

**ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ,  
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ  
ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

УДК 681.513

**Методика розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища  
робочими електродами інформаційно-технічної системи локального оперативного  
моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь**

**Броварець О. О.,**

к.т.н., завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін, Київський кооперативний інститут бізнесу і права

**Анотація**

**Мета.** Розробити методику розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища робочими електродами для забезпечення необхідної якості виконання основних технологічних процесів у рослинництві завдяки інтегрованим інформаційно-технічним системам оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**Методи.** Теоретичний науковий метод із використанням законів теоретичної механіки та наукових законів електродинамічного вимірювання для побудови методики розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища робочими електродами інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**Результати.** Отримана узагальнена формула для розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища робочими електродами інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**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 завдяки зменшенню похибки під час визначення 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 завдяки удосконаленню конструкції приладу з використанням запропонованих технічних рішень.

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

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

UDC 681.513

**Method of calculation specific electrical conductivity of soil environment by working  
electrodes of information and technical system in local operational monitoring  
of agro-biological state of agricultural lands**

**Brovaryts O. O.,**

Ph.D., Head of the Department of Information, Technical and Natural Sciences, Kyiv Cooperative Institute of Business and Law

**Annotation**

**Purpose.** Develop a methodology for calculating the specific electrical conductivity of

the soil environment with working electrodes to ensure the required quality of implementation of the main technological processes in plant cultivation

thanks to integrated information and technical systems for operational monitoring of the agro-biological state of agricultural lands.

**Methods.** Theoretical scientific method with the use of the laws of theoretical mechanics and scientific laws of electro-dynamic measurement for the construction of a method for calculating the specific conductivity of the soil environment by working electrodes of the information and technical system local operational monitoring the agro-biological state of agricultural lands.

**Results.** The generalized formula for calculating the specific electrical conductivity of the soil environment by working electrodes information and technical system of local operational monitoring of agro-biological state of agricultural lands was obtained.

**Conclusions.** The proposed method for calculating the specific electrical conductivity of the agro-biological ground environment by the stationary contact method of the working electrodes of the information and technical system

local operational monitoring will allow obtaining reliable data on the state of the soil environment by reducing the error in determining the value of the electrical conductive properties soil, providing individual stabilization of the working electrodes and the mechanism of lifting / lowering the workers electrodes, copying roughness inequalities on the environment, reduction the intensity destruction of the soil structure, self-cleaning working contact electrode and ensuring the stability of the electrical contact electrode with the soil due to the improvement of the design of the device with the use of the proposed technical solutions.

The result of using the device for determining the electrically conductive properties soil environment construction of Alexander Brovaryts is an increase in profits of 20–30% by optimizing the seeding rate of the process material, taking into account the agro-biological state of agricultural lands.

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

УДК 681.513

### Методика расчета удельной электропроводности почвенной среды рабочими электродами информационно-технической системы локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий

**Броварец А. А.,**

к.т.н., заведующий кафедрой информационно-технических и естественных дисциплин, Киевский кооперативный институт бизнеса и права

#### Аннотация

**Цель.** Разработать методику расчета удельной электропроводности почвенной среды рабочими электродами для обеспечения требуемого качества выполнения основных технологических процессов в растениеводстве благодаря интегрированным информационно-техническим системам оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

**Методы.** Теоретический научный метод с использованием законов теоретической механики и научных законов электродинамического измерения для построения методики расчета удельной электропроводности почвенной среды рабочими электродами информационно-технической системы локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

**Результаты.** Получена обобщенная формула для расчета удельной электропроводности почвенной среды рабочими электродами информационно-технической системы локального

оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

**Выводы.** Предложенная методика расчета удельной электропроводности агробиологической почвенной среды стационарным контактным методом рабочих электродов информационно-технической системы локального оперативного мониторинга позволит получение достоверных данных о состоянии почвенной среды благодаря уменьшению погрешности при определении величины электропроводящих свойств почвы, обеспечение индивидуальной стабилизации рабочих электродов и механизма подъема / опускания рабочих электродов, копирование неровностей почвенной среды, уменьшение интенсивности разрушения структуры почвы, самоочищение рабочего контакта электрода и обеспечение стабильности электрического контакта электрода с почвой благодаря усовершенствованию конструкции прибора с использованием предложенных технических решений.

