

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 681.513

О. О. БРОВАРЕЦЬ

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТІВ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Побудовані математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь. Дані моделі дають отримати достовірні дані про площу контакту робочих електродів, а відповідно і отримати достовірні дані та можливість враховуючи агробіологічний стан ґрунтового середовища прийняти оперативне рішення для керування агробіологічним станом за допомогою керування технологічним процесом машинно-тракторного агрегату, сільськогосподарської машини, технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Ключові слова: робочі електроди, якість технологічної операції, варіабельність ґрунтового середовища, технічна система оперативного моніторингу, агробіологічний стан, моніторинг.

Построенные математические модели для определения площади контактов рабочих электродов технической системы оперативного мониторинга вариабельность агробиологического состояния ґрунтовой среды сельскохозяйственных угодий. Данные модели дают получить достоверные данные о площади контакта рабочих электродов, а соответственно и получить достоверные данные и возможность учитывая агробиологическое состояние ґрунтовой среды принять оперативное решение для управления агробиологическим состоянием с помощью управления технологическим процессом машинно-тракторного агрегата, сельскохозяйственной машины, технической системы оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: рабочие электроды, качества технологической операции, вариабельность ґрунтовой среды, техническая система оперативного мониторинга, агробиологическое состояние, мониторинг.

The mathematical model to determine the area of contact of the electrodes of the technical system operational monitoring state variability agrobiological soil environment farmland. These models provide reliable data about the area of contact of the electrodes, and hence reliable data and the opportunity given agrobiological condition of the soil environment to take prompt management solution agrobiological as using process control tractor unit, agricultural machinery, technical system operational state monitoring farmland. In opinion of authors of this research, it is necessary to consider the specific class of the guided systems, which depend on the start and finish and which adequately design the computer-integrated automatic control systems by implementation of technological processes in agricultural production including plant-grower. Management tasks such the systems some different from traditional management (including optimum) task and tied-up foremost, with planning of work of each of such systems.

The integrated systems of management to executions of technological processes in agricultural production are grounded, which rely on the initial and eventual moments of time of their functioning. For optimization of processes of management indicated the systems are conducted generalization of results of research of influencing of different factors on efficiency of plant-grower. The most ponderable technological, technical and organizational criteria of high-quality work of agricultural machines are set, their level of influence on an eventual result, size of the collected harvest, and also possible level of efficiency of application of the proper hardwares of mechanization with the management by influence on qual/ity of execution actually of same technologically operations.

The use of the developed method is the computer-integrated control systems by implementation of technological processes in agricultural production, the dependency upon the initial and eventual moments of time of their functioning enable the subsequent changes of the systems. This method allows to optimize the use of present resources will provide the increase of efficiency on 20–30 %.

Keywords: working electrode, the quality of technological operations, variability of soil protection, technical system operational monitoring agrobiological condition monitoring.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційно-технічні системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість забезпечити належну якість керування виконанням технологічних операцій з використанням сучасних інформаційно-технічних мехатронних та робототехнічних систем керування, пов'язаних з датчиками контролю якості виконання технологічних операцій, які у сучасному контексті їх розвитку отримали назву «розумних» або «смарт» машин (Smart machinery) [1-3].

Такі «розумні» машини з датчиками оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь можуть широко використовуватися на всіх стадіях виробництва сільськогосподарської продукції рослинництва: основного обробітку, сівби (садіння), на етапі догляду за посівами у період вегетації та при збиранні врожаю. Це дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій при

оптимізації витрат на їх виробництво. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану ґрунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

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 оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так звані «management units» - територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де по-

© О. О. Броварець. 2017

винні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур. Ці технології є основою роботи системи прийняття рішень «decision-making systems», яка дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення на основі оперативних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ. Питання про шкалу вимірювання неоднорідності. Звичайно, неоднорідність порівняно просто вираховується, коли порівнюються об'єкти вимірюються кількісно і при цьому використовуються кількісні критерії. Неоднорідність вважають фактором, відповідальним за біорізноманіття, тому що завдяки їй формується екологічна складова і забезпечується багатогранність організмів ґрунту [2]. 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].

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

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – технічних систем оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Слід відмітити, що важливість та доцільність використання технічних системи залежить від виду технологічної операції, площі обробітку. Так доцільність використання зазначених машинно-тракторних агрегатів особливо висока на етапі сівби (садіння), оскільки дана технологічна операція фактично є «фундаментом» майбутнього врожаю [12].

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз досліджень і публікацій показує, що традиційні фактори підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва за рахунок оптимізації механіко-конструктивних матеріалів, використання новітніх машинобудівних матеріалів (надміцного пластику, сплавів металу тощо) на сучасному етапі розвитку техніки, не дають суттєвого підвищення ефективності.

Крупні агрохолдинги зробили ставку на використання стандартних рішень задач планування на основі використання так званих «коробочних продуктів» (1С, Парус, Oracle EBS та ін.) [5]. Але, на жаль, типові рішення не забезпечують реалізації принципу взаємозв'язку перспективного, поточного і оперативного планування та ефективного керування агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь.

За межами типової системи інформаційного за-

безпечення процесів планування залишаються задачі, пов'язані з вибором оптимальних рішень, оцінки альтернативних варіантів розвитку і т. д.

У більшості сільськогосподарських підприємств, що використовують для автоматизації функцій планування системи операційного управління (розроблених на основі як типових, так і індивідуальних проектів) не можуть уникнути головного недоліку даного типу інформаційних систем: зміщення акцентів у бік поточного планування [4].

Така ситуація виникає через об'єктивні причини, пов'язані з використанням обчислювальних процесів у контексті опису поточного розвитку системи в рамках одного виробничого циклу [1]. При такому підході практично відсутнє середовище автоматизації процесів довгострокового і середньострокового планування, а методика планування, що реалізовується, не дозволяє інтегрувати в інформаційну систему методи ефективного коректування відхилень з метою виходу на плановий рівень, що базуються на використанні оптимізаційних математичних моделей.

