

УДК 681.513

© О.О. Броварець, к.т.н.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

DOI: <https://doi.org/10.36910/agromash.vi43.197>

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПИТОМОЇ
ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО
ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СТАЦІОНАРНИМ
КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ**

Сучасне землеробство передбачає виконання певної технологічної операції, згідно відповідної картограми-завдання, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації. Знання певної структура варіабельності ґрунтового покриву, отриманих 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.

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

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 електроду і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з 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.

Мета даного дослідження є визначення критичного навантаження при втраті стійкості тонкостінними робочими електродами виконаними у вигляді робочих електродів різної форми (тонкостінних суцільних, трьохспицевих та чотирьохспицевих дисків з різною товщиною ободу) інформаційно-технічної системи локального-оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища різної конфігурації при однобічному стисканні.

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА СИСТЕМА, ЛОКАЛЬНИЙ ОПЕРАТИВНИЙ МОНІТОРИНГ, ҐРУНТ, ПРОБИ, ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ, ВЕЛИЧИНА, ДОСЛІДЖЕННЯ

Постановка проблеми. Один з головних підходів при застосуванні технологій точного землеробства - оптимізувати урожайність і забезпечити екологічну якість сільськогосподарської продукції із врахуванням 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

грунті. Знання певної структура 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 насіннєвого 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 сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2, 3, 4].

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

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структура ґрунту змінюється в 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 зменшуються. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунтів 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].

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



Рис. 1 – Електропровідність ґрунту

Карти ґрунтової електропровідності дають можливість отримати картограми:

- Змінних норм внесення технологічного матеріалу (насіння і мінеральних добрив) на основі очікуваної врожайності по кожній окремій ділянці, розраховані виходячи з величини електропровідності.

- Змінні норми внесення насіння на основі даних про глибину верхнього (орного) шару ґрунту.

- Змінні норми внесення в ґрунт гербіцидів на основі даних про органічні речовини, структуру ґрунту і електропровідності.

- Змінні норми внесення вапна на основі даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища відповідно до рівнів електропровідності.

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 з дисками (з розміщеними в дисках-електродами). При проведенні вимірювань, агрегат рухається по полю із зануреними в 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].

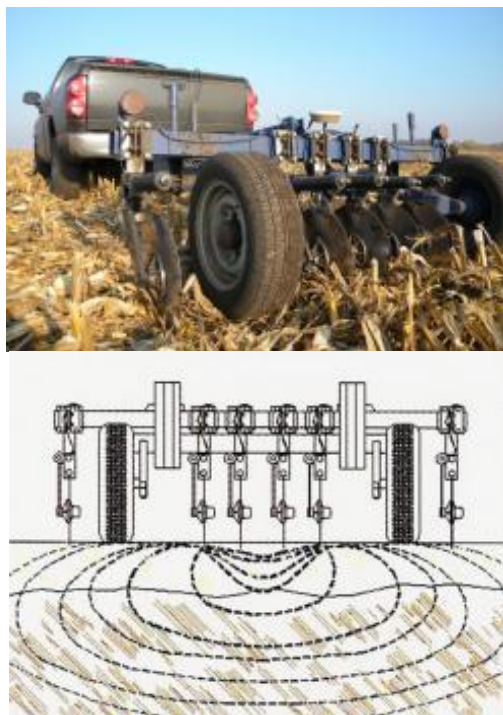


Рис. 2 – Пристрій EC Veris 3100

Причіпний агрегат Veris тягнеться по полю, одна пара ізолюваних електродів вводить електричний струм в 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 використовує 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 захоплюючу 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 та дають значну похибку при вимірюваннях, це створює умови для подальшого дослідження даних систем.

Метою дослідження є розробка ефективної інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця.

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

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, розмішуватися на транспортних засобах високої прохідності, розмішуватися 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).

Всі раніше декларовані елементи таких технологій точного (керованого) землеробства (лабораторний аналіз (одна проба на 5-10 га), урожайність) не давали можливості забезпечити такий точний підхід. Ця система дає можливість отримати достовірну інформацію про агробіологічний стан ґрунтового середовища із кожного квадратного метра сільськогосподарського поля.

Такої точності до сих пір не мають жодні представлені на ринку технології починаючи від лабораторного обстеження (одна проба на 5-10 га) і закінчуючи супутниковим моніторингом (точність до 10 м²). Крім того необхідно враховувати вартість даних технологій, оскільки собівартість однієї проби коливається в межах 1-10 \$, супутникового моніторингу – від 20 \$, у той час коли вартість такої проби з використання запропонованої конструкції технічної системи оперативного моніторингу складає менше 0,1 \$ за м² (табл. 1).