Результатом использования устройства для определения электропроводящих свойств почвенной среды конструкции Александра

Броварца являється підвищення прибутку на 20–30% за счет оптимізації норми висева технологического материала с учетом агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

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

**Постановка проблеми.** Один із головних підходів у застосуванні технологій точного землеробства – оптимізувати врожайність і забезпечити екологічну якість сільськогосподарської продукції з врахуванням зон управління сільськогосподарським полем. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для прогнозування 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. Водночас 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, зокрема пального, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте, на сьогодні для 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].

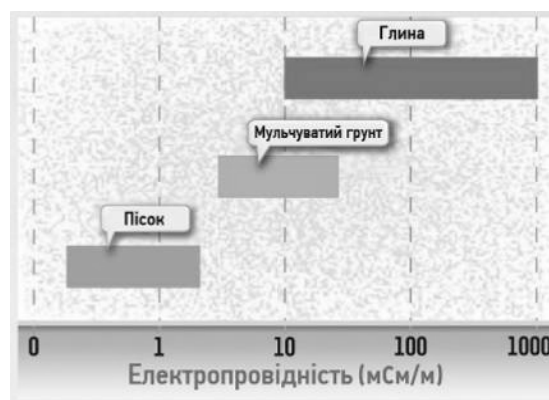
У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового

класу сільськогосподарських машин – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

У зв'язку з 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, врожайність тощо. Поживні речовини, що містяться в ґрунтах, використовуються рослиною і їхній вміст у ґрунті зменшується. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунті є вміст азоту, наявність якого в ґрунті значною мірою визначає врожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності широко використовується як ефективний засіб відображення ґрунтової структури й 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 під час відбору проб (рис. 1).



**Рис. 1.** Електропровідність ґрунту  
**Fig. 1.** Electrical conductivity of soil

Карти ґрунтової електропровідності дають можливість отримати картограми:

- змінних норм внесення технологічного матеріалу (насіння й мінеральних добрив) на основі очікуваної врожайності на

кожній окремій ділянці, розрахованих виходячи з величини електропровідності;

- змінних норм внесення насіння на основі даних про глибину верхнього (орного) шару ґрунту;

- змінних норм внесення в ґрунт гербіцидів на основі даних про органічні речовини, структуру ґрунту й електропровідність;



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

Для картографування ґрунту приладом EC Veris 3100 (рис. 2) використовується позашляховик, який оснащено бортовим комп'ютером із технологією паралельного водіння, GPS-приймачем та причіпним агрегатом із робочими електродами у вигляді дисків.

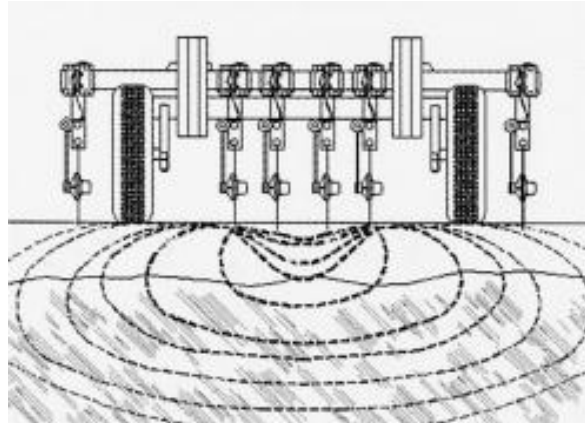


Рис. 2. Пристрій EC Veris 3100  
Fig. 2. EC device Veris 3100

Під час проведення вимірювань агрегат рухається по полю із зануреними в ґрунт дисками на глибину 2–5 см; одна пара ізольованих електродів вводить електричний струм у ґрунт, інші електроди вимірюють струм, що змінюється залежно від опору ґрунту [4].

Причіпний агрегат Veris тягнеться по полю, одна пара ізольованих електродів вводить електрострум у ґрунт, а інша пара вимірює падіння напруги, яка буде відрізнятися. 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, захоплюючи 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 під час вимірювань, що дає

привід для подальшого дослідження даних систем.

**Мета досліджень.** Розробити методику розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища робочими електродами для забезпечення необхідної якості виконання основних технологічних процесів у рослинництві завдяки інтегрованим інформаційно-технічним системам оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**Методи досліджень.** Теоретичний науковий метод із використанням законів теоретичної механіки та наукових законів електродинамічного вимірювання для побудови методики розрахунку питомої електропровідності ґрунтового середовища робочими електродами інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

**Результати досліджень**

**Вимірювання електропровідних властивостей ґрунтового середовища.** Електропровідність (soil conductivity) – це властивість матеріалу передавати (проводити) електричний струм, вимірювана в сіменсах на

метр (См/м) або в мілісіменсах на метр (мСм/м).