Одним з перспективних напрямів є забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів за рахунок одержання більш високого (у порівнянні з фізіологічними можливостями людини) рівня інформації та оперативного керування робочими процесами машин і на основі цього перехід до нових прогресивних технологій з використанням «розумних» сільськогосподарських машин. Тому виникає необхідність у їх розробці та використанні.

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 [13-15].

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 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].

Сучасні методики та засоби реєстрації властивостей ґрунту. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю і оцінки стану природного середовища (моніторингу) як в місцях ін-

тенсивної антропогенної дії, так і в глобальному масштабі [3]. Важливе місце на сучасному етапі займає реєстрація електромагнітних характеристик ґрунту. Електромагнітні характеристики ґрунту об'єднують багато властивостей ґрунту, що впливають на врожайності сільськогосподарських культур. До них відносяться вміст ґрунтової вологи, гранулометричний склад ґрунту, СКО, засоленість, вміст обмінних катіонів кальцію (Ca) і магнію (Mg) та ін. Електромагнітні характеристики ґрунту не дозволяють безпосередньо виміряти вміст поживних речовин, але показують варіативність важливих характеристик, таких як структура ґрунту і вміст обмінних катіонів. Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися при відборі проб (рис. 1).

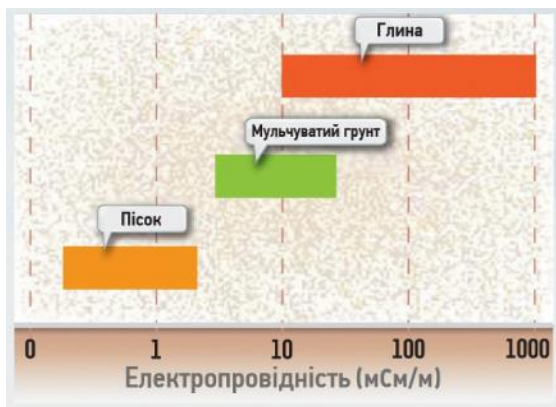


Рис. 1 – Електропровідність ґрунту

Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища абсолютно необхідною умовою є організація системи ефективного моніторингу. Для оцінки стану навколишнього середовища важлива об'єктивна оперативна інформація про критичні чинники антропогенної дії, про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану.

Мета роботи. Метою статті є побудова математичної моделі для визначення площі контактів робо-

чих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Виклад основного змісту дослідження. Відомий аналог (<http://www.veristech.com>), основним робочим органом якого є система електродів, в якості яких використано плоскі диски з горизонтальною віссю обертання на стояку, який жорстко закріплений до рами вимірювального пристрою таким чином, що опорні колеса пристрою визначають глибину ходу дисків-електродів у ґрунті.

Недоліком аналога 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 вимірювального пристрою відносно прямолінійного напрямку руху обумовлено конструкцією диска. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати із ґрунтом.

При використанні суцільних дисків у якості електродів для визначення електропровідних характеристик тиск ґрунту виникає значна похибка, яка обумовлена конструкцією дисків при зануренні їх у ґрунт.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця 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. 2), при цьому за рахунок удосконалення конструкції забезпечується стабілізація робочих електродів у ґрунті та копіювання нерівностей поверхні поля. Таким чином можна отримати достовірні дані електропровідності ґрунті, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

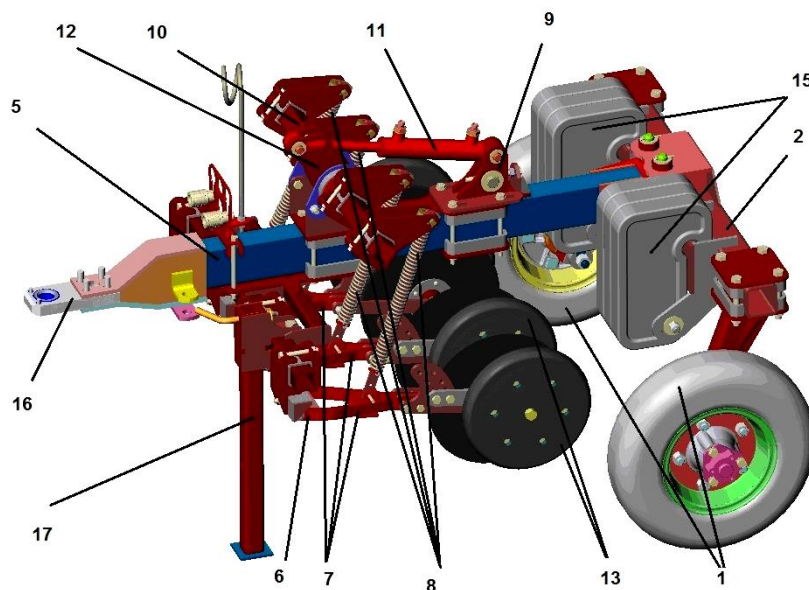


Рис. 2 – Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця складається (рис. 2) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, повздовжньої 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.

Важливим елементом даної системи є робочі електроди 14, вибір форми яких залежить від агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. При визначенні електропровідних властивостей ґрунтового середовища виникає необхідність визначення площі контакту робочих електродів з ґрунтом залежно від глибини їх занурення у ґрунт. Розглянемо математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від їх форми.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця 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.

Робочий електрод у формі круга та тора. Площа круга або його частини зазвичай визначається з допомогою полярної системи координат. Інтегрування відповідних залежностей дає прості формули для визначення площі відсіку круга, однак таким відсіком є сектор, який в окремому випадку може бути рівний площі круга. Якщо ж потрібно визначити площу **сегмента круга**, то в цьому випадку доцільно здійснювати інтегрування в декартовій системі координат. Покажемо два випадки такого інтегрування для знаходження площі сегмента круга заданих розмірів.

