

УДК 681.513

О.О. БРОВАРЕЦЬ

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАЛЕЖНО ВІД ПАРАМЕТРІВ ВАЖЛИВОЇ ПІДВІСКИ ЇЇ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Існуючі способи керування агробіологічним станом ґрунтового середовища та відбором проб ґрунту за наявними методиками не враховують варіабельності їх параметрів по площі сільськогосподарських угідь. Для реалізації технології диференційованого внесення технологічного матеріалу переважно використовується спрощений спосіб рівномірного розбиття поверхні поля на рівні квадрати (переважно площею 5-15 га) для подальшої діагностики та керування полем з використанням такої диференціації. З однієї сторони, такий поділ обумовлений зручністю та простотою даного методу, з іншої – відсутністю достовірних оперативних даних про поле та, відповідно, інструмента для поділу поля за іншими критеріями на основі вихідних даних. За цією методикою до умовно рівного квадрата на полі можуть потрапляти ділянки з принципово різними параметрами, середнє значення яких не відобразить реальних параметрів даної ділянки. Спосіб рівномірного розбиття на рівні квадрати поверхні поля не враховує специфіки поля та зон неоднорідності, як наслідок, має місце низька достовірність даних, отриманих з використанням такого методу, а відповідно, і можливість використання таких даних для якісного керування технологічними процесами з застосуванням технології диференційованого внесення технологічного матеріалу.

У деяких випадках значення параметрів ґрунтового середовища будуть занижені, а по деяких завищені в межах одного квадрата. Диференційоване керування нормою внесення технологічного матеріалу, у межах даного квадрата, повинне буде здійснюватися саме на підставі середнього значення цього параметра. Тому такий спосіб реалізації диференційованого внесення технологічного матеріалу буде неефективним.

За цих умов виникає необхідність пошуку більш ефективного способу для оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Найбільш ефективним способом оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь є вимірювання електропровідних характеристик ґрунтового середовища. Електропровідні властивості ґрунтового середовища є комплексним показником його агробіологічного стану, який враховує твердість, вологість, вміст поживних речовин у ґрунті, насиченість основами, сміст катіонного обміну тощо.

Високий вміст води, солей та поживних речовин у ґрунті сприяють підвищенню показників електропровідності ґрунтового середовища у межах одного поля. Ці показники реєструє інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Така інформація дозволяє виділити зони варіабельності ґрунтового середовища та у подальшому здійснювати керування агробіологічним станом сільськогосподарських угідь з врахування зон неоднорідності.

Ставиться завдання отримання оперативних достовірних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища шляхом зменшення похибки при визначенні величини електропровідних властивостей ґрунту. Для розв'язання означених задач використовують інформаційно-технічну систему локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом вимірювання електропровідності ґрунтів з різними типами підвіски її робочих електродів.

Інформаційно-технічну систему локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь використовують: перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Проведено фізичне моделювання функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Це відкриває нові перспективи для ведення органічного землеробства з використанням таких "розумних" сільськогосподарських машин.

Ключові слова: інформаційно-технічна система, оперативний моніторинг, математична модель, важлива підвіска.

А.А. БРОВАРЕЦ

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ВАРИАбельНОСТИ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ РЫЧАЖНОЙ ПОДВЕСКИ ЕЕ РАБОЧИХ ЭЛЕКТРОДОВ

Существующие способы управления агробиологическим состоянием почвенной среды и отбором проб грунта по имеющимся методикам не учитывают вариабельности их параметров по площади сельскохозяйственных угодий. Для реализации технологии дифференцированного внесения технологического материала преимущественно используется упрощенный способ равномерного разбиения поверхности поля на равные квадраты (преимущественно площадью 5-15 га) для дальнейшей диагностики и управления полем с использованием такой дифференциации. С одной стороны, такое разделение обусловлено удобством и простотой данного метода, с другой – отсутствием достоверных оперативных данных о поле и, соответственно, инструмента для разделения поля по другим критериям на основе исходных данных. По этой методике в условно равный квадрат на поле могут попадать участки с принципиально разными параметрами, среднее значение которых не отражает реальных параметров данного участка. Способ равномерного разбиения на равные квадраты поверхности поля не учитывает специфики поля и зон неоднородности, как следствие, имеет место низкая достоверность данных полученных с использованием такого метода, а соответственно, и возможность использования таких данных для качественного управления технологическими процессами с использованием технологии дифференцированного внесения технологического материала.

