

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Соколік Сергій Петрович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-4496-8681

Sokolik1009@gmail.com

В даній роботі проведено аналіз існуючих методів і систем для збору даних про неоднорідності ґрунтових умов, зокрема твердості та розташування ущільнених зон, як окремо, так і безпосередньо під час проведення операцій обробітку ґрунту, проаналізовано їх переваги і недоліки. В сучасному агровиробництві для якісного виконання операцій обробітку ґрунту необхідні точні цифрові карти ґрунтових властивостей.

Вченими та виробниками обладнання постійно вдосконалюються існуючі системи визначення характеристик ґрунту, які б дозволили створювати точні ґрунтові карти. На сьогодні використовуються декілька типів датчиків: електромагнітні, оптичні, механічні, акустичні та ін. З них виробниками серійно випускаються і широко використовуються переважно електромагнітні датчики. Вони збирають інформацію про ґрунтову неоднорідність, що дозволяє визначати на полі відносно постійні і менші за розмірами ділянки, які називають зонами управління. Доцільним є використання даних, отриманих в результаті електромагнітного сканування під час руху по полю, як одного з джерел інформації для визначення відмінностей. На ділянках з подібною електропровідністю і з відносно стійкою врожайністю можна виконувати технологічні операції на однакових режимах роботи агрегатів, які можна визначити за меншою кількістю проб.

Створення нових сенсорів та систем, які здатні швидко змінювати режими роботи машинних агрегатів в реальному часі, дозволить збільшити ефективність від їх застосування, тим самим зменшити вплив ґрунтових відмінностей на урожайність агрокультури.

Перспективним напрямком є використання мобільних ґрунтових сканерів, що дозволить підвищити якість і знизити вартість створення ґрунтових карт. Подальше вдосконалення процесу аналізу ґрунту датчиками під час руху дозволить використовувати отримані дані для регулювання режимів роботи агрегатів в реальному часі. На сьогодні лише системи електромагнітного картографування доступні агровиробникам на комерційній основі. Тому важливим є продовження розробки нових мобільних систем для моніторингу ґрунтових характеристик, які в подальшому можуть використовуватися науковими і комерційними установами. Основними вимогами до таких систем є підвищення точності даних при зниженні затрат на створення картограм, що полегшить процес ухвалення рішень.

**Ключові слова:** ґрунт, ущільнення, сканування ґрунту, сканер ґрунту, ґрунтова карта.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.12>

**Вступ.** Точне землеробство поєднує в собі технічні, інформаційні і технологічні додатки, які спрямовані підвищити ефективність агровиробництва. Перехід до точного землеробства має багато техніко-технологічних вимог. Ці технічні основи потребують значних інвестицій. Однак для того, щоб технології були ефективними та точними, потрібен значний обсяг і якість інформації. Знання особливостей ґрунту є необхідним для правильного обробітку ґрунту.

Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють важливу роль у обробітку ґрунту. Вони дозволяють поширити існуючу інформацію про ґрунт та іншу інформацію про навколишнє середовище, зібрану за допомогою спостережень та/або дистанційного зондування, до просторового об'єкта. Таким чином, за допомогою ГІС ми можемо розмежувати так звані сільськогосподарські одиниці, де ґрунт можна вважати майже однорідним з точки зору операцій обробітку. Встановлення зон вирощування є основою для відбору проб ґрунту (Söderström et al., 2016; Minasny & McBratney, 2016).

Мета досліджень – провести аналіз існуючих методів і систем для збору даних про неоднорідності ґрунтових умов, зокрема твердості та розташування ущільнених

зон, як окремо, так і безпосередньо під час проведення операцій обробітку ґрунту, проаналізувати їх переваги і недоліки.

**Матеріали і методи досліджень.** Відбір проб ґрунту можна проводити ручним або механічним способом. Існує багато різних методів визначення твердості ґрунту та глибин залягання зон ущільнень підшви плуга, починаючи від ручного вимірювання пенетрометрами і закінчуючи мобільними сканерами, які вимірюють безконтактно. Актуальним є питання зменшення собівартості виконання операцій визначення зон ущільнень по всій площі поля.