Перший випадок. На рис. 3,а зображено частину круга радіуса R і виділено сегмент висотою H , площу якого потрібно визначити. Площу визначатимемо додаванням елементарних відсіків розміром $L \times \Delta h$ (на рис. 3,а такий відсік зафарбовано у сірий колір). Додавання здійснюватимемо, починаючи з нижньої точки кола збільшенням змінної h до центра кола. Визначимо площу виділеного елементарного відсіку ΔP через задані розміри сегмента R і H . Як видно із рис. 3,а, площа цього відсіку наближено дорівнює $\Delta P = L \times \Delta h$. Знайдемо довжину L відсіку. Із прямокутного трикутника OAB знаходимо:

$$AB = \sqrt{OB^2 - OA^2} = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} = \sqrt{2Rh - h^2}.$$

Отже, $L = 2AB = 2\sqrt{2Rh - h^2}$. Таким чином, площа виділеного відсіку дорівнюватиме: $\Delta P = 2\sqrt{2Rh - h^2} \Delta h$. Переходячи до границі при $\Delta h \rightarrow 0$, отримаємо:

$$dP = 2\sqrt{2Rh - h^2} dh. \quad (1)$$

Інтегруємо вираз (1):

$$P = 2 \int \sqrt{2Rh - h^2} dh = (h - R) \sqrt{2Rh - h^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{h}{2R - h}}. \quad (2)$$

Підставивши в (2) межі змінної h від 0 до H остаточно отримуємо площу P сегменту:

$$P = (H - R) \sqrt{2RH - H^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{H}{2R - H}}. \quad (3)$$

При $H=R$, тобто у випадку півкруга, із формули (3) матимемо: $P = \pi R^2 / 2$. Цей результат є очікуваним і дорівнює половині площі круга.

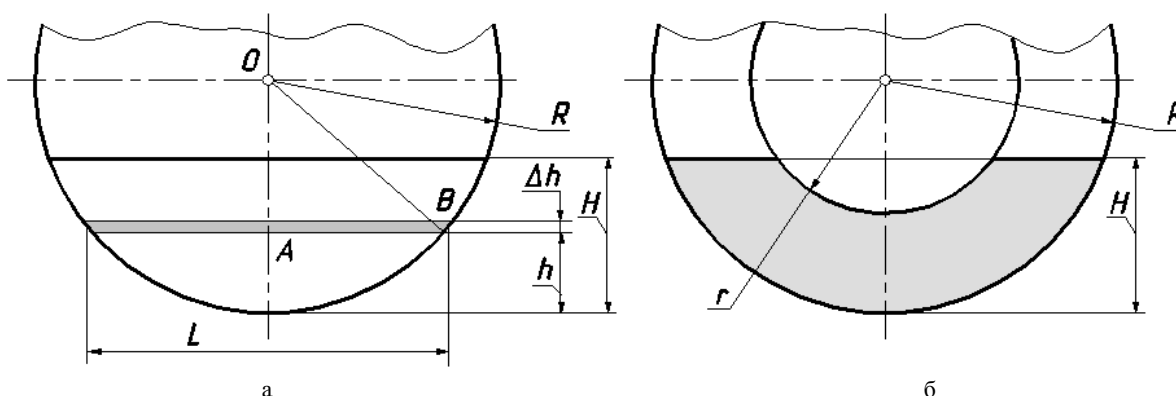


Рис. 3 – До визначення площі відсіку круга: а – сегмента висотою H ; б – плоского кільця висотою H

Визначимо площу відсіку плоского кільця, зафарбованого у сірий колір (рис. 3,б). У цьому випадку площу кільця шукаємо як різницю двох сегментів: від сегменту круга радіуса R потрібно відняти сегмент

круга радіуса r . Ця різниця запишеться як різниця інтегралів (2) із відповідними радіусами R і r та встановленими межами інтегрування:

$$P = 2 \int_0^H \sqrt{2Rh - h^2} dh - 2 \int_0^{H-R+r} \sqrt{2rh - h^2} dh. \quad (4)$$

Після інтегрування (4) і підстановки вказаних меж змінних остаточно знаходимо:

$$P = (H - R) \sqrt{2RH - H^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{H}{2R - H}} - (H - R) \sqrt{(r + H - R)(r - H + R)} - 2r^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{r + H - R}{r - H + R}}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що формулою (5) користуємося у випадку, коли $H > R - r$. Якщо $H \leq R - r$, то користуємося формулою (3), оскільки плоским відсіком буде не кільце, а сегмент.

Другий випадок. На сегменті будемо виділяти не прямолінійну елементарну смугу, а криволінійну у вигляді кільця (рис. 4). Такий підхід буде покладено в основу визначення площі аналогічного відсіку поверхні обертавання.

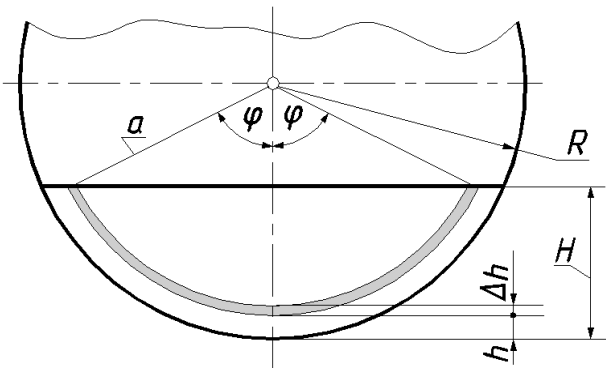


Рис. 4 – До визначення площі сегмента сумуванням елементарних кілець

Знайдемо площу кільця, виділеного сірим кольором на рис. 4. Наближено площа дорівнює добутку довжини L кільця на його ширину Δh : $\Delta P = L \times \Delta h$. Довжина L кільця дорівнює довжині дуги кола радіуса $a = R - h$, яка спирається на центральний кут 2φ . Отже, можна записати: $L = 2\varphi(R - h)$. Визначимо кут φ із пря-

мокутного трикутника, у якого гіпотенузою є $a = R - h$, а прилеглим катетом - сторона довжиною $R - h$. Звідси знаходимо: $\cos \varphi = \frac{R - H}{R - h}$.