В некоторых случаях значения параметров почвенной среды будут занижены, а в некоторых – завышены в пределах одного квадрата. Дифференцированное управление нормой внесения технологического материала, в рамках данного квадрата, должно будет осуществляться именно на основании среднего значения этого параметра. Поэтому такой способ реализации дифференцированного внесения технологического материала будет неэффективным.

В этих условиях возникает необходимость поиска более эффективного способа для оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

Наиболее эффективным способом оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий является измерение электропроводящих характеристик почвенной среды. Электропроводящие свойства почвенной среды является комплексным показателем его агробиологического состояния, учитывающим твердость, влажность, содержание питательных веществ в почве, насыщенность основаниями, емкость катионного обмена и др.

Высокое содержание влаги, солей и питательных веществ в почве способствуют повышению показателей электропроводности почвенной среды в пределах одного пол. Эти показатели регистрируются информационно-технической системой локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий. Такая информация позволяет выделить зоны вариабельности почвенной среды и в дальнейшем осуществлять управление агробиологическим состоянием сельскохозяйственных угодий с учетом зон неоднородности.

Ставится задача получения оперативных достоверных данных об агробиологическом состоянии почвенной среды путем уменьшения погрешности при определении величины электропроводящих свойств почвы. Для решения указанных задач используют информационно-техническую систему локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий путем измерения электропроводности почв с различными типами подвески ее рабочих электродов.

Информационно-техническую систему локального оперативного мониторинга агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий используют: перед выполнением технологической операции, одновременно с выполнением технологической операции (сев, внесение минеральных удобрений и т.п.); в течение вегетации и после уборки урожая.

Проведено физическое моделирование функционирования информационно-технической системы локального оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий.

Это открывает новые перспективы для ведения органического земледелия с использованием таких "умных" сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: информационно-техническая система, оперативный мониторинг, математическая модель, рычажная подвеска

O.O. BROVARETS
Kyiv Cooperative Institute of Business and Law

MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION TECHNOLOGY OPERATIONAL MONITORING SYSTEM OF LOCAL VARIABILITY OF AGROBIOLOGICAL SOIL MEDIA FARMLAND WITHIN THE PARAMETERS LEVER SUSPENSION OF WORKING ELECTRODE

Existing methods for controlling the agrobiological state of the soil and sampling soil according to available methods do not take into account the variability of their parameters in the area of agricultural land. In order to realize the technology of differentiated introduction of technological material, a simplified method of uniformly dividing the surface of the field at the squared (preferably 5-15 hectares) is used for further diagnostics and control of the field using such differentiation. On the one hand, such a division is due to the convenience and simplicity of the method, on the other hand, the lack of reliable field data and, accordingly, the instrument for splitting the field according to other criteria based on the original data. According to this method, a zone with essentially different parameters, the average value of which does not reflect the real parameters of this site, can fall into a conditionally equal square on the field. The method of uniform division at the level of the square of the surface of the field does not take into account the specifics of the field and the heterogeneity zones, as a result of the low reliability of the data obtained using this method, and, accordingly, the possibility of using such data for the quality control of technological processes using the technology of differentiated introduction of technological material.

In some cases, the values of the soil environment parameters will be understated, and some will be overestimated within one square. Differentiated control of the norm of making a technological material, within the limits of a given square, should be carried out precisely on the basis of the average value of this parameter. Therefore, such a method of implementing a differentiated introduction of technological material will be ineffective.

Under these conditions, there is a need to find the most effective way for operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands. The most effective way of operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands is the measurement of the conductive characteristics of the soil environment. The conductive properties of the soil environment is a complex indicator of its agrobiological state, which takes into account the hardness of moisture, the content of nutrients in the soil, the saturation of the bases, the capacity of the cation exchange, and others like that.