**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, розміщуватися 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).

Усі 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 з кожного квадратного метра сільськогосподарського поля.

Такої точності дотепер не мають жодні представлені на ринку технології, починаючи від лабораторного обстеження (одна проба на 5–10 га) і закінчуючи супутниковим моніторингом (точність до 10 м<sup>2</sup>). Крім того, необхідно враховувати вартість даних технологій, оскільки собівартість однієї проби коливається в межах 1–10 \$, супутникового моніторингу – від 20 \$, тимчасом як вартість такої проби з використання запропонованої конструкції технічної системи оперативного моніторингу складає менше 0,1 \$ за м<sup>2</sup> (табл.).

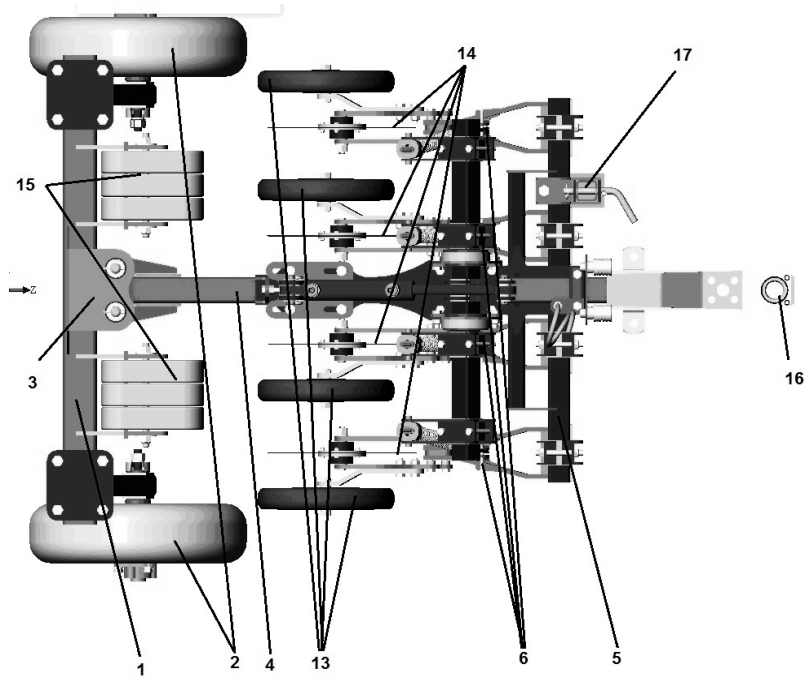
**Таблиця. Методи моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь**  
**Table. Methods of monitoring the agro-biological state of the soil environment of agricultural land**

№ п/п	Метод моніторингу агробіологічного стану	Щільність відбору проб ґрунту на 100 га	Розмір ділянки, з якої проводиться забір, м <sup>2</sup>	Вартість однієї проби (знімку), \$, ум. од.	Вартість проби (знімку) на 100 га, \$, ум. од.
1	Лабораторний метод	10–15	10 000*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 № 1	1000	10*10	0,1	100
4	Технічна система оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь № 2	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

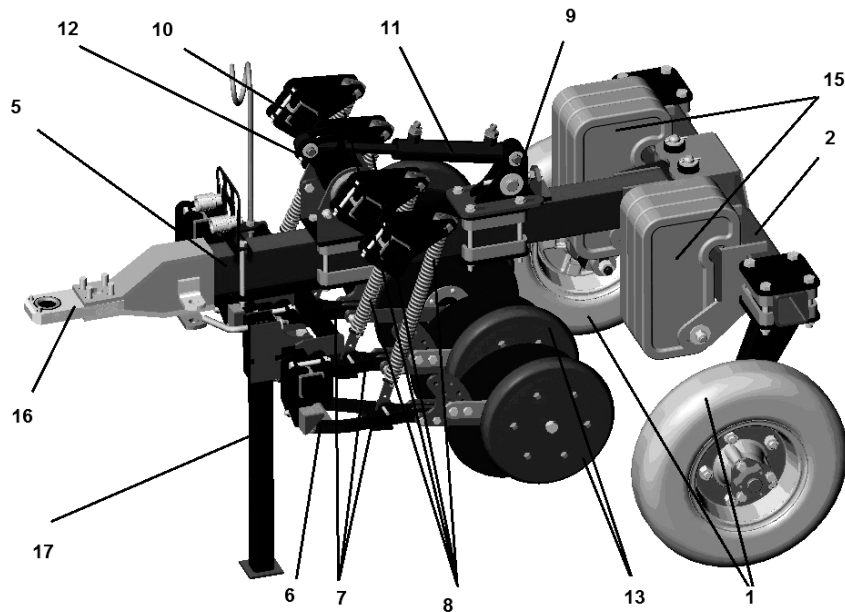
використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця зображено на рисунку 3 (вид зверху) і на рисунку 4 (вид збоку).