Із врахуванням знайдених величин можна записати довжину кільця L :

$$L = 2(R - h) \arccos \left(\frac{R - H}{R - h} \right). \quad (6)$$

Помноживши довжину L (6) кільця на його ширину Δh , отримаємо його площу:

$$\Delta P = 2(R - h) \arccos \left(\frac{R - H}{R - h} \right) \Delta h. \quad (7)$$

Переходячи до границі при $\Delta h \rightarrow 0$, отримаємо вираз, інтегруванням якого одержимо вираз для визначення площі сегмента:

$$P = 2 \int_0^H (R - h) \arccos \left(\frac{R - H}{R - h} \right) dh. \quad (8)$$

Вираз (8) проінтегрувати не можна, однак чисельне інтегрування для тестових прикладів дає той же результат, що і формула (3).

Можна знайти частковий результат для половини круга, прийнявши за вихідні умови $\varphi = \pi/2$ і $H = R$ (рис. 4). Тоді згідно (6) будемо мати: $L = \pi(R - h)$. Вираз (8) в цьому випадку може бути проінтегрований:

$$P = \pi \int_0^R (R - h) dh = \frac{\pi h}{2} (2R - h) = \frac{\pi R^2}{2}. \quad (9)$$

Для площі півкруга ми отримали в (9) такий же результат, як і за формулою (3). Це свідчить про достовірність отриманих результатів при різних підходах вирішення поставленої задачі.

Робочий електрод виконано у формі частини сферичного сегменту. Знайдемо площу частини сферичного сегменту (рис. 5).

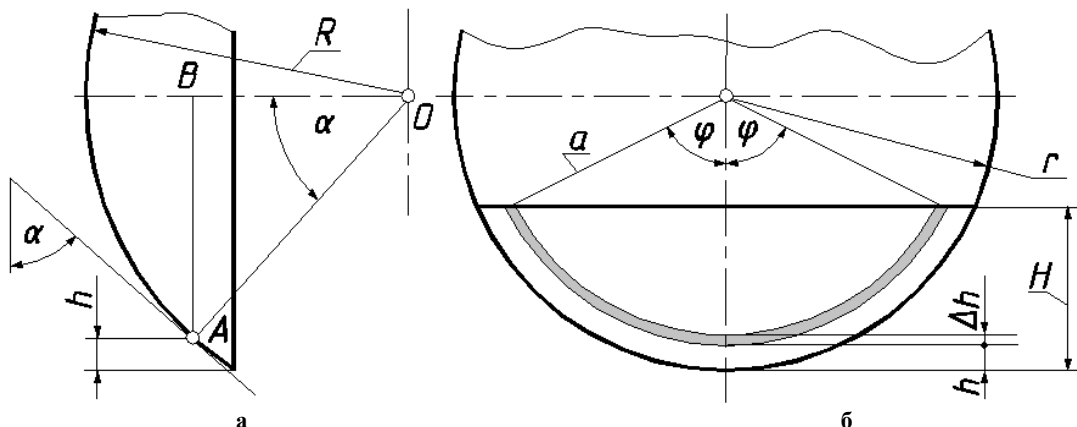


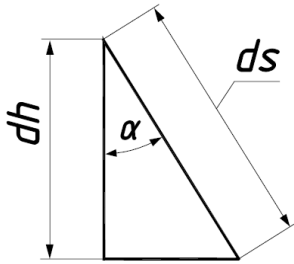
Рис. 5 – Фронтальна: а – і профільна; б – проекції сферичного сегменту

Його профільна проекція подібна до рис. 4. Проте в даному випадку виділена сірим кольором смуга

кільця на рис. 5,б не є натуральною величиною частини сферичного сегменту, оскільки вона нахилена до

профільної площини під кутом α , який при нескінченно малій ширині проекції смуги $\Delta h \rightarrow 0$ рівний куту між дотичною до фронтальної проекції меридіана сфери (кола радіуса R сфери) і вертикальним відрізком (рис. 5, а). Цей кут є сталим вздовж всієї довжини смуги, тому його можна знайти із прямокутного трикутника (рис. 5), у якого сторони (гіпотенуза Δs і катет Δh) позначені як dh і ds при нескінченному зменшенні катета $\Delta h \rightarrow 0$:

$$\cos \alpha = \frac{dh}{ds}. \quad (10)$$

Рис. 6. До визначення кута α

Із (10) визначаємо дійсну ширину елементарної смуги:

$$ds = \frac{dh}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

В свою чергу, кут α можна визначити із прямокутного трикутника OAB (рис. 5,а), у якого гіпотенуза $OA=r$, а катет $AB=R-h$:

$$\sin \alpha = \frac{r-h}{R}, \quad \text{звідки } \cos \alpha = \frac{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}}{R}. \quad (12)$$

Підстановкою (12) в (11) одержимо вираз ширини елементарної смуги:

$$ds = \frac{Rdh}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}}. \quad (13)$$

Довжину елементарної смуги (в даному випадку у вигляді зрізаного конуса) визначаємо за формулою $dP=Lds$, де ds наведено в (13), а L – в (6), причому для нашого випадку R прописне потрібно замінити на r

строчне. Із врахуванням сказаного маємо:

$$dP = \frac{2R(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} \arccos\left(\frac{r-H}{r-h}\right) dh. \quad (14)$$

Інтегруванням виразу (14) отримаємо площу відсіку сферичного сегмента:

$$P = 2R \int_0^H \frac{(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} \arccos\left(\frac{r-H}{r-h}\right) dh. \quad (15)$$

Як і в попередньому випадку, вираз (15) не піддається інтегруванню, однак для випадку, коли $H=r$ (що відповідає половині площі сегменту), знаходимо:

$$P = \pi R \int_0^r \frac{(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} dh = \pi R \sqrt{R^2 - (r-h)^2}. \quad (16)$$

Підстановка в (16) нижньої $h=0$ і верхньої $h=r$ між інтегрування дає наступний результат:

$$P = \pi R (R - \sqrt{R^2 - r^2}). \quad (17)$$

Формула (17) дає площу половини сферичного сегмента, яка збігається із відомим табличним результатом.

