, копіювання нерівностей ґрунтового середовища, зменшення інтенсивності руйнування структури ґрунту, самоочищення робочого контакту електрода і забезпечення стабільності електричного контакту електрода із ґрунтом шляхом удосконалення конструкції приладу. Поставлене завдання досягається шляхом використання інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища.

**Ключові слова:** інформаційно-технічна система, локальний оперативний моніторинг, ґрунт, проби, варіабельність, величина, дослідження.

**Аннотация.** Современное земледелие предполагает выполнение определенной технологической операции согласно соответствующей картограмме-задаче, которая разрабатывается предварительно на основе разнообразной информации. Знание определенной структуры вариабельности почвенного покрова, полученное с использованием информационно-технических систем локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий, позволяет принять эффективные оперативные решения для эффективного управления агробиологическим потенциалом сельскохозяйственных угодий. Очевидно, что при таких условиях возникает необходимость в принципиально новых подходах к ведению агропромышленного производства и заключается в обеспечении надлежащего качества выполнения технологических операций. Качество выполнения технологических операций является интегральным показателем эффективности производства сельскохозяйственной продукции в пределах агробиологического поля. Необходимое качество выполнения основных технологических процессов в растениеводстве обеспечивается за счет интегрированных информационно-технических систем оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий. В связи с этим ставится задача получения достоверных данных об агробиологическом состоянии почвенной среды путем уменьшения погрешности при определении величины электропроводящих свойств почвы, обеспечения индивидуаль-

ной стабилизации рабочих электродов и механизма подъема / опускания рабочих электродов, копирования неровностей почвенной среды, уменьшения интенсивности разрушения структуры почвы, самоочистки рабочего контакта электрода и обеспечения стабильности электрического контакта электрода с грунтом путем усовершенствования конструкции прибора. Поставленная задача достигается путем использования информационно-технической системы оперативного мониторинга состояния почвенной среды конструкции для определения электропроводящих характеристик почвенной среды.

**Ключевые слова:** информационно-техническая система, локальный оперативный мониторинг, почва, пробы, вариабельность, величина, исследования.

**Abstract.** Modern agriculture involves the implementation of a particular technological operation, according to the appropriate map-task, which is developed pre-based on diverse information. Knowledge of a certain structure of soil cover variability, obtained using information and technical systems of local operational monitoring of agrobiological state of agricultural lands, allows to adopt effective operational decisions for efficient management of agrobiological potential of agricultural lands. Obviously, under such conditions, there is a need for fundamentally new approaches to agricultural production, which is to ensure the proper quality of technological operations. The quality of the implementation of technological operations is an integral indicator of the efficiency of production of agricultural products within the agrobiological field. The necessary quality of implementation of the basic technological processes in plant growing is provided by the integrated information and technical systems of operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands. In the context of this, the task is to obtain reliable data on the agrobiological state of the soil environment by reducing the error in determining the magnitude of the conductive properties of the soil, providing individual stabilization of the working electrodes and the mechanism of lifting/lowering working electrodes, copying inequalities of the soil environment, reducing the intensity of the destruction of the soil structure, self-cleaning of the working contact of the electrode and ensuring the stability of the electrical contact of the electrode with the soil, by instrument design perfection. The task is achieved by using the information and technical system of operational monitoring of the soil environment of the structure to determine the conductive characteristics of the soil environment.

**Keywords:** information and technical system, local operational monitoring, soil, samples, variability, size, research.

DOI: 10.34121/1028-9763-2019-3-55-66

## 1. Вступ. Постановка проблеми

Один із головних підходів при застосуванні технологій точного землеробства – це оптимізувати урожайність і забезпечити екологічну якість сільськогосподарської продукції із урахуванням зон управління сільськогосподарським полем. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для визначення величини прибутку на основі даних просторової мінливості та вмісту поживних речовин у ґрунті. Знання певної структури варіабельності ґрунтового покриву дозволяє прийняти ефективні рішення для управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь [1].

Огляд сучасних літературних джерел та наукових розробок [1] показує, що останніми роками відбувається процес інтеграції натурального (органічного, або біологічного), біодинамічного, екстенсивного, інтенсивного (промислового) та no-till землеробства з новітніми технологіями, зокрема, з інформаційно-технічними системами локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Сучасне сільськогосподарське виробництво передбачає широке використання автоматизованих систем для моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Втілення сучасних технологій землеробства дозволяє планувати витрати насінневого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте, на сьогодні при реалізації даних технологій бракує ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарсь-

ких угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2–4].