**Рис. 3.** Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища (вид зверху)

**Fig. 3.** General view information and technical system of local operational monitoring state of the soil (top view)



**Рис. 4.** Загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища (вид збоку):

- 1 – опорні колеса; 2 – П-подібна рама; 3 – кріплення; 4 – повздовжня рама; 5 – поперечна рама;  
6 – шарніри; 7 – важелі; 8 – стояки-пружини; 9 – кронштейн; 10 – обертовий вал;  
11 – гідроциліндр; 12 – кронштейн кріплення; 13 – копіювальні колеса; 14 – робочі електроди;  
15 – баласт; 16 – фаркоп; 17 – підставка

**Fig. 4.** General view of the information and technical system of local operational monitoring agrobiological state of the soil environment (side view):

- 1 – bearing wheels; 2 – P-shaped frame; 3 – fastening; 4 – longitudinal frame; 5 – transverse frame; 6 – hinges;  
7 – levers; 8 – springs; 9 – bracket; 10 – rotary shaft; 11 – hydraulic cylinder; 12 – bracket mount;  
13 – copier wheels; 14 – working electrodes; 15 ballast; 16 – tow hitch; 17 – a stand

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.

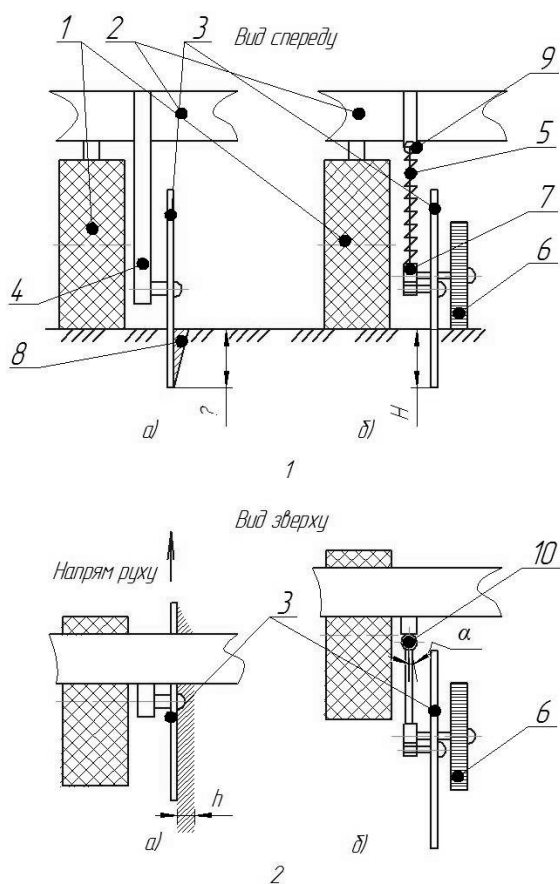
Це відкриває нові перспективи для ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин і дає змогу забезпечити оптимальне керування нормою висіву технологічного матеріалу (насіння, добрива тощо) з врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Під час використання такого пристрою є значна похибка у 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. Водночас змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки в разі поперечних коливань плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати з ґрунтом.

Важливим параметром у 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.

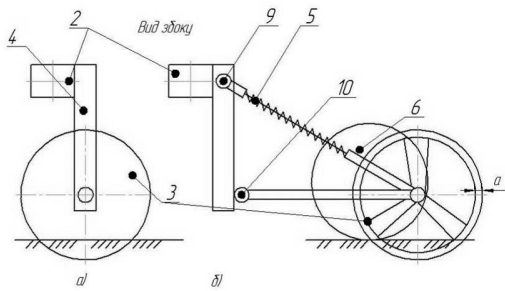
Для унаочнення недоліків наявної конструкції та переваг розробленої конструкції подано їхні схеми на рисунках 5 і 6.