Знайдемо площу **частини тора** (рис. 7). Дійсна ширина виділеної елементарної смуги визначається за формулою (11). Кут α визначається аналогічно, як і для сегмента за допомогою прямокутного трикутника. Для твірного кола радіуса r тора можна записати:

$$\sin \alpha = \frac{r-h}{r}, \quad \text{звідки } \cos \alpha = \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r}. \quad (18)$$

Підстановка (18) у (11) дає:

$$ds = \frac{rdh}{\sqrt{2rh - h^2}}. \quad (19)$$

Довжина кільця L визначиться добутком радіуса елементарного кільця, який дорівнює $R+r-h$ (рис. 5) на центральний кут 2ϕ :

$$L = 2(R+r-h)\phi. \quad (20)$$

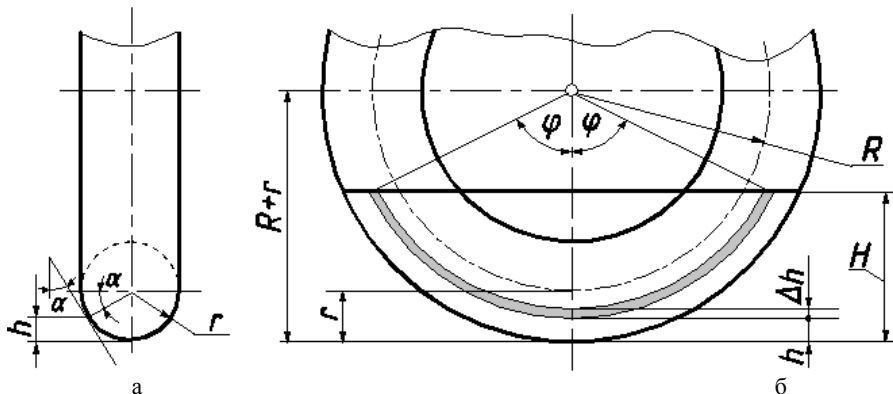


Рис. 7 – Фронтальна: а – і профільна б – проекції тора до визначення площі відсіку його випуклої частини

У прямокутному трикутнику з кутом ϕ гіпотенуза дорівнює $R+r-h$, а прилеглий катет - $R+r-H$ (рис. 7,б). З нього знаходимо вираз для визначення кута ϕ :

$$\phi = \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right). \quad (21)$$

Підставивши (21) у (20), отримаємо довжину елементарного кільця:

$$L = 2(R+r-h) \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right). \quad (22)$$

Множенням ширини елементарного кільця (19) на його довжину (22) отримаємо його площу. Однак потрібно мати на увазі, що з протилежної сторони є ще одне таке ж кільце в силу симетричності тора. Тому знайдену площу потрібно подвоїти:

$$dP = \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right) dh. \quad (23)$$

Інтегруванням виразу (23) одержимо:

$$P = 4r \int_0^b \frac{R+r-h}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right) dh. \quad (24)$$

Чисельне інтегрування виразу (24) здійснюємо від 0 до сталої b , причому $0 < b \leq r$. При $b < r$ ми одержимо площу частини опуклої поверхні тора, а при $b=r$ – площу всієї опуклої поверхні тора, обмеженої гори-

зонтальною площиною на висоті H . В даному випадку всю площу тора умовно розбиваємо на опуклу – ту, в якій всі паралелі (кола) мають радіус більший від напрямного кола R і увігнуту – ту, в якій всі паралелі (кола) мають радіус менший від R . Таким чином, інтегруванням виразу (24) можна визначити площу відсіку випуклої частини тора. При $b=r$ і $H=R+r$ інтегрування виразу (24) дасть площу опуклої поверхні половини тора. При цьому вираз (24) спростується і його вдається проінтегрувати:

$$\begin{aligned} P &= 2\pi r \int_0^r \frac{(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} dh = \\ &= 2\pi r \left(\sqrt{2rh-h^2} + 2R \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{h}{2r-h}} \right) = \pi r (\pi R + 2r) \end{aligned} \quad (25)$$

Для визначення площі увігнутої частини тора застосовуємо такий же підхід. При виведенні формули (24) у нас змінна h змінюється від 0 до r , рухаючись від нижньої точки твірного кола вгору. При визначенні площі увігнутої частини тора змінна h теж буде змінюватися від 0 до r , рухаючись від центра твірного кола радіуса r до верхньої точки цього кола, яке на рис. 6,а у верхній частині зображено штриховою лінією. З цього рисунка знаходимо кут α :

$$\sin \alpha = \frac{h}{r}, \quad \text{звідки} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{r^2-h^2}}{r}. \quad (26)$$

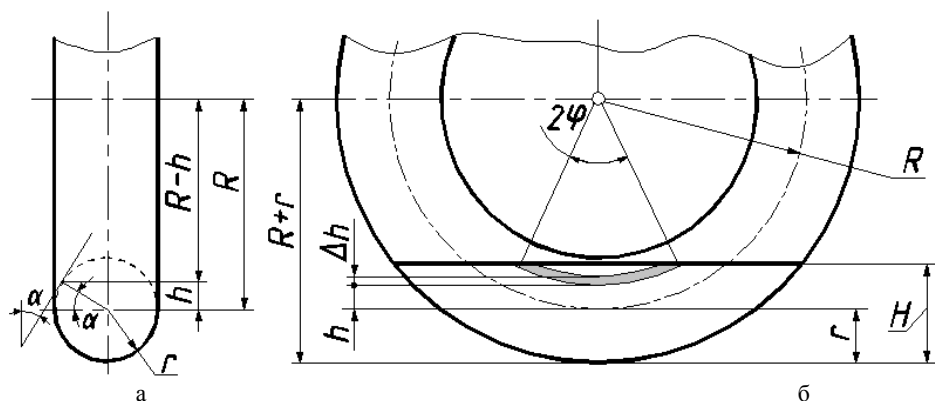


Рис. 8 – Фронтальна: а – і профільна б – проєкції тора до визначення площі відсіку його увігнутої частини

