



УДК 681.513

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-4

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Броварець О. О., к.т.н.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

E-mail: brovaretsnau@ukr.net

Тел.: +38(068)-800-47-13

Анотація – Побудована математична модель для визначення оптимальних робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів. Дана модель дає можливість оптимізувати робочі параметри та режими функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів, а відповідно і забезпечення максимальної продуктивності таких систем при отриманні достовірних даних із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища. Це дає можливість прийняти оперативне рішення для керування агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь при виконанні технологічних операцій за допомогою машинно-тракторного агрегату, сільськогосподарської машини з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища.

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

Постановка проблеми. Сучасні інформаційно-технічні системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість забезпечити належну якість керування виконанням технологічних операцій з використанням сучасних 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) [1-19].

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 локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь [2]. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України [3].

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так звані «management units» - територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де повинні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур [4]. 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 [5].

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ [6]. 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 [7]. 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 [8].

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 [9]. Проте, на сьогодні при реалізації даних технологій бракує ефективних



систем збору та реєстрації (моніторингу) місце визначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства [10]. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [11].

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь [12].

Слід відмітити, що важливість та доцільність використання інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежить від виду технологічної операції, площі обробітку [13]. Так доцільність використання зазначених машинно-тракторних агрегатів особливо висока на етапі сівби (садіння), оскільки дана технологічна операція фактично є «фундаментом» майбутнього врожаю [14].

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 [15].

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 забезпечення процесів планування залишаються задачі, пов'язані з вибором оптимальних рішень, оцінки альтернативних варіантів розвитку і т. д. [16].

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 реалізується, 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 розробці та використанні принципово нового класу сільськогосподарських машин підтримки виробництва продукції рослинництва - інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь [17].

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 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].

Сучасні методики та засоби реєстрації властивостей ґрунту. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю і оцінки стану природного середовища (моніторингу) як в місцях інтенсивної 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, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. До них відносяться вміст ґрунтової вологи, гранулометричний склад ґрунту, ЄКО, 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 різних типів ґрунтів

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.

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 без підвіски для визначення електропровідних характеристик тиск ґрунту виникає значна похибка, яка обумовлена конструкцією дисків та відсутністю підвіски для стабілізації при зануренні їх у ґрунт.

Метою статті є побудова математичної моделі для визначення робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів.

Виклад основного змісту дослідження. Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції 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 «розумних» сільськогосподарських машин. На рис. 2. зображено принципову схему розміщення інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Завдання підвищення ефективності моніторингу стану сільськогосподарських угідь досягається шляхом розміщення робочих електродів, виконаних попереду рухомого транспортного засобу при виконанні відповідної технологічної операції, що дозволяє проводити безперервний моніторинг на поверхні сільськогосподарських угідь (рис. 2).

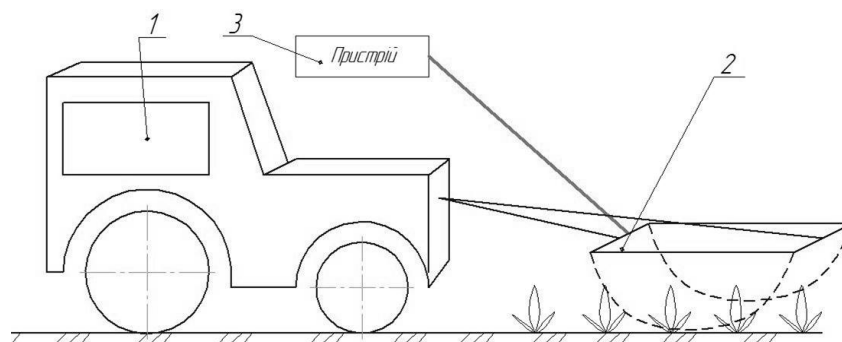


Рис. 2. Принципова схема розміщення обладнання інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь



Пристрій для моніторингу стану сільськогосподарських угідь складається з транспортного засобу 1, робочих електродів 2, які розміщуються попереду транспортного засобу 1, що виконує відповідну технологічну операцію, та пристрою 3, що здійснює реєстрацію зміни щільності струму на електродних парах.