Таблиця 1 - Методи моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь

№ п/п	Метод моніторингу стану агробіологічного стану	Щільність відбору проб ґрунту на 100 га	Розмір ділянки з якої проводиться забір, м ²	Вартість однієї проби (знімку), \$, ум. од.	Вартість проби (знімку) на 100 га, \$, ум. од.
1	Лабораторний метод	10-15	10000* 1000	1-10	100- 1000
2	Супутниковий моніторинг	1 знімок роздільною здатністю до 10 м	100*100	10-100	100- 1000
3	Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	1000	10*10	0,1	100
4	Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь	10000	1*1	0,1	1000

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища дає можливість оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища (рис. 3).

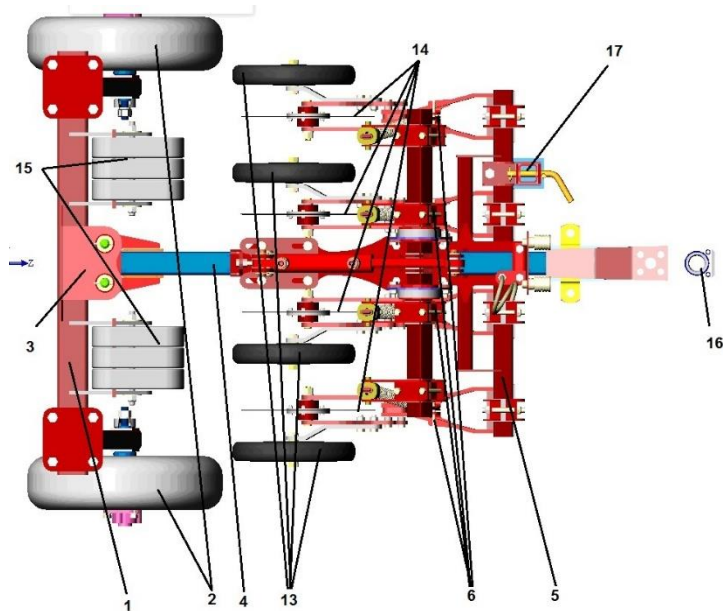


Рис. 3 – Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища

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) із врахуванням 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, кронштейну 9, обертового валу 10, гідроциліндру 11, кронштейну кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопу 16 та підставка 17.

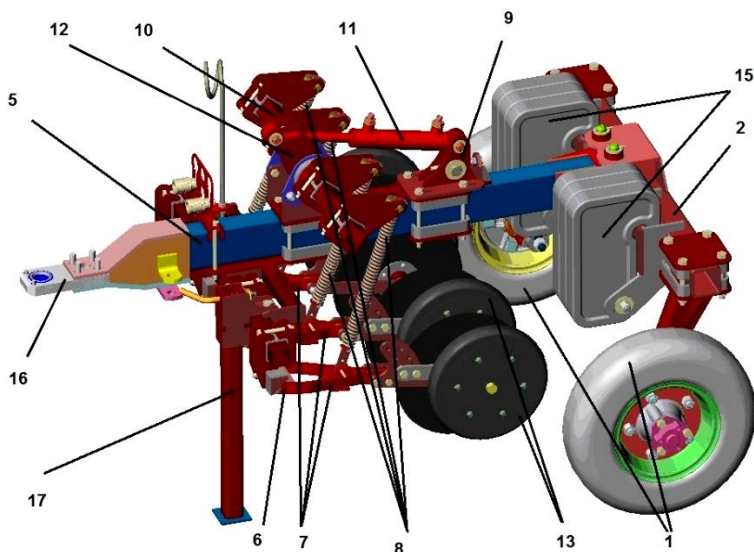


Рис. 4 – Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища

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 з ґрунтом, оскільки при поперечних

коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати із ґрунтом.

Важливим параметром при вимірюванні електропровідних характеристик ґрунтового середовища є забезпечення стабільної площі контакту робочих електродів з 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 з ґрунтом під час вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

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

Варто сказати, що наявна і розроблена (рис. 5.1, рис. 5.2, рис. 6) конструкція систем має ряд спільних елементів, зокрема спільними елементами є: 1 опорне колесо, 2 рама, 3 робочий електрод. Далі наявна система містить 4 стоек, 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 не прямолінійним 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 з ґрунтом (рис. 5.2, а).