Радіус елементарного кільця рівний $R-h$ (рис. 8), тому його площа визначиться із виразу:

$$dP = Lds = \frac{2r(R-h)\phi}{\sqrt{r^2-h^2}} dh. \quad (27)$$

Знайдемо вираз для визначення кута ϕ . У прямокутному трикутнику з кутом ϕ гіпотенуза дорівнює $R+h$, а прилеглий катет - $R+r-H$ (рис. 8,б). З нього знаходимо вираз для визначення кута ϕ :

$$\phi = \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+h}\right). \quad (28)$$

Після підстановки (28) у (27) отримаємо інтеграл для визначення площі відсіку увігнутої частини тора:

$$P = 4r \int_0^b \frac{R-h}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+h}\right) dh. \quad (29)$$

Чисельне інтегрування виразу (29) здійснюємо від 0 до сталої b , причому $0 < b \leq r$. При $b < r$ ми одержимо площу частини увігнутої поверхні тора, а при $b=r$ – площу всієї увігнутої поверхні тора, обмеженої

горизонтальною площиною на висоті H . При $H=R+r$ і $b=r$, тобто для половини тора вираз (29) спрощується і може бути проінтегрований:

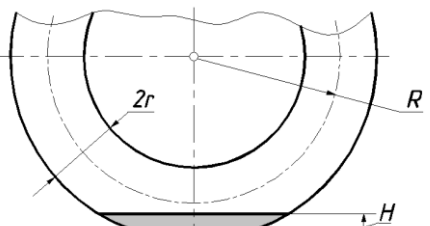
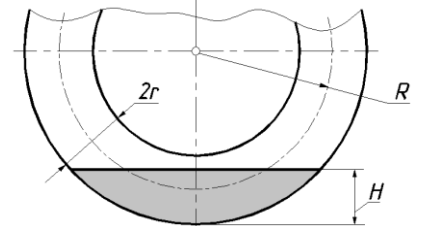
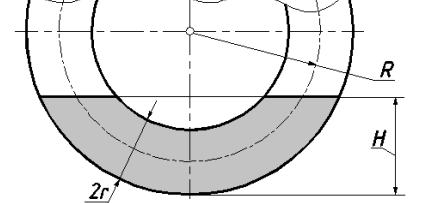
$$P = 2\pi r \int_0^r \frac{R-h}{\sqrt{r^2-h^2}} dh = 2\pi r \left(\sqrt{r^2-h^2} + R \operatorname{Arctg} \frac{h}{\sqrt{r^2-h^2}} \right) = \pi r (\pi R - 2r) \quad (30)$$

Сума площ випуклої частини (25) і увігнутої (30) дає відомий результат $2\pi^2 Rr$ для половини площі тора.

Визначення площі зрізаної частини тора горизонтальною площиною на висоті H можна розділити на три випадки за застосуванням знайдених формул. Ці випадки та відповідні формули знаходження площі чисельним інтегруванням наведено в табл. 1.

Розглянемо приклад. Знайдемо площу відсіку тора для випадку 3. Вихідні дані: $R=10$; $r=2$; $H=11$. Чисельним інтегруванням знаходимо суму двох інтегралів: $P=209,94+162,45=372,39$. Якщо задати $H=12$, то ми отримаємо площу половини тора: $P=222,52+172,26=394,78$. Точно такий же результат отримуємо за формулою $P=2\pi^2 Rr$.

Таблиця 1 – Формули для знаходження площі заданого відсіку тора (відсік зафарбовано сірим кольором) робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь

№ п/п	Заданий відсік тора	Формула для знаходження площі
1		$P = \int_0^H \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh$
2		$P = \int_0^r \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh + \int_0^{H-r} \frac{4r(R-h)}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+h} \right) dh$
3		$P = \int_0^r \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh + \int_0^r \frac{4r(R-h)}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+h} \right) dh$

Висновок. Запропонована математична модель для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь дає можливість отримати достовірні дані електропровідності ґрунті, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції. Результатом використання є отримання підвищення прибутку на 20-30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Список літератури:

1. Броварець, О. Розумні машини для розумних господарів [Текст] / О. Броварець // *Зерно*. – 2016. – № 9 (81). – С. 262–266.
2. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / О. Броварець // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 9 (84). – С. 19–23.
3. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / О. Броварець // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 10 (85). – С. 28–30.
4. Улезько, А. В. Информационное обеспечение адаптивного

управления в аграрных формированиях [Текст] / А. В. Улезько, Я. И. Денисов, А. А. Тютюников. – Воронеж: изд-во «Истоки», 2008. – 106 с.