**Результати.** Сканування ґрунту – це не що інше, як цифрове картографування ґрунту, яке є результатом ГІС та дистанційного зондування. За допомогою цього методу ми можемо відобразити різні характеристики ґрунту на території, створюючи основу для точного відбору проб ґрунту та прокладаючи шлях для точного землеробства. Сканування ґрунту – це геофізичний метод вимірювання, який дозволяє вимірювати та аналізувати різні глибини ґрунту шляхом виявлення електромагнітного випромінювання, яке випромінює сканер. Використовуючи отримані необроблені дані, експерт із

програмного забезпечення може легко визначити різні параметри ущільнення ґрунту, водонасиченості та механічні параметри ґрунту, різні типи ґрунту. Ці особливості ґрунту можна легко відобразити на карті, забезпечуючи основу для диференційованої обробки ґрунту, поповнення поживними речовинами, зрошення, посіву, точного моделювання ґрунту, які також можна відобразити на карті та передати назад у цифровий блок трактора на основі цих карт (Schreiner et al., 2020; Omran, 2012).

Якщо в межах поля є відмінності в урожайності зібраних культур, розвитку рослин або навіть видимому дренажі ґрунту та вологості ґрунту, настійно рекомендується виконати повне польове сканування ділянки. Сканування ґрунту можна виконувати, не порушуючи поверхню ґрунту. Сканер ґрунту вимірює електропровідність ґрунту. Встановлений на транспортний засіб, сканер записує дані над поверхнею ґрунту, уникаючи фізичного контакту з ним. Такі прилади також можуть використовуватися для зміни режимів роботи машинних агрегатів в реальному часі. Швидкість переміщення, відбору проб або їх кількість на гектар коливається залежно від інтервалів між проходками датчика під час визначення характеристик ґрунту. Проте процес проходить швидше при відборі зразків вручну. Тому вартість такого аналізу менша, а кількість отриманих даних значно більша.

Використання карт певних відмінностей у межах одного поля є більш результативним порівняно з коригуванням режимів роботи агрегату у реальному часі безпосередньо під час руху, оскільки, в першому випадку завжди можна провести детальний аналіз отриманих даних, розробити більш точну послідовність дій та провести обробку в декілька етапів. Можна завчасно врахувати різноманітну інформацію, включаючи карти врожайності, цифрову модель рельєфу, використовуючи можливості цифрових платформ, що призначені для збору і аналізу просторових даних. Карті з просторово закріпленими рекомендаціями можна доповнювати і покращувати, використовуючи алгоритми, які можуть одночасно обробляти декілька джерел даних.

**Обговорення.** Вчені та виробники обладнання постійно намагаються вдосконалити існуючі системи аналізу ґрунтових умов, які б дозволили створювати ґрунтові карти. На сьогодні існують декілька типів датчиків.

Електромагнітні датчики використовують електричний ланцюг для вимірювання потенційної можливості ґрунтових часточок проводити і накопичувати електричний заряд. Під час такого роду аналізу ґрунт стає частиною електромагнітного ланцюга і будь-які локальні зміни умов впливають на сигнал та відразу фіксуються. На ринку є декілька таких датчиків.

Електромагнітні властивості більшості елементів ґрунту визначаються його структурою, вмістом солей, органічної речовини та вологості. В останні роки практикується декілька способів використання електромагнітних датчиків.

Механічні сенсори можуть бути використані для оцінки механічного опору ґрунту (часто є відображенням його щільності). Такі датчики використовують механізм,

що проникає або розрізає шар ґрунту, а тензометри або тензодатчики фіксують силу опору. Існують прототипи, які дають можливість проведення неперервного визначення опору ґрунту.

Акустичні сенсори призначені для визначення гранулометричного складу ґрунту шляхом вимірювання рівня шуму за рахунок взаємодії ґрунтових часточок з пристроєм. Низький рівень шуму не дозволяє даній технології розвиватись далі (Viscarrá Rossel et al., 2011).

Зараз виробниками серійно випускається і широко використовуються переважно електромагнітні датчики. Вони надають інформацію про ґрунтову неоднорідність, що дозволяє розділяти поле на менші і відносно постійні ділянки, які називають зонами управління. Доцільним є використання даних, отриманих в результаті електромагнітного сканування під час руху по полі, як одного з джерел інформації для визначення відмінностей. На ділянках з подібною електропровідністю і з відносно стійкою врожайністю можна виконувати технологічні операції на однакових режимах роботи агрегатів, які можна визначити за меншою кількістю проб.