Пристрій працює наступним чином: при переміщенні транспортного засобу 1 по поверхні поля за допомогою електродних пар, виконаних 2, які розміщуються попереду рухомого транспортного засобу здійснюється визначення щільності струму.

Важливим елементом інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь є робочі електроди 2, вибір форми яких залежить від агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

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 (рис. 2), при цьому за рахунок використання пружної підвіски робочих електродів 2 забезпечується стабілізація робочих електродів при русі по нерівностям поверхні поля та копіювання нерівностей поверхні поля. Таким чином можна отримати достовірні дані електропровідності ґрунті, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

Також, інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь при розміщенні на машинно-тракторному агрегаті дає можливість забезпечити локально-стрічкове диференційованого внесення технологічного матеріалу (насіння, добрив) за допомогою спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення технологічного матеріалу (насіння, добрива) на основі даних, отриманих шляхом вимірюванням вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами), які розміщується попереду транспортного засобу на підвісці під час виконання технологічної операції, що дає можливість забезпечити оптимальну норму внесення поживних речовин у ґрунт з використанням даних від такої систем (рис. 3).

Дана задача вирішується шляхом використання машини для локально-стрічкового диференційованого внесення технологічного матеріалу з спеціальним пристроєм індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив та пристроями

для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля на основі даних, отриманих шляхом вимірюванням вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами), який розміщується спереду на транспортному засобі під час виконання технологічної операції. Сигнал від даних інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь потрапляє на контролер, що керує роботою спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив, при цьому можливий запис даних у вигляді електронної карти на PC card з магнітним носієм від пристрою для моніторингу стану ґрунту та рослинності (картограма завдання) та реалізація локально-стрічкового диференційованого внесення технологічного матеріалу (насіння, добрив), (картограма реалізація), що дає можливість забезпечити оптимальну норму внесення поживних речовин у ґрунт з використанням даних від двох систем моніторингу (рис. 3).

На рис. 3. зображено загальний вигляд машини для локально-стрічкового диференційованого внесення мінеральних добрив з інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля.

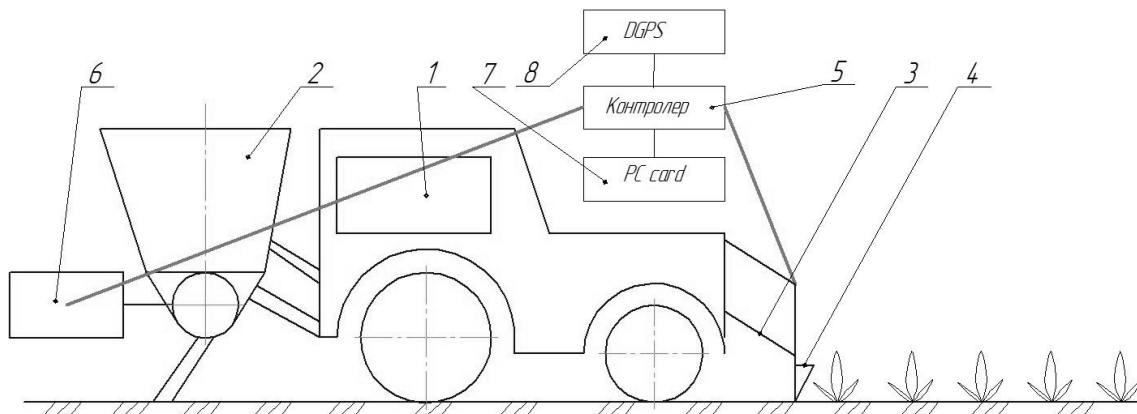


Рис. 3. Зображено загальний вигляд машини для локально-стрічкового диференційованого внесення мінеральних добрив з інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля

Пристрій складається з транспортного засобу 1, машини для внесення технологічного матеріалу 2, що розміщується позаду транспортного засобу 1, пристрою для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля - інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських



угідь 4, яка розміщена на підвісці 3, і розміщуються спереду транспортного засобу 1, контролера 5, спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення технологічного матеріалу 6, PC card з магнітним носієм 7, приймача сигналів супутникової навігаційної системи DGPS 8.