У цьому сенсі набувають актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

У зв'язку з цим важливим завданням є розробка і обґрунтування сучасної інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Структура ґрунту змінюється у значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, як, наприклад, ґрунтова структура, мають прямий ефект на водомісткість, ємність катіонного обміну, урожайність тощо. Поживні речовини, що містяться у ґрунтах, використовуються рослиною, і їх вміст у ґрунті зменшується. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунті є вміст азоту, наявність якого у ґрунті значною мірою визначає урожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності широко використовується як ефективний засіб відображення ґрунтової структури і інших ґрунтових властивостей [5]. Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь – важливий компонент для зональних методів управління [6].

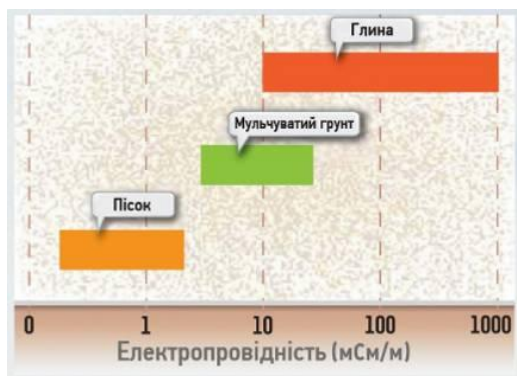


Рисунок 1 – Електропровідність ґрунту

Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися при відборі проб (рис. 1).

Для картографування ґрунту приладом EC Veris 3100 використовується позашляховик, який оснащено бортовим комп'ютером з технологією паралельного водіння, GPS-приймачем, (рис. 2) та причіпним агрегатом із дисками (з розміщеними з дисками-електродами). При проведенні вимірювань агрегат рухається по полю з зануреними у ґрунт дисками на глибину 2–5 см, одна пара ізолюваних електродів вводить електричний струм у ґрунт, інші електроди вимірюють струм, що змінюється в залежності від опору ґрунту [4].

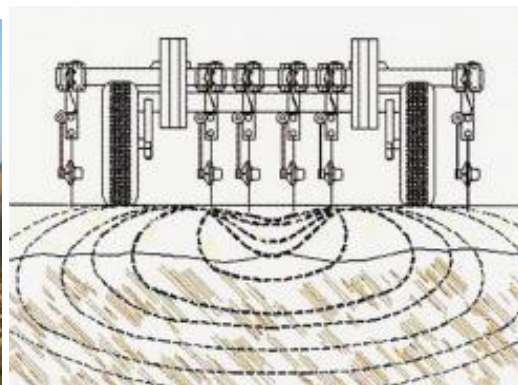


Рисунок 2 – Пристрій EC Veris 3100

Причіпний агрегат Veris тягнеться по полю, одна пара ізолюваних електродів вводить електричний струм у ґрунт, а інша пара вимірює падіння напруги, яка буде відрізнитися. Так, наприклад, глина проводить струм краще, ніж мул або пісок. Заміри електропровідності поєднуються з даними GPS і наочно відображаються у вигляді карти. Veris 3100 вико-

ривує два промені електропровідності для картографування двох глибин ґрунтів (0–30,5 см і 0–91,5 см) одночасно.

Veris 3100 формує два набори карт: карту поверхневого шару (30,5 см) і карту, що захоплює кореневу зону (91,5 см). Карта верхнього шару часто використовується для вибору місць забору проб, а більш глибока карта – для визначення норми внесення добрив (особливо азотних) [5].

Дані пристрої надто вартісні і дають значну похибку при вимірюваннях. Це створює умови для подальшого дослідження даних систем.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища використовують перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

На рис. 3 зображено загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид зверху), рис. 4 – зображено загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця (вид збоку).