Створення нових сенсорів, які можуть швидко змінювати режими роботи машинних агрегатів в реальному часі дозволить збільшити ефект від їх застосування, тим самим зменшити вплив ґрунтових відмін на урожайність агрокультури.

Прикладом такої системи є Topsoil Mapper (рис. 1) із безконтактною сенсорною технологією для виявлення ущільнення ґрунту. Датчики забезпечують цифрове представлення ущільнених областей, а також дозволяють вживати правильних заходів обробки ґрунту. Використовуючи сучасну технологію геофізичних вимірювань та методологію автоматичного аналізу, верхні шари ґрунту вимірюються точно і з високою роздільною здатністю. З цією метою TSM використовує принцип електромагнітної індукції для вимірювання провідності у ґрунті. Глибина топографування ґрунту становить один метр (The topsoil mapper, 2023).



**Рис. 1. Загальний вигляд ґрунтового сканера Topsoil Mapper**

Інноваційна концепція складається з Topsoil Mapper (сенсорний компонент) та TSM Client Cloud (веб-рішення для обробки даних та документування). Для управління

гідралічними культиваторами є модернізована система KIT Automatic Tillage Control.

Topsoil Mapper може бути встановлений будь-яким транспортним засобом (включаючи автомобілі). Вимірювання провідності проводяться автоматично під час кожного проходу поля. Дані вимірювань зберігаються у вигляді параметрів ґрунту, які містять інформацію про ущільнення, тип ґрунту та водонасиченість. В результаті виходить карта ґрунту, що легко читається, із зазначенням необхідних параметрів ґрунту.

В якості альтернативи картографування інформація про ґрунт може також використовуватися в режимі реального часу для прямого управління навісним обладнанням (при обробці ґрунту або посіві), змінюючи глибину і спосіб обробки у відповідності з особливостями конкретних ділянок ґрунту. Таким чином, два процеси (застосування даних при обробці та складання карти ґрунту) об'єднуються в одному кроці. Отримані дані є основою для обробки конкретних ділянок ґрунту індивідуальним способом та на потрібну глибину. Раннє виявлення ущільнення ґрунту приносить значні вигоди. Вимірювання TSM допомагають визначити та записати параметри ґрунту (ущільнення, водонасиченість та тип ґрунту), а програмне забезпечення TSM поєднує їх у зрозумілі карти ґрунту.

Зв'язок із трактором та навісним обладнанням через ISOBUS також дозволяє обробляти ґрунт для конкретної ділянки в режимі реального часу. За допомогою GPS-датчика вся інформація про ґрунт та обробіток ґрунту може бути географічно прив'язана та використана як елемент системи цифрового сільського господарства.

Завдяки безконтактній сенсорній технології Topsoil Mapper може бути встановлений на передній гідравліці будь-якого трактора в поєднанні з широким спектром іншого навісного обладнання. Система також не залежить від погоди та покриття поля рослинами. Основними перевагами є оптимізація використання обладнання, більш висока швидкість роботи при обробці ґрунту, зниження витрати палива та зниження зносу машини.

Ще одним прикладом таких систем є система Veris iScan (рис. 2), яка допомагає отримати точні ґрунтові карти ділянок, щоб краще налаштувати внесення добрив і щільність посіву відповідно до варіацій на ділянці (Veris Soil Scanner, 2020).



Рис. 2. Загальний вигляд системи Veris iScan

iScan використовує датчик NIR для визначення вмісту органічних речовин у культивційному шарі. Текстура

ґрунту визначається шляхом вимірювання електричної провідності ґрунту. Це відбувається на глибині 0-60 см, і ці карти дають цінну інформацію про шар оброблення ґрунту та здатність утримувати воду. IScan можна легко переміщати між декількома машинами. Система має власний GPS-приймач і підтримує бездротовий зв'язок із планшетним ПК у салоні. Під час роботи оператору не потрібно турбуватися про датчик, щоб він не сповільнював продуктивність роботи. Під час сканування Veris iScan оперативно відображає карти, тому рішення можна приймати негайно.