Пристрій працює наступним чином: при переміщенні транспортного засобу 1 з машиною для внесення технологічного матеріалу (насіння, добрива) 2, що розміщується позаду транспортного засобу 1, інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь проводить вимірювання вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами) робочими електродами 4, які розміщуються на підвісці 3, і розміщуються спереду транспортного засобу, що забезпечує проведення оперативного локального моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Контролер 5 отримує дані від пристроїв для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля та керує спеціальним пристроєм індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив 6. Дані, отримані від пристроїв для моніторингу, записуються у вигляді електронної карти на PC card з магнітним носієм 7 з прив'язкою до координат місцезнаходження за допомогою системи DGPS 8. На PC card з магнітним носієм електронної карти 7 можливий запис даних від пристроїв для моніторингу (картограма завдання) та реалізації змінних норм внесення мінеральних добрив (технологічного матеріалу) – електронна карта (картограма реалізація).

Важливим елементом запропонованої інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь є підвіска 3, яка забезпечує стабілізацію робочих електродів 4 та копіювання нерівностей поверхні поля (рис. 3).

Тому наступним важливим етапом є визначення робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів (рис. 4). Маємо наступну систему підвіски (рис. 4).

Розглянемо зусилля, які діють у стержнях інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища та її динамічну модель для з'ясування оптимальних механіко-конструктивних параметрів

системи та динамічних характеристик агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