У розробленій конструкції така проблема виключена внаслідок компенсації таких кутів частково за рахунок підвіски, а частково – верхніми та нижніми шарнірами підвіски розробленої конструкції, які дозволяють компенсувати поперечне відхилення α у межах 15-20 градусів, при цьому забезпечити стабільний контакт електродів з ґрунтом. З використанням копіювальних коліс 6 (рис. 4.1, 4.2, рис. 5) у наявній конструкції чітко забезпечується глибина H руху робочих електродів у ґрунті. У наявній конструкції (рис. 4.1, рис. 4.2., рис. 5.) вона змінюється внаслідок кутів деференту, обумовлених коливанням та поперечним переміщенням конструкції системи під час руху нерівностями поверхні поля.

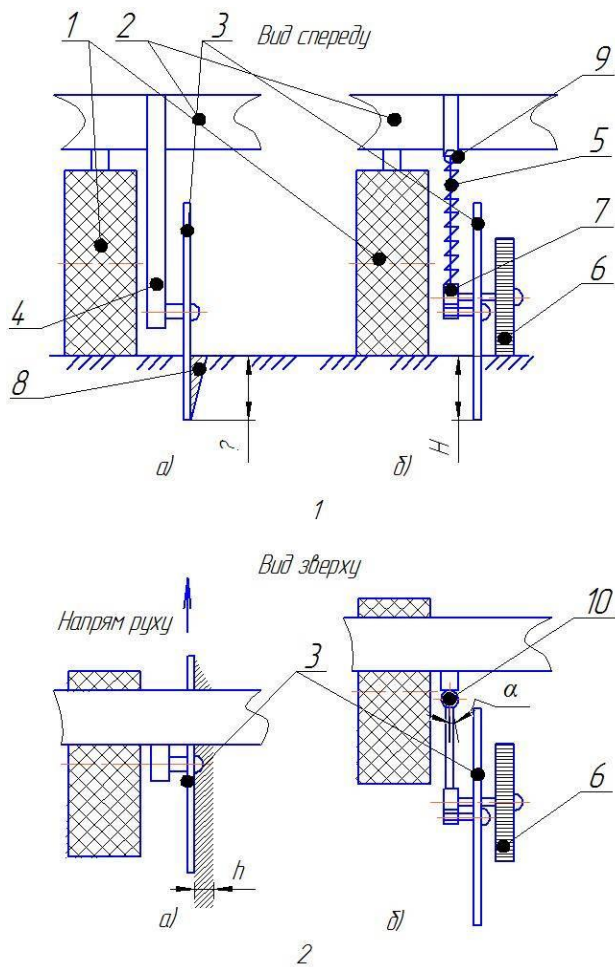


Рис. 5 – Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид спереду, вид зверху):

- а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція;
- 1 – опорне колесо; 2 – рама; 3 – робочий електрод; 4 – стойка;
- 5 – вертикальна стійка підвіски; 6 – копіювальне колесо;
- 7 – регулювальний механізм глибини колеса; 8 – утворена робочим електродом борозна; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір.

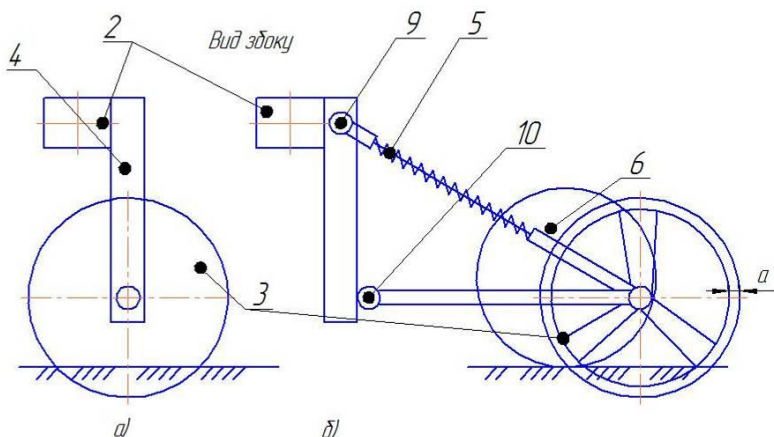


Рис. 6 – Порівняльна схема пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища (вид збоку):

- а) наявна конструкція; б) розроблена конструкція;
- 2 - рама; 3 – робочий електрод; 4 – стойка; 6 – опорне колесо; 5 – вертикальна стійка підвіски; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір.