High moisture content, salts and nutrients in the soil contribute to increasing the electrical conductivity of the soil environment within the same field, which is recorded by the information and technical system of local operational monitoring of the agrobiological state of agricultural land. Such information makes it possible to isolate the zones of variability of the soil environment and, in the future, to manage the agrobiological state of agricultural lands, taking into account heterogeneity zones.

The task is to obtain reliable data on the agrobiological state of the soil environment by reducing the error in determining the magnitude of the conductive properties of the soil. To provide the indicated tasks, the information and technical system of local operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands is used by measuring the electrical conductivity of soils with different types of suspension of its working electrodes.

The information and technical system of local operational monitoring of the agrobiological state of agricultural lands is used: before the execution of the technological operation, simultaneously with the implementation of the technological operation (seed, application of mineral fertilizers, etc.); during the growing season and after harvesting. The physical modeling of the functioning of the information and technical system of the local operational monitoring of the condition of agricultural lands is carried out.

This opens new prospects for organic farming using such "smart" agricultural machines.

Keywords: information-technical system, operational monitoring, information and technical system, operational monitoring, mathematical model, lever suspension.

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 "смагт" машин (Smart machinery) [1–25].

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.

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ. Питання про шкалу вимірювання неоднорідності. Звичайно, неоднорідність порівняно просто вираховується, коли

характеристики об'єктів, які порівнюються, 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 структурної 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 є недосконалими [2, 3, 4]. 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.

Аналіз останніх 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. 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 розробці та використанні принципово нового класу сільськогосподарських машин підтримки виробництва продукції рослинництва – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь [13-15].

Структура ґрунту змінюється в значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, як наприклад ґрунтова структура, мають прямий вплив на водомісткість, ємність катіонного обміну, врожайність тощо. Поживні речовини, що містяться у ґрунтах, використовуються рослиною, і їх вміст у ґрунті зменшуються. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунтах є вміст азоту, наявність якого у ґрунті значною мірою визначає врожайність. 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 ґрунту, що впливають на врожайності 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). 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.

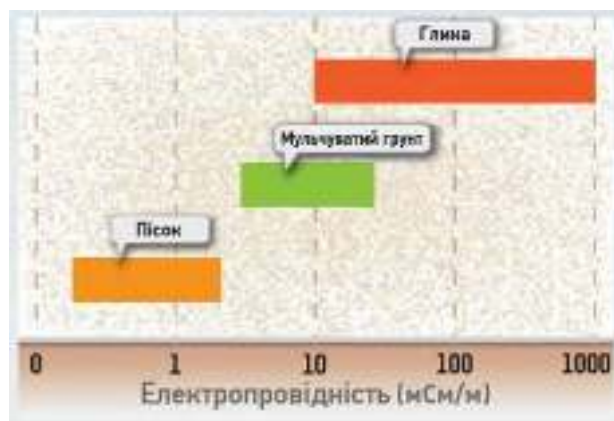


Рис. 1. Електропровідність різних типів ґрунтів.

Мета дослідження

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.

Викладення основного змісту дослідження

Відомий пристрій для визначення агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом визначення електропровідних властивостей (<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 наведеного пристрою є значна похибка при визначенні електропровідних характеристик ґрунтового середовища, 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 пристрою для визначення електропровідних характеристик ґрунтового середовища виникає значна похибка, яка обумовлена конструкцією дисків при зануренні та контакту їх із ґрунтом.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця дає можливість оперативно визначати 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 використання пружної підвіски робочих електродів забезпечується стабілізація робочих електродів у ґрунті та копіювання нерівностей поверхні поля. Таким чином можна отримати достовірні дані електропровідності ґрунту, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

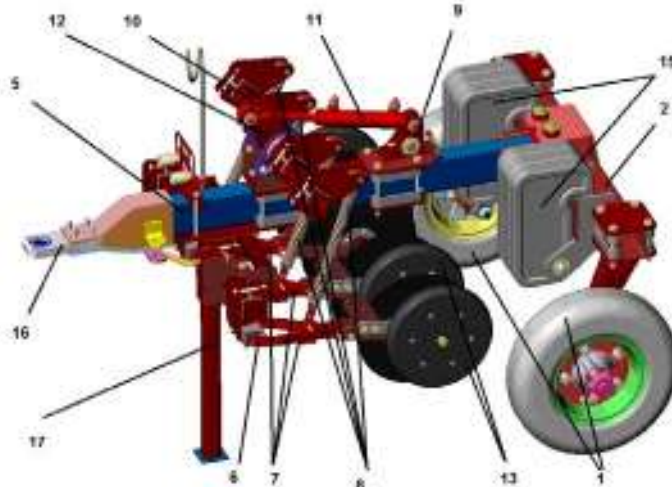


Рис. 2. Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця.