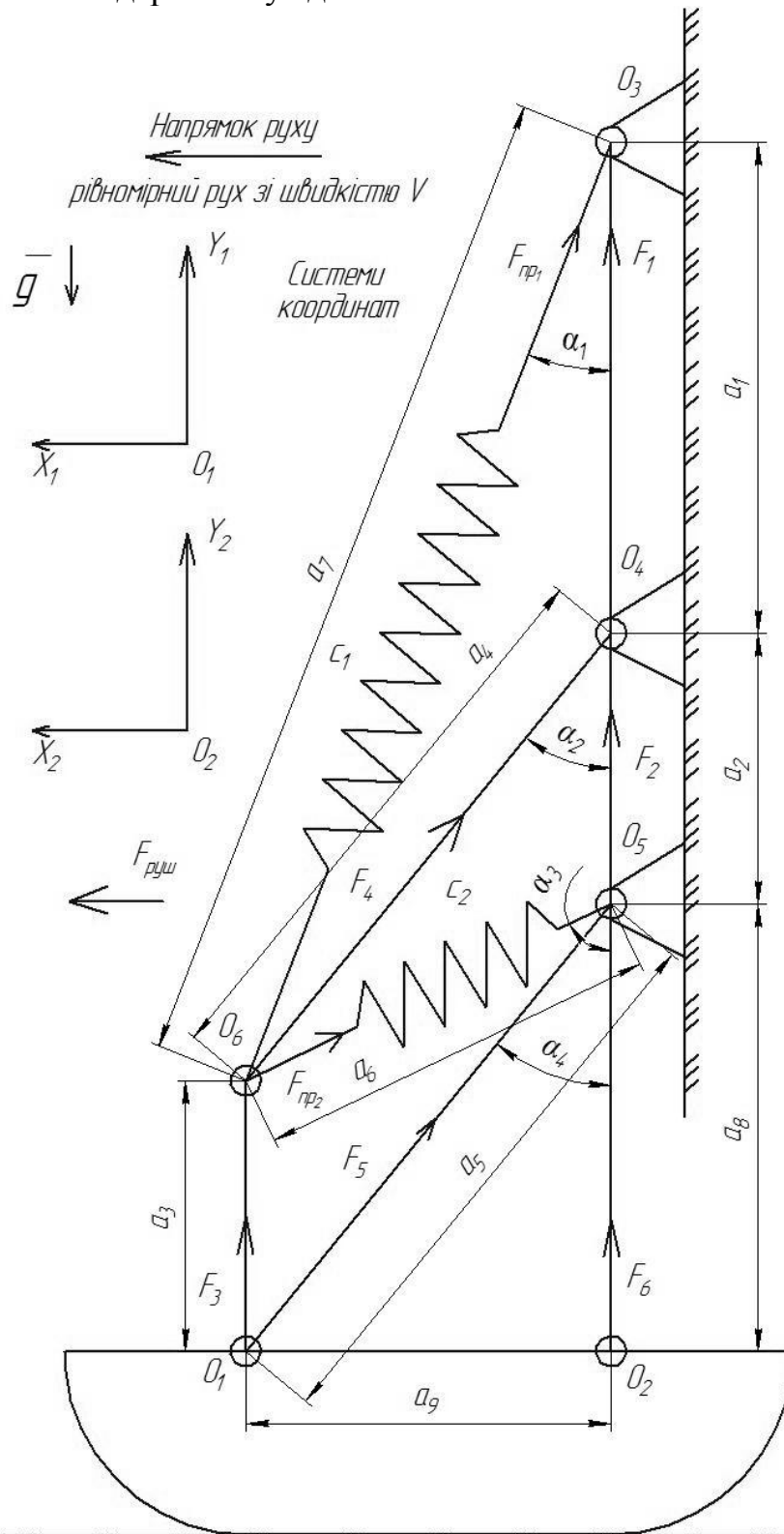


Рис. 4. Розрахункова схема підвіски та розміщення робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь



У системі (рис. 4) введені:

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – відстані відповідних важелів;

a_9 – відстань між O_1 й O_2 ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – кути розміщення важелів;

$F_{\text{ПР}_1} = c_1 \cdot (\Delta l_1)$, $F_{\text{ПР}_2} = c_2 \cdot (\Delta l_2)$ – пружні сили елементів підвіски;

$\Delta l_1, \Delta l_2$ – видовження/скорочення вповдовж осей a_7, a_6 ;

c_1, c_2 – жорсткості відповідних пружин;

$F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ – сили, які виникають у відповідних точках системи;

N_1 і N_2 – сили реакцій опори ґрунту ($F_3 = N_1$; $F_6 = N_2$).

Для визначення зусиль, які діють у стержнях інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища, необхідно записати умови рівноваги окремо слід написати для точки O_1 , й для точки O_2

Відстань a_9 можна знайти за відомого кута α_1 й α_7 :

$$\alpha_9 = \alpha_7 \cdot \sin \alpha_1. \quad (1)$$

Кут α_2 можна знайти за відомого кута α_1 :

$$\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1 = \alpha_4 \cdot \sin \alpha_2; \quad (2)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_2 = \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_4}.$$

$$\alpha_2 = \arcsin \left\{ \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_4} \right\}; \quad (3)$$

$$\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1 = \alpha_6 \cdot \sin \alpha_3. \quad (4)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_3 = \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_6}.$$

$$\alpha_3 = \arcsin \left\{ \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_6} \right\}; \quad (5)$$

$$\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1 = \alpha_5 \cdot \sin \alpha_4. \quad (6)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_4 = \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_5}.$$

$$\alpha_4 = \arcsin \left\{ \frac{\alpha_7 \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_5} \right\}. \quad (7)$$



Отже, кути $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ можна знайти через кут α_1 й лінійні розміри, дані у задачі.

Розглянемо рівновагу у системі $X_1O_1Y_1$.

При рівномірному русі системи у напрямку руху зі швидкістю V сума всіх сил, спроектованих на вісь O_1X_1 дорівнює нулю.

$$\sum_{X_1O_1} = F_{1X} + F_{2X} + F_{6X} + F_{3X} + F_{4X} + F_{5X} + F_{np1-X} + F_{np2-X} = F_{pyu} \quad (8)$$

$$\sum_{X_1O_1} = 0 = 0 + 0 + 0 + 0 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{pyu} \quad (9)$$

Остаточно маємо:

$$F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{pyu} \quad (10)$$

Аналогічно для вісі O_1Y_1 :

$$\sum_{O_1Y_1} F_{yi} = -M \cdot g, \quad (11)$$

де M – маса інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$\sum_{O_1Y_1} F_{yi} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g \cdot \quad (12)$$

Остаточно маємо для вісі O_1Y_1 :

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g \cdot \quad (13)$$

Можна легко зрозуміти, що для осей O_1X_1 і O_1Y_1 формули (1) та (2) повторюються.