Таке технологічне рішення дасть можливість забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) з урахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

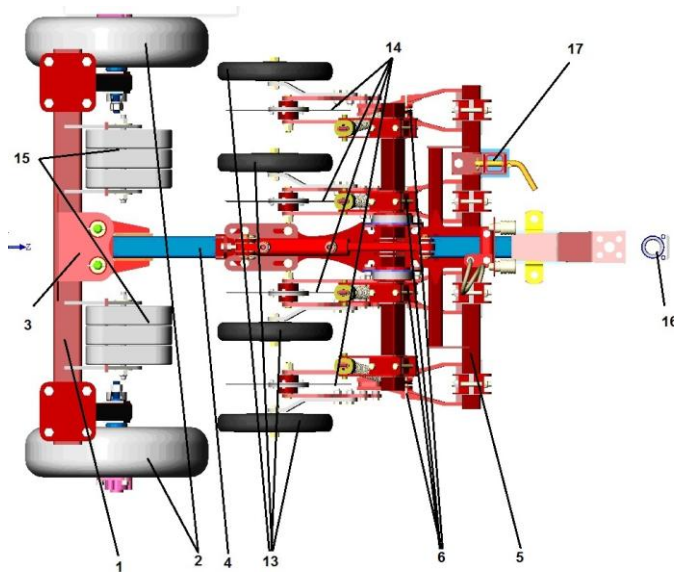


Рисунок 3 – Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища

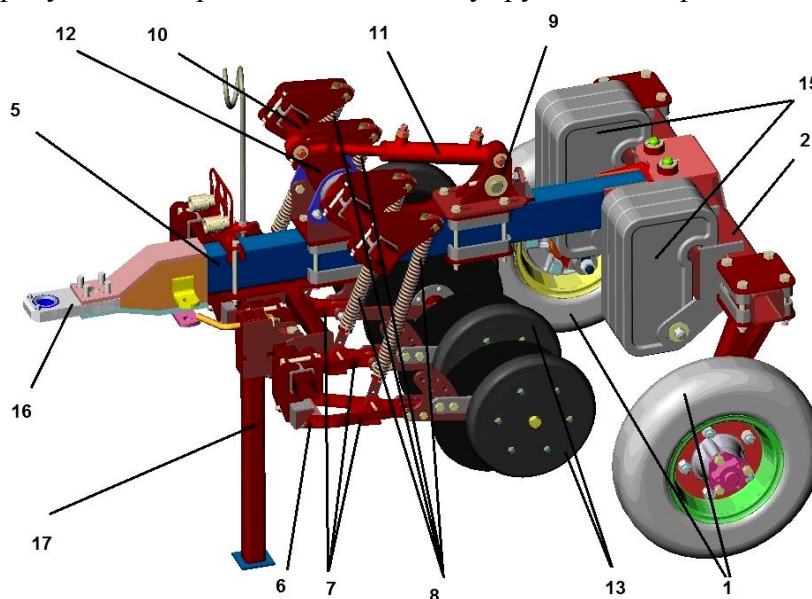


Рисунок 4 – Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця складається (рис. 4) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, поздовжньої рами 4, поперечної рами 5, шарнірів 6, важелів 7, стояків-пружин 8, кронштейна 9, обертового валу 10, гідроциліндра 11, кронштейна кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопу 16 та підставки 17.

При використанні такого пристрою є значна похибка при визначенні, яка обумовлена тим, що під час виконання робочого процесу порушується стабільність контакту диска-електрода з ґрунтом, що викликано поперечними відхиленнями робочих дисків-електродів відносно прямолінійного напрямку руху, обумовленого конструкцією пристрою, відсутністю копіювання нерівностей поверхні поля дисками-електродами. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода із ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати із ґрунтом.

*Метою даного дослідження є розробка методики розрахунку питомої електропровідності агробіологічного ґрунтового середовища стаціонарним контактним методом робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу.*

### **3. Виклад основного змісту дослідження. Вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища**

Електропровідність (soil conductivity) – це властивість матеріалу передавати (проводити) електричний струм, вимірювана в сименсах на метр (См/м) або в милісименсах на метр (мСм/м).

#### **3.1. Сфера використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця**

Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця – пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця може працювати з ручними пристроями, розміщуватися на транспортних засобах високої прохідності, на сільськогосподарських та енергетичних засобах, які виконують технологічну операцію, що дозволяє отримувати оперативні дані про агробіологічний стан ґрунтового середовища та приймати оперативні рішення щодо керування нормою внесення технологічного матеріалу (насіння, мінеральних добрив тощо).

Важливим параметром при вимірюванні електропровідних характеристик ґрунтового середовища є забезпечення стабільної площі контакту робочих електродів із ґрунтом. Наявні конструкції не повністю виконують зазначені умови, що негативно впливає на достовірність отриманої інформації. У зв'язку з цим виникла необхідність у розробці конструкції, яка б забезпечувала стабільність робочих електродів із ґрунтом під час вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

Для унаочнення недоліків наявної конструкції та переваг розробленої конструкції подано їхні схеми на рис. 5.1, 5.2, 6.