**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 – стійка; 5 – вертикальна стійка підвіски; 6 – копіювальне колесо; 7 – регулювальний механізм глибини ходу робочих електродів; 8 – утворена робочим електродом борозна; верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

**Fig. 5.** Comparative diagram of the device for determining the conductive characteristics of the soil environment (front view, top view):

- a) available construction; б) the design is developed;
- 1 – support wheel; 2 – frame; 3 – working electrode;
- 4 – stand; 5 – vertical suspension of suspension;
- 6 – copier wheel; 7 – the regulating mechanism of the depth of the working elements;
- 8 – furrow formed by a working electrode; upper hinge; 10 – lower hinge



**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 – стійка; 5 – вертикальна стійка підвіски; 6 – опорне колесо; 9 – верхній шарнір; 10 – нижній шарнір

**Fig. 6.** Comparative diagram of the device for determining the conductivity characteristics of the soil environment (side view):

- а) available construction; б) the design is developed;  
2 – frame; 3 – working electrode; 4 – stand; 5 – vertical suspension of suspension; 6 – support wheel; 9 – upper hinge; 10 – lower hinge

Варто зазначити, що наявна і розроблена (рис. 5 і 6) конструкції систем мають ряд спільних елементів, зокрема спільними елементами є: опорне колесо 1, рама 2, робочий електрод 3. Далі наявна система містить стояк 4, який жорстко з'єднаний з рамою, тому під час руху 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. Зі свого боку це сприяє виникненню похибок вимірювання електропровідних параметрів ґрунтового середовища, оскільки одна сторона диску взагалі не контактує з ґрунтом (рис. 5 а)).

У розробленій конструкції така проблема виключена внаслідок компенсації таких кутів частково завдяки підвісці, а частково – верхнім та нижнім шарнірам підвіски розробленої конструкції, які дозволяють компенсувати поперечне відхилення  $\alpha$  у межах 15–20 градусів і водночас забезпечити стабільний контакт електродів із ґрунтом. З використанням копіювальних коліс 6 (рис. 5) у наявній конструкції чітко забезпечується глибина  $H$  руху робочих електродів у ґрунті. У наявній конструкції вона змінюється внаслідок кутів деференту, обумовлених коливанням та поперечним переміщенням конструкції системи під час руху нерівностями поверхні поля.

Загальними принциповими відмінностями інформаційно-технічної системи локаль-

ного 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) триспицевий тонкостінний металевий диск з ободом для забезпечення стабільної площі контакту електродів із ґрунтом;

4) шарнірне розміщення важільної підвіски робочих електродів 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 із ґрунтом.

**Метод розрахунку питомої електропровідності ґрунту  $\rho$  стаціонарним контактним методом.** Технічним результатом, який досягається з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища, є:

1) забезпечення стабільного контакту електродів із ґрунтом: внаслідок компенсації кутів крену, деференту та рискання, обумовлених рухом технічної системи;

2) визначення глибини входження робочого електроду в ґрунт із використанням копіювального колеса;

3) зменшення приросту площі на одиницю глибини / входження в ґрунт робочого електроду, обумовленого конструкцією триспицевого тонкостінного металевого диску з ободом у розробленій конструкції;

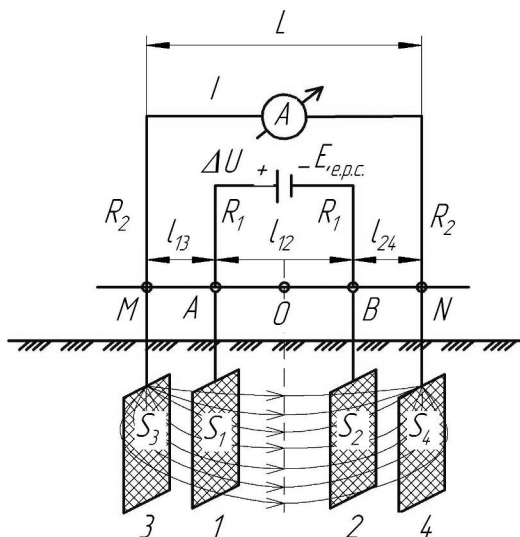
4) відсутність утворення борозни робочими електродами внаслідок компенсації кута рискання верхніми та нижніми шарнірами підвіски (кута  $\alpha$ ).

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.



Наведемо розрахункову схему інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь (рис. 7).