Тепер розглянемо рівновагу системи при обертанні навколо точки O_1 й, окремо, навколо точки O_2 .

Рівновага навколо точки O_1 (при обертанні):

$$M_1 \downarrow = M_2 \uparrow \quad (14)$$

$$M_1 \downarrow = M_{1F4} + M_{1F5} + M_{1Fnn1} + M_{1Fnn2} = \\ = F_4 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_3 \sin \alpha_3; \quad (15)$$

$$M_2 \uparrow = F_1 \cdot a_9 + F_3 \cdot a_9 + F_6 \cdot a_9. \quad (16)$$

Тоді для рівноваги системи при обертанні відносно точки O_1 маємо умову:

$$F_4 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_3 \sin \alpha_3 = a_9 \cdot \{F_1 + F_2 + F_6\}, \quad (17)$$

або

$$a_3 \cdot (F_4 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3) = a_9 \cdot \{F_1 + F_2 + F_6\}. \quad (18)$$



Рівновага системи відносно обертання навколо точки O_2 :

$$M_2 \downarrow = F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \sin \alpha_3. \quad (19)$$

$$M_2 \uparrow = 0. \quad (20)$$

Тому маємо умову рівноваги при обертанні навколо вісі O_2 :

$$F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \sin \alpha_3 = 0. \quad (21)$$

Об'єднаємо умови (10), (13), (18), (21) у систему рівнянь:

$$\begin{cases} F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{\text{пум}}; \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g; \\ a_3 \cdot (F_4 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3) = a_9 \cdot (F_1 + F_2 + F_6); \\ F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \sin \alpha_3 = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Сили F_3 й F_6 відомі як реакції опори:

$$F_3 = N_1; F_6 = N_2. \quad (23)$$

Тоді з рівняння з 1-го до 4-го у системі (22) маємо залежності сил $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ від пружних сил $F_{\text{ПР}_1} = c_1 \cdot (\Delta l_1)$, $F_{\text{ПР}_2} = c_2 \cdot (\Delta l_2)$ й реакцій сил опори ґрунту N_1 і N_2 . Перепишемо систему (5) іншим чином:

$$\begin{cases} F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 = -c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 + F_{\text{пум}}; \\ F_1 + F_2 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 = -N_1 - N_2 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 - M \cdot g; \\ F_1 \cdot a_9 + F_2 \cdot a_9 - a_3 \cdot F_4 \cdot \sin \alpha_2 = -a_9 \cdot N_2 + a_3 \cdot c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + a_3 \cdot c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3; \\ F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 = -N_1 \cdot a_9 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \sin \alpha_3. \end{cases} \quad (24)$$

З цієї системи чотирьох лінійних рівнянь для сил F_1, F_2, F_3, F_4 можна знайти за правилом Крамера їх значення через (N_1, N_2) й $c_1 \cdot \Delta l_1, c_2 \cdot \Delta l_2$ та геометричні параметри системи (кути + лінійні розміри).

Наведемо нижче формули для цих обчислень.

Спочатку знайдемо систему рівнянь (24) у наступному стандартному вигляді:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot F_1 + a_{12} \cdot F_2 + a_{13} \cdot F_4 + a_{14} \cdot F_5 = B_1; \\ a_{21} \cdot F_1 + a_{22} \cdot F_2 + a_{23} \cdot F_4 + a_{24} \cdot F_5 = B_2; \\ a_{31} \cdot F_1 + a_{32} \cdot F_2 + a_{33} \cdot F_4 + a_{34} \cdot F_5 = B_3; \\ a_{41} \cdot F_1 + a_{42} \cdot F_2 + a_{43} \cdot F_4 + a_{44} \cdot F_5 = B_4. \end{cases} \quad (25)$$