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 для ведення органічного землеробства з використанням "розумних" сільськогосподарських машин. Розробимо математичну модель функціонування важільної підвіски робочих електродів розміщених позаду транспортного агрегату інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь (рис. 3).

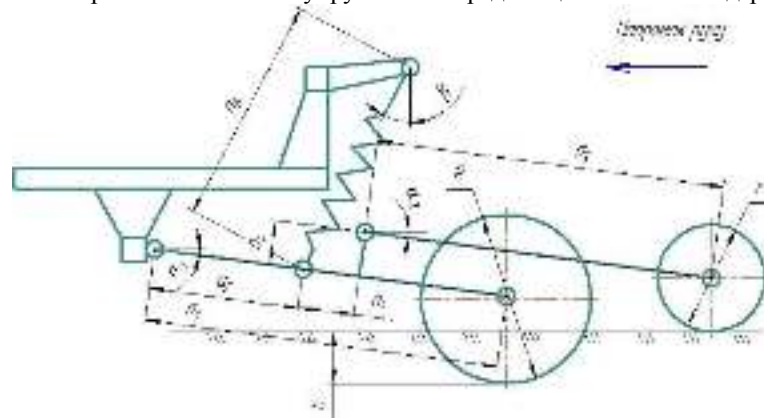


Рис. 3. Розрахункова схема підвіски та розміщення робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Встановимо спочатку геометричні співвідношення.

$$\begin{cases} \frac{a_4}{\cos \alpha_2} = r - (R - h); \\ a_1 \cdot \cos \alpha_1 - (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 - a_n \cdot \sin \alpha_2 + \frac{a_4}{\sin \alpha_2} = a_5 \cdot \cos \alpha_2. \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha_2 = \arccos \left\{ \frac{a_4}{r - R + h} \right\}, \quad (2)$$

$$r + h > R$$

Кути α_1 й α_2 зв'язані між собою наступною залежністю:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 \cdot (a_1 - a_2 - a_3) &= a_4 \cdot \sin \alpha_2 - \frac{a_4}{\sin \alpha_2} + a_5 \cdot \cos \alpha_2 \\ \cos \alpha_1 &= \frac{\left[a_4 \cdot \sin \alpha_2 - \frac{a_4}{\sin \alpha_2} + a_5 \cdot \cos \alpha_2 \right]}{(a_1 - a_2 - a_3)}; \\ \alpha_1 &= \arccos \left\{ \frac{\left[a_4 \cdot \sin \alpha_2 - \frac{a_4}{\sin \alpha_2} + a_5 \cdot \cos \alpha_2 \right]}{(a_1 - a_2 - a_3)} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Моменти сил, які діють на систему, визначаються за наступною залежністю:

$$\begin{aligned} M \uparrow &= c \cdot \Delta \ell \cdot a_2 \cdot \cos(\beta - \alpha_1); \\ M \uparrow &= N_1 \cdot a_1 \cdot \cos \alpha_1; M \downarrow = m_1 \cdot g \cdot \cos \alpha_1; \\ M \uparrow &= N_2 \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\}; \\ M \downarrow &= m_2 \cdot g \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\}; \\ \Sigma M \uparrow &= \Sigma M \downarrow. \end{aligned} \quad (4)$$

Запишемо рівняння рівноваги для системи:

$$\begin{aligned} c \cdot \Delta \ell \cdot a_2 \cdot \cos(\beta - \alpha_1) + N_1 \cdot a_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\} = \\ = m_1 \cdot g \cdot a_1 \cdot \cos \alpha_1 + m_2 \cdot g \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\}; \end{aligned} \quad (5)$$