Варто сказати, що наявна і розроблена (рис. 5.1, 5.2, 6) конструкція систем має ряд спільних елементів, зокрема, спільними елементами є: 1 – опорне колесо, 2 – рама, 3 робочий електрод. Далі наявна система містить 4 – стояк, який жорстко з'єднаний з рамою, тому при русі сільськогосподарськими угіддями така система може утворювати борозни шириною  $h$  внаслідок виникнення кутів крену, деференту та рискання, зумовлених непрямолінійним рухом агрегатів, внаслідок їхнього відхилення або поворотів. У свою чергу, це сприяє виникненню похибок вимірювання електропровідних параметрів ґрунтового середовища, оскільки одна сторона диску взагалі не контактує із ґрунтом (рис. 5.2 а).

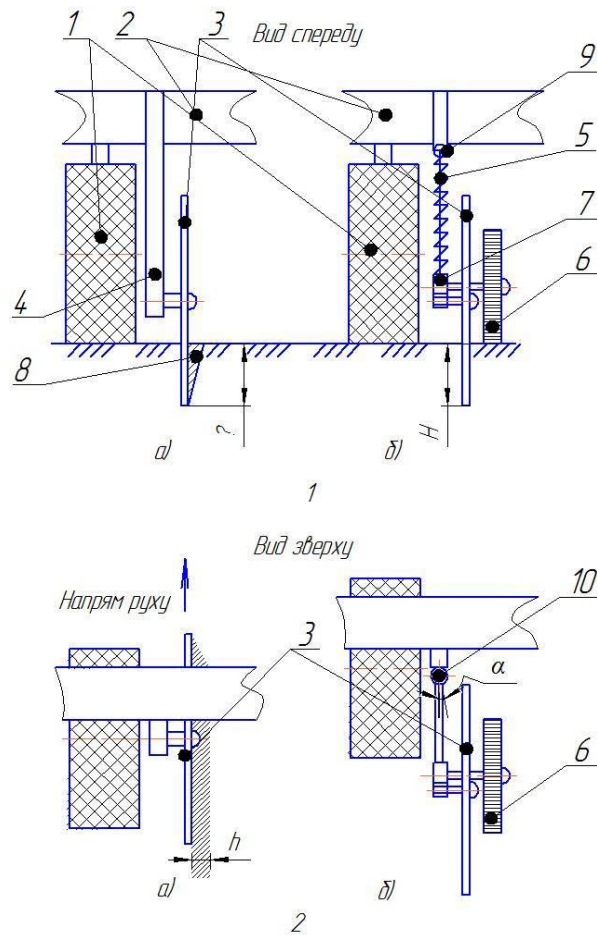


Рисунок 5 – Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид спереду, вид зверху): а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція; 1 – опорне колесо; 2 – рама; 3 – робочий електрод; 4 – стояк; 5 – вертикальний стояк підвіски; 6 – копіювальне колесо; 7 – регулювальний механізм глибини колеса; 8 – утворена робочим електродом борозна; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

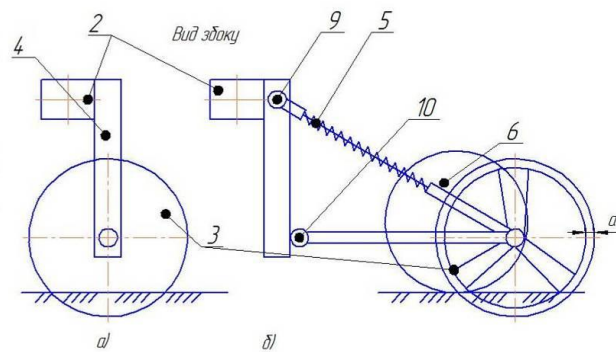


Рисунок 6 – Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид збоку): а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція; 2 – рама; 3 – робочий електрод; 4 – стояк; 6 – опорне колесо; 5 – вертикальний стояк підвіски; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

У розробленій конструкції дана проблема виключена внаслідок компенсації таких кутів частково за рахунок підвіски, а частково – верхніми та нижніми шарнірами підвіски розробленої конструкції, які дозволяють компенсувати поперечне відхилення  $\alpha$  у межах 15–20 градусів, при цьому забезпечити стабільний контакт електродів із ґрунтом. З використанням копіювальних коліс 6 (рис. 4.1, 4.2, 5) у наявній конструкції чітко забезпечуєть-

ся глибина  $H$  руху робочих електродів у ґрунті. У наявній конструкції (рис. 4.1, 4.2, 5) вона змінюється внаслідок кутів деферента, обумовлених коливанням та поперечним переміщенням конструкції системи під час руху нерівностями поверхні поля.