На схемі прийемо  $S_4 = S_3$ ,  $S_2 = S_1$ .



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

**Fig. 7.** Estimated scheme measurement of specific electrical conductivity of the soil environment of agricultural lands using the information and technical system of local operational monitoring agro-biological state of the soil environment

Виведемо формулу для визначення питомої електропровідності, коли її вимірювання здійснюється за схемою (рис. 7).

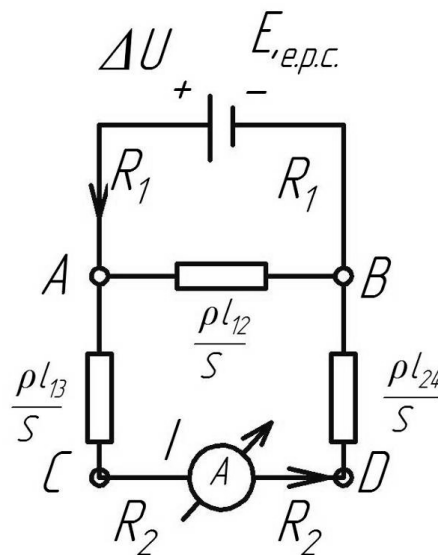
$$I = \frac{E_{e.p.c.}}{R_{ное} + r} = \frac{E_{e.p.c.}}{R_{AB} + 2R_1 + r}; \quad (1)$$

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot \left( \frac{\rho \cdot l_{13}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S} + 2 \cdot R_2 + R_{AMII} \right)}{\left( \frac{\rho \cdot l_{12}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{13}}{S} + \frac{\rho \cdot l_{24}}{S} + 2 \cdot R_2 + R_{AMII} \right)}; \quad (2)$$

$$U_{AB} = E_{e.p.c.} - I \cdot 2 \cdot R_1 - I \cdot r = E_{e.p.c.} - I \cdot (2 \cdot R_1 + r). \quad (3)$$

$$I_A = \frac{U_{AB}}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})} = \frac{E_{e.p.c.} - I \cdot (2 \cdot R_1 + r)}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})} = \frac{E_{e.p.c.} - \frac{E_{e.p.c.} \cdot (2 \cdot R_1 + r)}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}}{2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})}; \quad (4)$$

Побудуємо еквівалентну схему інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь (рис. 8).



**Рис. 8.** Еквівалентна схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь

**Fig. 8.** Equivalent calculation scheme of the information and technical system of local operational monitoring of the agro-biological state of the soil environment for agricultural land.

$$I_A = \frac{E_{e.p.c.} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R_1 + r}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}\right)}{\left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})\right)}; \quad (5)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})\right) = E_{e.p.c.} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot R_1 + r}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}\right). \quad (6)$$

Звідси

$$R_{AB} = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot \left(\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) + 2 \cdot R_2 + R_{AMT}\right)}{\left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot (l_{13} + l_{24} + l_{24}) + 2 \cdot R_2 + R_{AMT}\right)}; \quad (7)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})\right) = \frac{E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}}{R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r}; \quad (8)$$

$$I_A \cdot \left(2 \cdot R_2 + \frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})\right) \cdot (R_{AB} + 2 \cdot R_1 + r) = E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}. \quad (9)$$

Для спрощення розв'язку рівняння (9) вважаємо, що  $(R_1, R_2, r) \ll \left(\frac{\rho \cdot l_{12}}{S}, \frac{\rho \cdot l_{24}}{S}, \frac{\rho \cdot l_{13}}{S}\right)$ , тобто опір внутрішній батареї, опори проводів  $(R_1, R_2)$  та  $R_{AMT}$  (ідеальна)  $\rightarrow 0$ .

Отже, задача суттєво спрощується.

$$R_{AB}^* = \frac{\frac{\rho \cdot l_{12}}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})}{(l_{12} + l_{13} + l_{24})}. \quad (10)$$

Рівняння набуває вигляду:

$$I_A \cdot \left(\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24})\right) \cdot R_{AB}^* = E_{e.p.c.} \cdot R_{AB}^*; \quad (11)$$

$$\frac{\rho}{S} \cdot (l_{13} + l_{24}) = \frac{E_{e.p.c.}}{I_A}; \quad (12)$$

$$\rho = \frac{E_{e.p.c.} \cdot S}{I_A \cdot (l_{13} + l_{24})}. \quad (13)$$

Питома провідність ґрунту визначається згідно з формулою:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (14)$$