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 електроду в ґрунті H .
2. Підвіска опорного колеса та робочих електродів.
3. Трьохспицевий тонкостінний металевий диск з ободом для забезпечення стабільної площі контакту електродів з ґрунтом.
4. Шарнірне розміщення важільної підвіски робочих електродів з ґрунтом для компенсації кутів крену, деференту 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 з ґрунтом.

Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту (ρ) стаціонарним контактним методом.

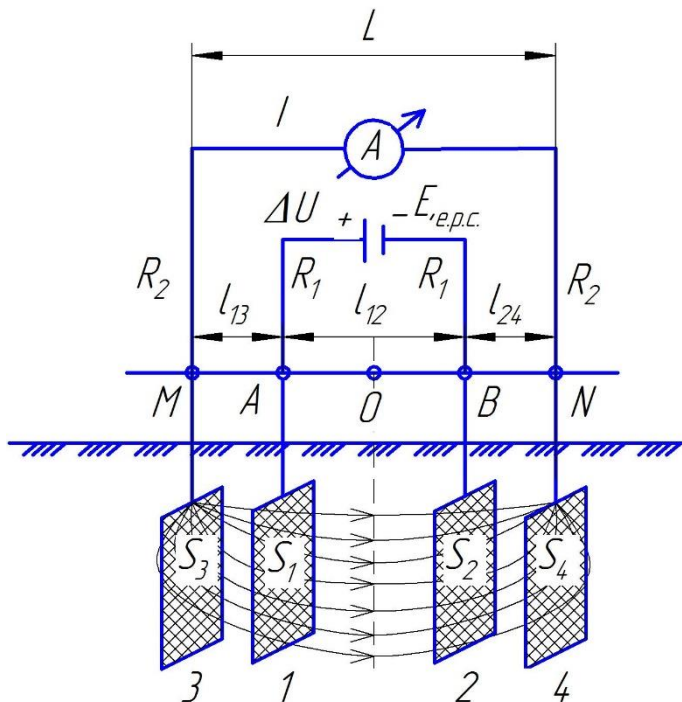


Рис. 5 - Розрахункова схема вимірювання питомої електропровідності ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища

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

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

2. Визначення глибини входження робочого електроду в ґрунт з використанням копіювального колеса.

3. Зменшення приросту площі на одиницю глибини/входження в ґрунт робочого електроду, обумовленого

конструкцією трьохспицевого тонкостінного металевого диску з ободом у розробленій конструкції.

4. Відсутність утворення борозни робочими електродами внаслідок компенсації кута ризиання верхніми та нижніми шарнірами підвіски кута α .

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.

Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту (σ) стаціонарним контактним методом. Спроекуємо еквіваленту розрахункову схеми інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторинг агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища (рис. 3).

Запишемо Закон Ома для повного ланцюга (замкненого):

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

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

$R_{повне}$ – повний опір кола, Ом;

r – внутрішній опір батареї, Ом.

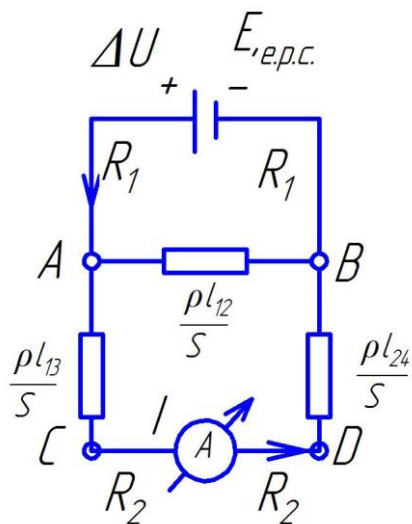


Рис. 6 – Еквівалентна розрахункова схеми інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторинг агробіологічного стану сільськогосподарських угідь ґрунтового середовища.

Тоді

$$I = \frac{E_{e.p.c.}}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}, \quad (2)$$

Повний опір кола буде визначатися за формулою:

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{\rho \cdot l_{13}}{S_{13}} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S_{24}} + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}{\left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} + \frac{\rho \cdot l_{13}}{S_{13}} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S_{24}} + 2 \cdot R_2 + R_{АМП} \right)}, \quad (3)$$

Середньо арифметичні площі робочих контактів пристрою для визначення агробіологічних параметрів ґрунтового середовища, M^2 :

$$S_{12} = \frac{S_1 + S_2}{2}, S_{13} = \frac{S_1 + S_3}{2}, S_{24} = \frac{S_2 + S_4}{2}. \quad (4)$$

Середньо арифметичні площі робочих контактів пристрою для визначення агробіологічних параметрів ґрунтового середовища, m^2 :

$$S_{13} = \frac{S_1 + S_3}{2}, S_{34} = \frac{S_3 + S_4}{2}, S_{42} = \frac{S_2 + S_4}{2}. \quad (5)$$

Тоді з виразу (1) будемо мати:

$$R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r = \frac{E_{e.p.c.}}{I}. \quad (6)$$

Звідси

$$R_{AB} = \frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r. \quad (7)$$

Як вірно R_{AMN} чи $R_{AMП}$?