Загальними принциповими відмінностями інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища – пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища – є:

1. Наявність копіювального колеса, яке визначає глибину ходу робочого електрода у ґрунті  $H$ .

2. Підвіска опорного колеса та робочих електродів.

3. Триспицевий тонкостінний металевий диск з ободом для забезпечення стабільної площі контакту електродів із ґрунтом.

4. Шарнірне розміщення важільної підвіски робочих електродів із ґрунтом для компенсації кутів крену, деферента та рискання, обумовлених рухом машинно-тракторного агрегату інформаційно-технічною системою оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця та забезпечення стабільного контакту робочих електродів із ґрунтом.

Технічний результат, який досягається з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового, є:

1. Забезпечення стабільного контакту електродів із ґрунтом: внаслідок компенсації кутів крену, деферента та рискання, обумовлених рухом технічної системи.

2. Визначення глибини входження робочого електрода у ґрунт з використанням копіювального колеса.

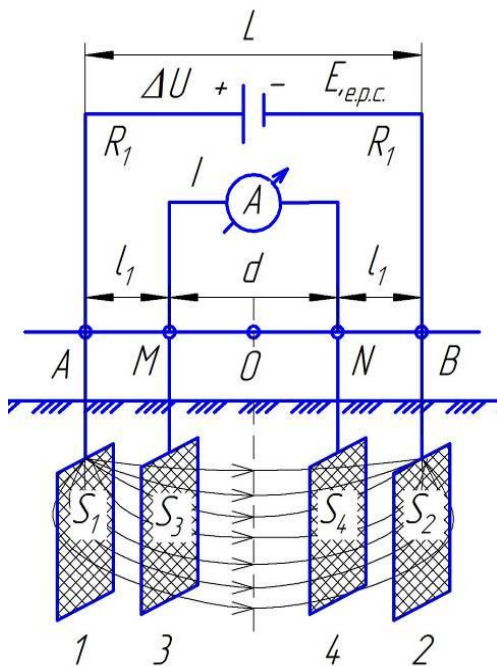


Рисунок 7 – Розрахункова схема вимірювання питомої електропровідності ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь із використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища

3. Зменшення приросту площі на одиницю глибини/входження у ґрунт робочого електрода, обумовленого конструкцією триспицевого тонкостінного металевого диску з ободом у розробленій конструкції.

4. Відсутність утворення борозни робочими електродними внаслідок компенсації кута рискання верхніми та нижніми шарнірами підвіски кута  $\alpha$ .

### 3.2. Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту ( $\rho$ ) стаціонарним контактним методом

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища дає можливість оперативно визначити зони варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища та ідентифікувати їх подальшим лабораторним аналізом.

Таке технологічне рішення дасть можливість забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Виведемо формулу для визначення питомої електропровідності. Спроекуємо еквівалентну розрахункову схему інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища (рис. 1).

На схемі приймемо  $S_4 = S_3$ ,  $S_2 = S_1$ . Можливо, вірно буде  $S_3 = S_4$ ,  $S_1 = S_2$ .

### 3.3. Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту ( $\sigma$ ) стаціонарним контактним методом

Позначимо  $S_4 = S_3$ ,  $S_2 = S_1$ .

Закон Ома для повного ланцюга (замкненого):

$$I = \frac{E_{e.p.c.}}{R + r}, \quad (1)$$

де  $E_{e.p.c.}$  – електрорушійна сила батареї живлення, В;

$R$  – повний опір кола, Ом;

$r$  – внутрішній опір батареї, Ом.

$$R = 2 \cdot R_1 + \frac{\rho \cdot 2 \cdot l_1}{S_1} + \rho \cdot \frac{d}{S_3}, \quad (2)$$

де  $R_1$  – опір проводів і крайніх щупів, Ом;

$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$  – питомий опір ґрунту;

$S_1$  – площа поперечного перерізу робочого електрода, зануреного у ґрунт (крайніх робочих електродів (щупів) 1 і 2);

$S_3$  – площа поперечного перерізу робочого електрода, зануреного у ґрунт (внутрішніх робочих електродів (щупів) 3 і 4).