5. Адамчук, В. В. Техніка для землеробства майбутнього [Текст] / В. В. Адамчук, В. К. Мойсєєнко, В. І. Кравчук, Д. Г. Войтюк // *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – 2002. – Вип. 86. – С. 20–32.
6. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки [Текст] / ред. В. І. Кравчук, М. І. Грицишин, С. М. Коваль. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
7. Ормаджи, К. С. Контроль качества полевых работ [Текст] / К. С. Ормаджи. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.
8. Понтрягин, Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М.: «Наука», 1983. – 392 с.
9. Бурачек, В. Г. Геоинформационный анализ пространственных данных [Текст]: монографія / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 440 с.
10. Масло, І. П. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин [Текст] / І. П. Масло, В. Г. Мироненко. – К.: Аграрна наука, 1999. – С. 348–349.
11. Гуков, Я. С. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений [Текст] / Я. С. Гуков, Н. К. Линник, В. Г. Мироненко // *Труды 2-й МНПК по проблемам дифференци-*

- ального применения удобрений в системе координатного земледелия. – Рязань, 2001. – С. 48–50.
12. МIRONENKO, В. Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві [Текст]: монографія / В. Г. МIRONENKO. – К., 2005. – 271 с.
 13. ПАСТУШЕНКО, С. И. Оптимизация сельскохозяйственных технических систем [Текст] / С. И. Пастушенко // Техніка АПК. – 1999. – № 8. – С. 12–15.
 14. Жук, З. Я. Концепция и возможные направления развития технологий и техники сельскохозяйственного будущего [Текст] / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1992. – № 1. – С. 1–6.
 15. Луценко, Е. В. Семантические информационные модели управления агропромышленным комплексом [Текст] / Е. В. Луценко, В. И. Лойко. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – 480 с.
 16. ГАРМ, В. П. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві [Текст] / В. П. Гарм, А. О. Пашко // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1, № 2. – С. 110–116.
 17. CHAD, H. A. A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production [Text] / H. A. Chad, J. D. Hibbard // Farm Economics. – 1993. – Issue 14. – P. 218–231.
 18. МЕДВЕДЕВ, В. В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть I. Введение в проблему [Текст] / В. В. Медведев. – Харьков, 2007. – 296 с.
 19. ИВАНОВ, Ю. П. Комплексование информационно-измерительных устройств ЛА [Текст] / Ю. П. Иванов, А. Н. Сinyaков, И. В. Филатов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 207 с.
 20. Дружба-Нова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://druzhba-nova.com/ru/index.html>
 21. Сельскохозяйственная, специальная техника и запчасти. – Режим доступа: <http://kbo-agro.com.ua>
 22. Geonics [Electronic resource]. – Available at: <http://www.geonics.com/index.html>
 23. Veris Technologies [Electronic resource]. – Available at: <http://www.veristech.com/>
- Bibliography (transliterated):**
1. Brovarets, O. (2016). Rozumni mashyny dlia rozumnykh gospodariv. Zerno, 9 (81), 262–266.
 2. Brovarets, O. (2016). Vid bezpluzhnoho do hlobalnoho rozumnoho zemlerobstva. Tekhnika i tekhnologii APK, 9 (84), 19–23.
 3. Brovarets, O. (2016). Vid bezpluzhnoho do hlobalnoho rozumnoho zemlerobstva. Tekhnika i tekhnologii APK, 10 (85), 28–30.
 4. Ulezko, A. V., Denisov, Ya. I., Tyutyunikov, A. A. (2008). Informacionnoe obespechenie adaptivnogo upravleniya v agrarnykh formirovaniyah. Voronezh: izd-vo «Istoki», 106.
 5. Adamchuk, V. V., Moiseienko, V. K., Kravchuk, V. I., Voitiuk, D. H. (2002). Tekhnika dlia zemlerobstva maibutnoho. Mekhani-
 - zatsiia ta elektryfikatsiia silskoho gospodarstva, 86, 20–32.
 6. Kravchuk, V. I., Hrytsyshyn, M. I., Koval, S. M. (Eds.) (2004). Suchasni tendentsii rozvytku konstruktivno silskohospodarskoi tekhniki. Kyiv: Ahrarna nauka, 398.
 7. Ormadzhi, K. S. (1991). Kontrol' kachestva polevykh robot. Moscow: Rosagropromizdat, 191.
 8. Pontryagin, L. S., Boltyanskiy, V. G., Gamkrelidze, R. V., Mishchenko, E. F. (1983). Matematicheskaya teoriya optimal'nykh processov. Moscow: «Nauka», 392.
 9. Burachek, V. H., Zhelezniak, O. O., Zatserkovnyi, V. I. (2011). Heoinformatsiyni analiz prostorovykh danykh. Nizhyn: TOV «Vydavnytstvo «Aspekt-Polihraf», 440.
 10. Maslo, I. P., Myronenko, V. H. (1999). Avtomatyzovana systema lokalno-dozovanoho vnesennia dobrov i khimichnykh zasobiv zakhystu roslyn. Kyiv: Ahrarna nauka, 348–349.
 11. Gukov, Ya. S., Linnik, N. K., Mironenko, V. G. (2001). Avtomatizirovannaya sistema lokal'no-dozirovannogo vneseniya udobreniy, meliorantov i sredstv zashchity rasteniy. Trudy 2-y MNPK po problemam differencial'nogo primeneniya udobreniy v sisteme koordinatnogo zemledeliya. Ryazan', 48–50.
 12. Myronenko, V. H. (2005). Tekhnichni zasoby zabezpechennia yakosti vykonannia tekhnolohichnykh protsesiv u roslynnytstvi. Kyiv, 271.
 13. Pastushenko, S. I. (1999). Optimizaciya sel'skohozyaystvennykh tekhnicheskikh sistem. Tekhnika APK, 8, 12–15.
 14. Zhuk, Z. Ya., Pobedonoscev, A. Yu. (1992). Konceptiya i vozmozhnye napravleniya razvitiya tekhnologiy i tekhniki sel'skohozyaystvennogo budushchego. Traktory i sel'skohozyaystvennyye mashiny, 1, 1–6.
 15. Lucenko, E. V., Loyko, V. I. (2005). Semanticheskie informacionnye modeli upravleniya agropromyshlennym kompleksom. Krasnodar: KubGAU, 480.
 16. Haram, V. P., Pashko, A. O. (2005). Suchasne upravlinnia ahrotekhnolohichnym protsesom u roslynnytstvi. Nauka ta innovatsii, 1 (2), 110–116.
 17. Chad, H. A., Hibbard, J. D. (1993). A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production. Farm Economics, 14, 218–231.
 18. Medvedev, V. V. (2007). Neodnorodnost pochv y tochnoe zemledelye. Chast I. Vvedenie v problemu. Kharkiv, 296.
 19. Ivanov, Yu. P., Sinyaakov, A. N., Filatov, I. V. (1984). Kompleksirovanie informacionno-izmeritel'nykh ustroystv LA. Leningrad: Mashinostroenie, 207.
 20. Druzhba-Nova. Available at: <http://druzhba-nova.com/ru/index.html>
 21. Sel'skohozyaystvennaya, special'naya tekhnika i zapchasti. Available at: <http://kbo-agro.com.ua>
 22. Geonics. Available at: <http://www.geonics.com/index.html>
 23. Veris Technologies. Available at: <http://www.veristech.com/>