Для реальної ситуації $(2 \cdot R_2, R_{AMN}) \rightarrow 0$. У ідеальному амперметра $R_{AMN} \rightarrow 0$, $2 \cdot R_2$ - опір проводів, що підводять струм до пластин S_3 та S_4 .

Тоді:

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}{\left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}. \quad (8)$$

Підставляємо (8) у (7) та отримуємо:

$$\frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}{\left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)} = \frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r, \quad (9)$$

$$\delta = \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}{\left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}. \quad (10)$$

Остаточно:

$$\delta = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}{\left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right)}. \quad (11)$$

Точна формула для даного випадку буде:

$$\frac{\rho \cdot l_{12} \cdot \left(\frac{\rho \cdot l_{13}}{S_{13}} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S_{24}} + 2 \cdot R_2 + R_{AMII} \right)}{S_{12}} = \frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \rho^2 \cdot \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right) + \rho \cdot \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}) &= \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \\ \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}) + \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \rho \cdot \left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right) & \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \rho^2 \cdot \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right) + \rho \cdot \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}) - \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \\ \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}) - \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \rho \cdot \left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Введемо позначення:

$$\left\{ \begin{aligned} A_1 &= \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot \left(\frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right); \\ A_2 &= \frac{l_{12}}{S_{12}} \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}) - \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot \left(\frac{l_{12}}{S_{12}} + \frac{l_{13}}{S_{13}} + \frac{l_{24}}{S_{24}} \right); \\ A_3 &= \left(\frac{E_{e.p.c.}}{I} - 2 \cdot R_1 - r \right) \cdot (2 \cdot R_2 + R_{AMII}). \end{aligned} \right. \quad (15)$$

Тоді маємо:

$$\rho^2 \cdot A_1 + \rho \cdot A_2 - A_3 = 0; \quad (16)$$

Звідси

$$\rho_{1,2} = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + 4 \cdot A_1 \cdot A_3}}{2 \cdot A_1}. \quad (17)$$

Оскільки, $\rho_1 > 0$, $\rho_2 < 0$, тоді корінь з мінусом перед радикалом не відповідає фізичному змісту величини ρ :

$$\rho = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + 4 \cdot A_1 \cdot A_3}}{2 \cdot A_1}. \quad (18)$$

Звідси остаточно маємо:

$$\delta = \frac{1}{\rho} = \frac{2 \cdot A_1}{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + 4 \cdot A_1 \cdot A_3}}. \quad (19)$$

Висновки. 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 електроду і забезпечення стабільності електричного контакту електрода з ґрунтом, шляхом удосконалення конструкції приладу з використанням запропоновано 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 із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Література:

1. Адамчук В.В., Мойсенко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глевах: ННЦ „ІМЕСГ”. 2002. Вип.86. С. 20-32.
2. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства Броварець О. 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 № 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 грунтов. Воробьев Н.И. Почвоведение. 1955. №4. С. 103.
6. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. 7с.
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 детальных почвенномелиоративных 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-виробництву. 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. - 191с.
12. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля. К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.

13. Oleksandr Brovarets, Yuriy Chovnyuk. 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. 19, 2018. No 4. p. 13- 18.

14. Oleksandr Brovarets, Yuriy Chovnyuk. Technical - economic models of business management in the processes of agricultural production. ECONTECHMOD. An international quarterly journal.2017. Vol. 6. No. 3, 61-70.

15. Oleksandr Brovarets, Yuriy Chovnyuk. 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, No 2. p. 79 - 90.

16. Oleksandr Brovarets. Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling. Teka. Vol. 17, 2017. No 3. p. 49 - 53.

17. Hertz A. Chad and John D. Hibbard. 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. v. 63. p. 107.

19. Ewart G.Y., Baver L.D. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships. Soil Scien. Soc. Amer. 1950. v. 15. pp. 56-63.

20. Rhoades J.D., Schifgaarde J. Van. Soil Scien. Soc. Amer. J. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. 1976. № 5. pp. 647-651.