Звідси

$$c \cdot \Delta \ell \cdot a_2 \cdot \cos(\beta - \alpha_1) + (N_1 - m_1 \cdot g) \cdot a_1 \cdot \cos \alpha_1 + (N_2 - m_2 \cdot g) \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\} = 0. \quad (6)$$

Друге рівняння, це рівність сукупної рівнодіючої усіх сил, що діють у вертикальному напрямку:

$$c \cdot \Delta \ell \cdot \cos \beta + N_1 + N_2 = m_1 \cdot g + m_2 \cdot g, \quad (7)$$

де $\Delta \ell = \ell - a_6$; ℓ - поточне значення довжини пружини.

Третє рівняння для горизонтальних сил й рівнодіючої (при рівномірному русі вона дорівнює 0).

При рівномірному русі: $V = const$

$$F_{рушійна} - c \cdot \Delta \ell \cdot \sin \beta - F_{тертя_1} - F_{тертя_2} = 0 \quad (8)$$

$F_{тертя_1}$ – сила тертя кочення/ковзання під першим колесом (R).

$F_{тертя_2}$ – сила тертя кочення/ковзання під другим колесом (r).

$$F_{тертя_1} = k \cdot N_1; \quad (9)$$

$$F_{тертя_2} = k \cdot N_2;$$

k – коефіцієнт тертя ковзання (або тертя кочення).

Зазначимо, що k тертя коченні залежить від радіусу колеса й типів контактуючих поверхонь (матеріал колеса й ґрунт).

З рівнянь (4), (5), (6) знаходимо всі невідомі сили $N_1, N_2, c \cdot \Delta \ell$.

Знаючи силу пружності $F_{пружн.} = c \cdot \Delta \ell$, знайдемо жорсткість пружини c :

$$c = \frac{F_{пружн.}}{(\ell - a_6)} \quad (10)$$

Система рівнянь (4), (5), (6) для визначення N_1, N_2 й $F_{пружн.}$ може бути подана наступним чином:

$$\begin{cases} F_{пружн.} \cdot A_{11} + N_1 \cdot A_{12} + N_2 \cdot A_{13} = B_1; \\ F_{пружн.} \cdot A_{21} + N_1 \cdot A_{22} + N_2 \cdot A_{23} = B_2; \\ F_{пружн.} \cdot A_{31} + N_1 \cdot A_{32} + N_2 \cdot A_{33} = B_3. \end{cases} \quad (11)$$

де ведені наступні позначення:

$$A_{11} = a_2 \cdot \cos(\beta - \alpha_1); \quad A_{12} = a_1 \cdot \cos \alpha_1; \quad A_{13} = a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2;$$

$$B_1 = m_1 \cdot g \cdot a_1 \cdot \cos \alpha_1 + m_2 \cdot g \cdot \{a_5 \cdot \cos \alpha_2 + (a_2 + a_3) \cdot \cos \alpha_1 + a_4 \cdot \cos \alpha_2\};$$

$$A_{21} = \cos \beta; \quad A_{22} = 1; \quad A_{23} = 1; \quad B_2 = (m_1 + m_2) \cdot g;$$

$$A_{31} = \sin \beta; \quad A_{32} = k; \quad A_{33} = k; \quad B_3 = F_{рушійна} = \frac{N}{V},$$

де N – потужність тягового агрегату інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь;

V – швидкість руху інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь (при рівномірному русі $V = const$).

Всі маси й геометричні параметри вважаємо заданими. Ці геометричні параметри зв'язані між собою геометричними співвідношеннями (1), (2), (3).

Вважаємо, що $\ell = a_6 + \Delta\ell$, причому $\frac{\Delta\ell}{a_6} \ll 1$, щоб пружина працювала у межах лінійного закону

Гука.

Тобто, скажімо $\frac{\Delta\ell}{a_6} = 0,1$ (або 0,01), або якесь інше число в залежності від матеріалу пружини.