Надійшла (received) 10.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь/ Броварець О. О. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.94–103. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

Математические модели для определения площади контактов рабочих электродов технической системы оперативного мониторинга вариабельности агробиологического состояния почвенной среды сельскохозяйственных угодий/ Броварец А. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.94–103. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

Mathematical models for determining the contact area of the working electrodes of the technical system of operational monitoring of the variability of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land/ Brovarets O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.94–103. – Bibliogr.:23 – ISSN 2079-5459

Броварець Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, вул. Ломоносова, 18; e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Броварець Олександр Олександрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры информационно-технических и естественных дисциплин Киевский кооперативный институт бизнеса и права, г. Киев, ул. Ломоносова, 18, e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Brovarets Olexsandr – PhD, Associate Professor, Zaviduvach, Chair of Informational and Technical Studies of Natural Sciences, Kyiv Cooperative Institute of Business and Law, Kiev, Lomonosova 18; E-mail: brovartsnau@ukr.net.

УДК 531.712

К. О. ПОДОСТРОЄЦЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА ВИМІРЮВАННЯ ЕТАЛОННИХ БАЗИСНИХ ВІДСТАНЕЙ ГЕОДЕЗИЧНОГО ПОЛІГОНУ

Розглядається дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Проведені дослідження метеорологічних умов на Одеському геодезичному полігоні протягом 25 робочих днів у робочий час. Здійснена перевірка значимості дестабілізуючих факторів для загальної похибки вимірювання під час метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів на еталонному лінійному базисі 2-го розряду Одеського геодезичного полігону. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки величини випадкової складової похибки під час метрологічного контролю віддалемірних приладів на геодезичному полігоні.

Ключові слова: тахеометри, світловідалеміри, метрологічний контроль, еталонний лінійний базис геодезичного полігону, дестабілізуючі фактори.

Исследуется влияние дестабилизирующих факторов внешней среды на процесс измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона. Проведены исследования метеорологических условий на Одесском геодезическом полигоне в течении 25 рабочих дней в рабочее время. Осуществлена проверка значимости дестабилизирующих факторов для погрешности измерения при метрологическом контроле дальномерной части тахеометров на эталонном линейном базисе 2-го разряда Одесского геодезического полигона. Результаты исследования могут быть использованы для оценки величины случайной составляющей погрешности при метрологическом контроле дальномерных приборов на геодезическом полигоне.

Ключевые слова: тахеометры, светодальномеры, метрологический контроль, эталонный линейный базис геодезического полигона, дестабилизирующие факторы.

The study of the influence of destabilizing factors of the external environment on the process of measuring reference base lines of a geodesic polygon is considered. As an example, the Odessa reference base line of a geodesic polygon consisting of 7 fundamental geodesic stations situated on the plain and seismically safe site is presented. Analyzed of meteorological conditions at the Odessa geodesic polygon was conducted during 25 working days, during working hours. Validation of the significance of destabilizing factors for the general measurement error during the metrological control of the total station on the reference base lines of a geodesic Odessa polygon has been carried out. The results of the research can be used to estimate the magnitude of the random component of the error during the metrological control of EDM on the reference base lines of a geodesic polygon is considered.

Keywords: total station, EDM, metrological control, reference base lines of a geodesic polygon, destabilizing factors.

Вступ. Еталонний лінійний базис полігону геодезичного – це еталон, який служить для забезпечення єдності лінійних вимірювань в геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра від еталону робочим приладам: світловідалемірам, електронним тахеометрам (віддалемірна частина) та іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання довжин. Тахеометр – геодезичний прилад призначений для вимірювання відстаней, перевищень, горизонтальних і вертикальних кутів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В Україні базисні лінійні геодезичні полігони функціонували в Криму, Києві, Харкові, Вінниці, Миколаєві і в Львівській області [1]. В 2008 році було прийнято рішення про створення полігону в Одесі [2, 3], а в 2015 році лінійний базис геодезичного полігону КПЛ – 7 2-го розряду був побудований на території Коломийського аеропорту в Івано-Франківській області. У масштабі України це є недостатньо. Необхідність метрологічного контролю світловідалемірних приладів пов'язана зі зміною з часом

постійної поправки. Якість метрологічного контролю істотно залежить і від кількості еталонних базисів в країні. Враховуючи сучасні масштаби геодезичних робіт, в Україні доцільно мати не менше за 1 – 2 базисів 2-го розряду на область [4].

Найбільш поширене застосування на геодезичному ринку отримали завдяки своїй багатofункціональності тахеометри. Найчастіше в геодезичних роботах використовують тахеометри з допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів до 6" і допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання відстані одним прийомом 2+2 ppm. Вираз ppm означає на латинському виразі «Pars per milion», що перекладається як «одна частина мільйону». Отже, допустима середня квадратична похибка вимірювання відстані такими тахеометрами складає 2+2·10⁻⁶ D, де D – відстань у мм.

Суть метрологічного контролю віддалемірних приладів, зокрема віддалемірної частини тахеометрів,

© К. О. Подостроєць. 2017