де:

$$\begin{cases}
 a_{11} = 0; a_{12} = 0; a_{13} = \cos \alpha_2; a_{14} = \cos \alpha_4; \\
 a_{21} = 1; a_{22} = 1; a_{23} = \cos \alpha_2; a_{24} = \cos \alpha_4; \\
 a_{31} = a_9; a_{32} = a_9; a_{33} = -a_3 \cdot \sin \alpha_2; a_{34} = 0; \\
 a_{41} = 0; a_{42} = 0; a_{43} = (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2; a_{44} = a_8 \cdot \sin \alpha_4; \\
 B_1 = -c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 + F_{\text{пуш}}; \\
 B_2 = -N_1 - N_2 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 - M \cdot g; \\
 B_3 = -a_9 \cdot N_2 + a_3 \cdot c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_2 + a_3 \cdot c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3; \\
 B_4 = -N_1 \cdot a_9 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3
 \end{cases} \quad (26)$$

Головний визначник системи (25):

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0; \quad (27)$$

Додаткові визначники:

$$\begin{aligned}
 \Delta F_1 &= \begin{vmatrix} B_1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ B_2 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ B_3 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ B_4 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} & \Delta F_2 &= \begin{vmatrix} a_{11} & B_1 & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & B_2 & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & B_3 & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & B_4 & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \\
 \Delta F_4 &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & B_1 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & B_2 & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & B_3 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & B_4 & a_{44} \end{vmatrix}; & \Delta F_5 &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & B_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & B_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & B_3 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & B_4 \end{vmatrix}.
 \end{aligned} \quad (28)$$

Тоді, після обчислень $\Delta, \Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_4, \Delta F_5$ матимемо значення сил:

$$F_1 = \frac{\Delta F_1}{\Delta}; \quad F_2 = \frac{\Delta F_2}{\Delta}; \quad F_4 = \frac{\Delta F_4}{\Delta}; \quad F_5 = \frac{\Delta F_5}{\Delta}. \quad (29)$$

Зусилля F_1, F_2, F_4, F_5 – це зусилля у рамках інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Зусилля N_1 і N_2 – можна взяти як певні нормовані зусилля для ґрунтів сільськогосподарського призначення, які лежать у певних межах: $\min \leq (N_1, N_2) \leq \max$.

Стосовно оптимізації інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь по такій розрахунковій схемі слід



сказати, що всі ці зусилля повинні бути \min . Тому критерій оптимальності, який визначить C_1 і C_2 слід шукати для такої функції:

$$(F_1^2 + F_2^2 + F_4^2 + F_5^2) \rightarrow \min. \quad (30)$$

При цьому беруться квадрати сил, бо деякі з них можуть виявитися з від'ємним знаком.

Крім того, треба нормовано задати поля змін показників Δ_1 й Δ_2 , тобто ,

$$\min \leq (\Delta_1, \Delta_2) \leq \max. \quad (31)$$

Тоді у цьому полі (Δ_1, Δ_2) – нормованих, (N_1, N_2) – нормованих (заданих), шукаємо поле оптимальних значень C_1, C_2 за критерієм (30).

Висновок. Запропонована математична модель для визначення робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів дозволить підвищити продуктивність та ефективність моніторингу стану сільськогосподарських угідь шляхом безперервної реєстрації щільності струму на робочих електродах пристрою, які розміщуються попереду рухомого транспортного засобу та дозволяють проводити безперервний моніторинг на поверхні сільськогосподарських угідь, та дозволяє економити 10...25% посівного матеріалу і сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур в середньому на 10...20 ц/га.

Література.

1. Hertz, A., Hibbard, C., Hibbard, J. D. (1993). 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*, 218-231.

2. Медведев В. В. Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. I: Введение в проблему / В. В. Медведев. – Харків, 2007. – 296 с.

3. Иванов Ю. П. Комплексирование информационно-измерительных устройств ЛА / Ю. П. Иванов, А. Н. Синяков, И. В. Филатов. – К.: Агропромиздат, 1984. – 207 с.

4. Скритник О. Я. Фрактальный анализ часовых рядов данных спостережень за температурою повітря в Україні / О. Я. Скритник, О. А. Скритник, Д. О. Ошурко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.2 (29). – С. 89-95.



5. Демиденко О. В. Фрактальний аналіз кліматичних параметрів та продуктивності зернових культур / О. В. Демиденко // Вісник аграрної науки. – 2017. – №7. – С.10-16.