Одиниці вимірювання:

$$[\sigma] = \frac{\text{Сімен}}{\text{м}}, [E_{e.p.c.}] = \text{В}, [I_A] = \text{А}, [l_{13}, l_{24}] = \text{м}, [S] = \text{м}^2.$$

Тоді

$$\sigma = \frac{I_A \cdot (l_{13} + l_{24})}{E_{e.p.c.} \cdot S}. \quad (15)$$

Знаючи  $I_{13}$ ,  $I_{24}$ ,  $S$ ,  $E_{e.p.c.}$  батареї та вимірюючи струм  $I_A$ , знайдемо електропровідність ґрунту  $\sigma$ .

**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 завдяки зменшенню похибки під час визначення 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 завдяки удосконаленню конструкції приладу з використанням запропонованих технічних удосконалень.

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

### Бібліографія

1. Адамчук В. В., Мойсеєнко В. К., Кравчук В. І., Войтюк Д. Г. Техніка для землеробства майбутнього. *Механізація та електрифікація сільського господарства* / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 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*. 2018. № 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, pH 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 детальных почвенномелиоративных карт. *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. *Розробки-виробництво* / УААН. К.: Аграрна наука, 1999. С. 348–349.
10. Медведев В. В. Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. 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 / 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*. 2018. Vol. 19. No. 4. Pp. 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. Pp. 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. Pp. 79–90.
16. Oleksandr Brovarets. Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling. *Teka*. 2017. Vol. 17. No. 3. Pp. 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* / Department of Agricultural Economics, University of Illinois. Champaign-Urbana, 1993. Issue 14. Pp. 218–231.
18. Wilcox G. G. Determination of electrical conductivity of soil solutions. *Soil Science Society of America*. 1947. Vol. 63. 107 p.

19. Ewart G. Y., Baver L. D. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships. *Soil Science Society of America*. 1950. Vol. 15. Pp. 56–63.
20. Rhoades J. D., Schifgaarde J. Van. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Science Society of America*. 1976. No. 5. Pp. 647–651.

### Бібліографія

1. Adamchuk V. V., Moysenko V. K., Kravchuk V. I., Voytyuk D. H. *Tekhnika dlya zemlerobstva maybutn'oho. Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva / NNTS «IMESH»*. Hlevakha, 2002. Vyp. 86. S. 20–32.
2. Brovarets' O. Vid bezpluzhnoho do hlobal'noho rozumnoho zemlerobstva. *Tekhnika i tekhnolohiyi APK*. 2016. № 10 (85). S. 28–30.
3. Brovarets' O. O. Informatsiyno-tekhnichna systema operatyvnoho monitorynhu stanu gruntovoho seredovyshcha konstruktsiyi Oleksandra Brovartsya. *Visnyk Lvivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Ahroinzhenerni doslidzheniya*. 2018. № 21. S. 9–29.
4. Vadyunyna A. F. K otsenke élektroprovodnosti kak metoda opredelenyya vlazhnosti pochv. *Pochvovedenye*. 1937. № 3. S. 391–404.
5. Vorob'ev N. Y. K voprosu konduktometrycheskoho opredelenyya zasolennosti pochv y hruntov. *Pochvovedenye*. 1955. № 4. S. 103.
6. HOST 26423-85. Pochvy. Metody opredelenyya udel'noy élektrycheskoy provodymosti, rN y plotnoho ostatka vodnoy vytyazhky. 7 s.
7. Hukov Ya. S., Lynnyk N. K., Myronenko V. H. Avtomatyzyrovannaya systema lokal'nodozovannoho vnesenyya udobrenyy, melyorantov y sredstv zashchyty rastenyy. *Trudy 2-y MNPk po problemam dyfferentsyal'noho pryemennyya udobrenyy v systeme koordinatnoho zemledel'yya*. Ryazan', 2001. S. 48–50.
8. Kopykova L. P. Opyt pryemennyya metodov élektroprovodnosti dlya sostavlenyya detal'nykh pochvennomelyoratyvnykh kart. *Byulleten' VYUA*. 1979. № 43. S. 21–23.
9. Maslo I. P., Myronenko V. H. Avtomaty-zovana systema lokal'no-dozovanoho vnesennyya dobryv i khimichnykh zasobiv zakhystu roslyn. *Rozrobky-vyrobnytstvu / UAAN*. K.: Ahrarna nauka, 1999. S. 348–349.
10. Medvedev. V. V. Neodnorodnost' pochv y tochnoe zemledelye. Chast' I. Vvedenye v problemu. Khar'kov, 2007. 296 s.
11. Ormadzhy K. S. Kontrol' kachestva polevykh robot. M.: Rosahropromyzdat, 1991. 191 s.
12. Suchasni tendentsiyi rozvytku konstruktsiy sil's'kohospodars'koyi tekhniky / za red. V. I. Kravchuka, M. I. Hrytsyshyna, S. M. Kovalya. K.: Ahrarna nauka, 2004. 398 s.