Позначимо згідно зі схемою:  $S_3 = S_4$ ,  $S_1 = S_2$ .

Нехай  $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S$ . Тоді формула для  $R$  матиме такий вигляд:

$$R = 2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d). \quad (3)$$

Отже, формула для розрахунку струму набуває такого вигляду:

$$I = \frac{E_{e.p.c.}}{2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r}. \quad (4)$$

Напруга  $U$ , В на ділянці 3–4 визначається так:

$$U = I \cdot \frac{\rho}{S} \cdot d, \quad [U] = \text{Вольт}. \quad (5)$$

Щільність струму на робочих електродах інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь (на одиницю площі поперечного перерізу ділянки (3–4)) має такий вигляд:

$$j = \frac{I_{\text{кола}}}{S}, \quad [j] = \frac{\text{А}}{\text{м}^2}. \quad (6)$$

Щільність струму визначається так:



$$j = \sigma \cdot E, \quad (7)$$

де  $E$  – напруженість поля на ділянці робочих електродів 3–4,

$$[E] = \frac{B}{m}, \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{j}{E}, \quad [\rho] = \frac{\left(\frac{A}{m^2}\right)}{\frac{B}{m}} = \frac{A}{B \cdot m} = \frac{1}{\left(\frac{B}{A}\right) \cdot m} = \frac{1}{Om \cdot m} = \frac{1}{m} = \frac{Om}{m} = \frac{Cm}{m} = \frac{Cименс}{m}.$$

Отже,  $[\sigma] = \frac{Cm}{m}$ .

Вважаючи поле на ділянці 3–4 однорідним електричним полем, можемо визначити:

$$E = \frac{U}{d}. \quad (9)$$

Підставимо (9) і (4), (6) у формулу (8), тоді остаточно матимемо

$$\frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot S} = \sigma \cdot \frac{U}{d}. \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{E_{e.p.c} \cdot d}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot S \cdot U} = \frac{E_{e.p.c} \cdot d}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot S \cdot \left(\frac{\rho}{S}\right) \cdot I \cdot d} = \\ &= \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot S \cdot I \cdot \left(\frac{\rho}{S}\right)} = \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot I \cdot \rho}. \end{aligned} \quad (11)$$

Остаточно:

$$\sigma = \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot I \cdot \rho}. \quad (12)$$

$$[\sigma] = \frac{Cm}{m}.$$

Дійсно:

$$[\delta] = \frac{\text{Вольт}}{(Om) \cdot A \cdot (Om \cdot m)} = \frac{A}{A \cdot (Om \cdot m)} = \frac{1}{Om} = \frac{Cm}{m}.$$

Отже, результат:  $I$  – вимірюємо в Амперах, тоді  $[\sigma]_{\text{зрунту}}, \frac{Cm}{m}$ :

$$\sigma_{\text{зрунту}} = \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot I \cdot \rho}. \quad (13)$$

Одиниці вимірювання запропонованих параметрів такі:  $[E_{e.p.c}] = B$ ,  $[R_1] = [r] = Ом$ ,  $[\rho] = Ом \cdot м$ ,  $[l_1] = [d] = м$ ,  $[I] = Ампер$ ,  $[E_{e.p.c}]$ ,  $[r]$  – паспортні дані джерела електричної енергії (батареї живлення),  $S, l_1, d$  – геометричні розміри установки,  $\rho$  – питомий опір ґрунту (визначається заздалегідь).

По суті  $\sigma = \frac{1}{\rho}$ . Тобто питомий опір, обернений електропровідності. Тому маємо

$$\frac{1}{\rho} = \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot I \cdot \rho}. \quad (14)$$

Звідси

$$1 = \frac{E_{e.p.c}}{\left(2 \cdot R_1 + \frac{\rho}{S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r\right) \cdot I}. \quad (15)$$

Тоді з (15) маємо

$$2 \cdot R_1 + \frac{1}{\sigma \cdot S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) + r = \frac{E_{e.p.c}}{I}, \quad (16)$$

$$\frac{1}{\sigma \cdot S} \cdot (2 \cdot l_1 + d) = \frac{E_{e.p.c}}{I} - 2 \cdot R_1 - r, \quad (17)$$

$$\frac{1}{\sigma \cdot S} = \frac{\left(\frac{E_{e.p.c}}{I} - 2 \cdot R_1 - r\right)}{(2 \cdot l_1 + d)}, \quad (18)$$

$$\sigma \cdot S = \frac{(2 \cdot l_1 + d)}{\left(\frac{E_{e.p.c}}{I} - 2 \cdot R_1 - r\right)}. \quad (19)$$