З системи (4) легко знаходимо всі невідомі $F_{пружн.}$, N_1 , N_2 за правилом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix}; \quad \Delta F_{пружн.} = \begin{vmatrix} B_1 & A_{12} & A_{13} \\ B_2 & A_{22} & A_{23} \\ B_3 & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix}; \quad (12)$$

$$\Delta N_1 = \begin{vmatrix} A_{11} & B_1 & A_{13} \\ A_{21} & B_2 & A_{23} \\ A_{31} & B_3 & A_{33} \end{vmatrix}; \quad \Delta N_2 = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & B_1 \\ A_{21} & A_{22} & B_2 \\ A_{31} & A_{32} & B_3 \end{vmatrix}.$$

де $F_{пружн.} = \frac{\Delta F_{пружн.}}{\Delta}$; $N_1 = \frac{\Delta N_1}{\Delta}$; $N_2 = \frac{\Delta N_2}{\Delta}$.

Визначники Δ , $\Delta F_{пружн.}$, ΔN_1 , ΔN_2 – легко розкрити за правилом трикутників.

Знаючи $F_{пружн.}$, знаходимо c – жорсткість пружини інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь:

$$c = \frac{F_{пружн.}}{\ell - a_6} = \frac{F_{пружн.}}{\Delta\ell} = \frac{F_{пружн.}}{\frac{\Delta\ell}{a_6} \cdot a_6}.$$

Вважаємо, що $\frac{\Delta\ell}{a_6}$ – задане число n , наприклад, $n=0,01$; $0,1$; і т.д.

$[c] = H/m$; $[N] = H$; $[N_2] = H$.

Висновки

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. Використання вказаної системи моніторингу дозволяє зекономити 10-25% посівного матеріалу і сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур в середньому на 10-20 ц/га.

Список використаної літератури:

1. Пархоменко Э.И. Геоэлектрические свойства минералов и горных пород при высоких давлениях и температурах / Э.И. Пархоменко. – М. Наука, 1989., 198 с.
2. Басниев К.С. Подземная гидромеханика / К.С. Басниев, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. М.: Недра, 1993., 416 с.
3. Александров П.Н. Эффективные электромагнитные параметры капиллярной системы электропроводности горной породы / П.Н. Александров // Физика Земли., 2000., № 2., С. 87- 94.
4. Hertz A. Chad and John D. Hibbard. A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production // Farm Economics iss. 14, Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Champaign-Urbana., 1993., P. 218-231.
5. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть I. Введение в проблему / В.В. Медведев. Харьков, 2007., 296 с.
6. Офіційний сайт компанії Veris Technologies [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.veristech.com>.
7. Ewart G.Y. Salinity Effects on soil moisture electrical resistance relationships / G.Y. Ewart, L.D. Baver // Soil Scien. Soc. Amer., 1950., V. 15., P. 56-63.

8. Воробьев Н.И. К вопросу кондуктометрического определения засоленности почв и грунтов / Н.И. Воробьев // Почвоведение, 1955., №4., С. 103.
9. Rhoades J.D. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. / J.D. Rhoades, J. Van. Schifgaarde // Soil Scien. Soc. Amer. J., 1976., № 5. , P. 647-651.
10. Pansu M. Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. / M. Pansu, J. Gautheyrou. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006., 993 p.
11. Гуков Я.С. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений / Я.С. Гуков, Н.К. Линник, В.Г. Мироненко // Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия, Рязань, 2001, С. 48-50.
12. Броварець О. Від безплужного до глобального розумного землеробства / О. Броварець // Техніка і технології АПК, 2016, № 10 (85), С. 28-30.
13. Адамчук В.В. Техніка для землеробства майбутнього. / В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства / В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, В.І. Кравчук, Д.Г. Войтюк. – Глеваха: ННЦ "ІМЕСГ", 2002, Вип. 86., С. 20-32.
14. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля. – К.: Аграрна наука, 2004, 398 с.
15. Ормаджи К.С. Контроль качества полевых работ / К.С. Ормаджи. – М.: Росагропромиздат., 1991., 191 с.
16. Масло І.П. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин / І.П. Масло, В.Г. Мироненко // УААН: Розробки-виробництву. – К.: Аграрна наука, 1999. , С. 348-349.