6. Mandelbrot, B. B. (1971). When can price be arbitrated efficiently? A limit to the validity of the random walk and martingale. *Models Review of Economics and Statistics*, 53(3), 225-236.

7. Mandelbrot, B. B. (1972). Statistical Methodology for Non Periodic Cycles: From the Covariance to R/S Analysis. *Annals of Economic and Social Measurement*, 1, 259-290.

8. Mandelbrot, B. B., Hudson, R. (2004). *The behavior of markets: a fractal view of risk, ruin and reward*. New York, N. Y.: Basic Books. 328p.

9. Peters, E. E. (1994). *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics*. John Wiley & Sons, Inc. 336p.

10. Parzen, E. (2004). *Long memory of statistical time series modeling*. Texas A & M University, NBER/NSF Time Series Conference. 10p.

11. Hurst, H. E. (1951). Long – Term Storage Capacity of Reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116, 770-799.

12. Hurst, H.E. (1951). Long – Term Storage Capacity of Reservoirs / *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116, 776-808.

13. Грицюк П. М. Дослідження циклічності природних процесів методом полі гармонічного аналізу / П. М. Грицюк // Штучний інтелект. – 2006. – №2. – С. 294-297.

14. Грицюк П. М. Застосування R/S – аналізу для перевірки гіпотези про циклічність урожайності зернових культур / П. М. Грицюк // РДМУ – 2007: Тези доповідей міжнародної конференції. – Крим (Новий світ), 2007. – С. 52-54.

15. Максимко Н. К. Анализ и прогнозирования эволюции экономических систем: монография / Н. К. Максимко, В. А. Перепелица. – Запорожье: Полиграф, 2006. – 236с.

16. Кириченко Л. О. Оценивание самоподобия стохастического временного ряда методом вейвлет – анализа / Л. О. Кириченко, Ж. В. Дейнеко // Радиоелектроніка і комп'ютерні системи. – 2009. – №4 (38). – С. 99-105.

17. Parzen, E. (2004). *Long memory of statistical time series modeling*. Texas A & M University, NBER/NSF Time Series Conference, 2004. 10p.

18. Снитюк В. Є. Прогнозування моделі. Методи. Алгоритми / В. Є. Снитюк. – К.: Маклаут, 2008. – 364с.

19. Anis, A. Loyd, E. (1976). The expected value of the adjusted rescaled Hurst Range of independent normal summands. *Biometrika*, 63, 111-116.



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Броварец А.А.

Аннотация

Построена математическая модель для определения оптимальных рабочих параметров и режимов функционирования информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды сельскохозяйственных угодий в зависимости от механико-конструктивных параметров и типа подвески ее рабочих электродов. Данная модель дает возможность оптимизировать рабочие параметры и режимы функционирования информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды сельскохозяйственных угодий в зависимости от механико-конструктивных параметров и типа подвески ее рабочих электродов, а соответственно и обеспечение максимальной производительности таких систем при получении достоверных данных с учетом агробиологического состояния грунтовой среды. Это дает возможность принять оперативное решение для управления агробиологическим потенциалом сельскохозяйственных угодий при выполнении технологических операций с помощью машинно-тракторного агрегата, сельскохозяйственной машины с использованием информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды.

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE WORKING PARAMETERS AND MODES OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION-TECHNICAL SYSTEM

O. Brovarets

Summary

A mathematical model has been constructed to determine the optimal operating parameters and operating modes of the information-technical system for local operational monitoring of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land, depending on the mechanical and structural parameters and the type of suspension of its working electrodes. This model makes it possible to optimize the operating parameters and operating modes of the information-technical system for local operational monitoring of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land, depending on the mechanical design parameters and the type of suspension of its working electrodes, and thus ensuring the maximum performance of such systems in obtaining reliable data from taking into account the agrobiological state of the soil environment. This makes it possible to make an operative decision to manage the agrobiological potential of agricultural lands when performing technological operations with the help of a machine-tractor unit and an agricultural machine using the information technology system of local operational monitoring of the agrobiological condition of the ground environment.

Keywords: operation electrodes, quality of technological operation, variability of soil environment, technical system of operational monitoring, agrobiological status, monitoring.