Остаточна формула для розрахунку питомої електропровідності ґрунту з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь:

$$\sigma = \frac{(2 \cdot l_1 + d)}{S \cdot \left(\frac{E_{e.p.c}}{I} - 2 \cdot R_1 - r\right)}. \quad (20)$$

Розмірність:

$$[\sigma] = \frac{м}{Ом} = \frac{См}{м}. \quad (21)$$

#### 4. Висновок

Запропонована методика розрахунку питомої електропровідності агробіологічного ґрунтового середовища стаціонарним контактним методом робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу дозволить отримання достовірних даних про стан ґрунтового середовища шляхом зменшення похибки при визначенні величини електропровідних властивостей ґрунту, забезпечення індивідуальної стабілізації

робочих електродів та механізму піднімання/опускання робочих електродів, копіювання нерівностей ґрунтового середовища, зменшення інтенсивності руйнування структури ґрунту, самоочищення робочого контакту електрода і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом шляхом удосконалення конструкції приладу з використанням запропонованої методики.

Результатом використання пристрою для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції є отримання підвищення прибутку на 20–30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу з врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В.В., Мойсеєнко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”, 2002. Вип. 86. С. 20–32.
2. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства. *Техніка і технології АПК*. 2016. № 10 (85). С. 28–30.
3. Броварець О.О. Інформаційно-технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 9–29.
4. Вадюнина А.Ф. К оценке электропроводности как метода определения влажности почв. *Почвоведение*. 1937. № 3. С. 391–404.
5. Воробьев Н.И. К вопросу кондуктометрического определения засоленности почв и ґрунтов. *Почвоведение*. 1955. № 4. С. 103.
6. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. 7 с.
7. Гуков Я.С., Линник Н.К., Мироненко В.Г. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений. *Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия*. Рязань, 2001. С. 48–50.
8. Копикова Л.П. Опыт применения методов электропроводности для составления детальныx почвенномелиоративныx карт. Копикова Л.П. *Бюллетень ВИУА*. 1979. № 43. С. 21–23.
9. Масло І.П., Мироненко В.Г. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин. *УААН: Розробки–виробництво*. К.: Аграрна наука, 1999. С. 348–349.
10. Медведев. В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть I. Введение в проблему. Харьков, 2007. 296 с.
11. Ормаджи К.С. Контроль качества полевых работ. М.: Росагропромиздат. 1991. 191 с.
12. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / ред. В.І. Кравчук, М.І. Грицишин, С.М. Коваль. К.: Аграрна наука, 2004. 398 с.
13. Brovarets O., Chovnyuk Yu. Modeling and analysis of efficient electromagnetic parameters of capillary system of electrical conductivity of agricultural soils i: method of analysis of non-stationary electromagnetic fields in dispersive and controlled environments. *MOTROL*. Vol. 2018. N 4. P. 13–18.
14. Brovarets O., Chovnyuk Yu. Technical-economic models of business management in the processes of agricultural production. *ECONTECHMOD. An international quarterly journal*. 2017. Vol. 6, N 3. P. 61–70.
15. Brovarets O., Chovnyuk Yu. Integrated systems of management for the performance of technological processes in agricultural production which depend on the initial and final moments of their operation time. *Teka*. 2017. Vol. 17, N 2. P. 79–90.
16. Brovarets O. Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling. *Teka*. 2017. Vol. 17, N 3. P. 49–53.
17. Hertz A., Hibbard D.Ch., Hibbard D.J. A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production. *Farm Economics* iss. 14, Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Champaign-Urbana, 1993. P. 218–231.

18. Wilcox G.G. Determination of electrical conductivity of soil solutions. *Soil Science*. 1947. Vol. 63. P. 107.
19. Ewart G.Y., Baver L.D. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships. *Soil Scien. Soc. Amer.* 1950. Vol. 15. P. 56–63.
20. Rhoades J.D., Schifgaarde J. Van. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Scien. Soc. Amer. J.* 1976. N 5. P. 647–651.

*Стаття надійшла до редакції 13.03.2019*