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*. 2018. Vol. 19. No. 4. Pp. 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. Pp. 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. Pp. 79–90.
16. Oleksandr Brovarets. Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling. *Teka*. 2017. Vol. 17. No. 3. Pp. 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 / Department of Agricultural Economics, University of Illinois. Champaign-Urbana*, 1993. Issue 14. Pp. 218–231.
18. Wilcox G. G. Determination of electrical conductivity of soil solutions. *Soil Science Society of America*. 1947. Vol. 63. 107 p.
19. Ewart G. Y., Baver L. D. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships. *Soil Science Society of America*. 1950. Vol. 15. Pp. 56–63.
20. Rhoades J. D., Schifgaarde J. Van. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Science Society of America*. 1976. No. 5. Pp. 647–651.

### References

1. Adamchuk V. V., Moysenko V. K., Kravchuk V. I., Voytyuk D. G. Technique for future agriculture. Mechanization and electrification of agriculture / NSC "IAEE". Hlevakha, 2002, Issue 86. Pp. 20–32.
2. Brovarets O. From a straightforward to global smart agriculture. *Machinery and Technology of Agro-Industrial Complex*. 2016. No. 10 (85). Pp. 28–30.
3. Brovarets O. O. Information and technical system of operational monitoring of the soil environment of the design of Alexander Brovarts. *Visnyk of Lviv National Agrarian University. Agroengineering researches*. 2018. No. 21. Pp. 9–29.
4. Vadyunina A. F. To estimation of conductivity as a method of determination of soil moisture. *Soil science*. 1937. No. 3. Pp. 391–404.

5. Vorobyov N. I. On the question of conductometric determination of salinity of soils and soils. *Soil science*. 1955. No. 4. Pp. 103.
6. GOST 26423-85. Soils Methods of determination of the specific electrical conductivity, pH and solid residue of aqueous extract. 7 p.
7. Gukov Ya. S., Linnik N. K., Mironenko V. G. Automated system of locally-dosage application of fertilizers, meliorants and plant protection products. *Proceedings of the 2nd MNPK on the problems of differential application of fertilizers in the system of coordinate agriculture*. Ryazan, 2001. Pp. 48–50.
8. Kopikova L. P. Experience in the application of conductivity methods for the compilation of detailed soil-melioration maps. *Bulletin of VIUA*. 1979. No. 43. Pp. 21–23.
9. Maslo I. P., Mironenko V. G. Automated system of locally-doped fertilizer and chemical plant protection products. *Development–production / UAAS*. K.: Agrarian Science, 1999. Pp. 348–349.
10. Medvedev V. V. Inhomogeneity of soils and precision agriculture. Part I. Introduction to the problem. Kharkiv, 2007. 296 p.
11. Ormaghi K. S. Quality control of field work. M.: Rosagropromizdat, 1991. 191 p.
12. Contemporary trends in the development of agricultural machinery designs / ed. V. I. Kravchuk, M. I. Grytsyshyn, S. M. Kovaly K.: Agrarian Science, 2004. 398 p.
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*. 2018. Vol. 19. No. 4. Pp. 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. Pp. 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. Pp. 79–90.
16. Oleksandr Brovarets. Organizational and Technological Background of Project Configuration Management for Freightling. *Teka*. 2017. Vol. 17. No. 3. Pp. 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 / Department of Agricultural Economics, University of Illinois*. Champaign-Urbana, 1993. Issue 14. Pp. 218–231.
18. Wilcox G. G. Determination of electrical conductivity of soil solutions. *Soil Science Society of America*. 1947. Vol. 63. 107 p.
19. Ewart G. Y., Bayer L. D. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships. *Soil Science Society of America*. 1950. Vol. 15. Pp. 56–63.
20. Rhoades J. D., Schifgaarde J. Van. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Science Society of America*. 1976. No. 5. Pp. 647–651.