Сканер ґрунту Veris MSP3 (рис. 3) – це сенсорна платформа, за допомогою якої за одну операцію наносяться на карту 4 важливі змінні ґрунту та висота. Сканер ґрунту Veris складається з 3 сенсорних систем, які також можуть поставлятися окремо.

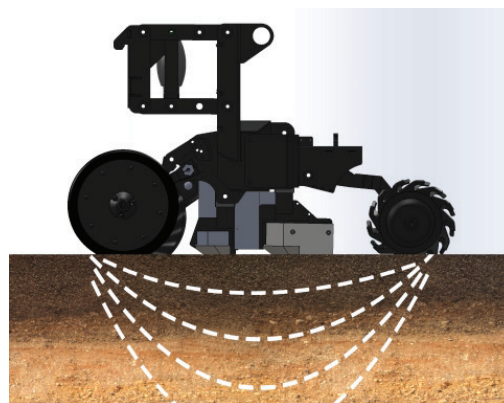


Рис. 3. Схема роботи сканеру ґрунту Veris MSP3

Під час руху зі швидкістю від 8 до 15 км/год система вимірює кислотність (pH), відсоток органічної речовини та електропровідність на глибині 0-30 см і в кореневій зоні (0-90 см). Серія Veris U дозволяє швидко збирати дані в широкому вікні ґрунту та умов посіву. Швидкий модуль pH визначає уповільнення та зупинку для збору показань за 8-10 секунд Дані про висоту поєднуються з даними ґрунту для топографічних особливостей ухилу та кривизни. Модульна система дає змогу гнучко додавати датчики.

**Висновки.** Для якісного виконання операцій обробки ґрунту необхідні точні карти ґрунтових властивостей. Невідповідна щільність відбору зразків відповідно до кількості відмін в межах поля та висока вартість аналізу звичайних ґрунтових проб обмежують можливість точного визначення меж різномірних за родючістю ділянок. Використання мобільних ґрунтових сканерів є перспективним напрямком, який дозволяє підвищити якість і знизити вартість створення ґрунтових карт. Подальше вдосконалення процесу аналізу ґрунту датчиками під час руху дозволить використовувати отримані дані для регулювання режимів роботи агрегатів в реальному часі. На сьогодні лише системи електромагнітного картографування доступні агровиробникам на комерційній основі.

Тому важливим є продовження розробки нових мобільних систем для моніторингу ґрунтових характеристик, які в подальшому можуть використовуватися

науковими і комерційними установами. Основними вимогами до таких систем є підвищення точності даних

при зниженні затрат на створення картограм, що полегшить процес ухвалення рішень.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Söderström, M., Sohlenius, G., Rodhe, L., Piikki K. (2016). Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 17, 588–607. doi: 10.1007/s11119-016-9439-8
2. Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301–311.
3. Omran, E. (2012). On-the-go digital soil mapping for precision agriculture. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 2, 20–38.
4. Schreiner, S., Culibrk, D., Bandecchi, M., Gross, W., Middelman, W. (2020). Soil monitoring for precision farming using hyperspectral remote sensing and soil sensors. *At-Automatisierungstechnik*, 69, 325–335. doi: 10.1515/auto-2020-0042
5. Viscarra Rossel, R. A., Adamchuk, V. I., Sudduth, K. A., McKenzie, N. J., & Lobsey, C. (2011). Proximal Soil Sensing: An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time. *Advances in agronomy*, 113, 237–282. doi: 10.1016/B978-0-12-386473-4.00010-5.
6. The topsoil mapper – know your soil – measures against soil compaction. (2023). Retrieved from <https://www.topsoil-mapper.com/en/the-topsoil-mapper-know-your-soil/>.
7. Veris Soil Scanner. Vantage agrometius. (2020). Retrieved from <https://www.vantage-agrometius.nl/en/product/veris-u-series-soil-scanner/>.

**Sokolik S. P.**, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Analysis of the development of modern mobile systems for monitoring soil characteristics**

*In this paper, an analysis of existing methods and systems for collecting data on the inhomogeneity of soil conditions, in particular the hardness and location of compacted zones, both separately and directly during soil cultivation operations, was analyzed, their advantages and disadvantages were analyzed. In modern agricultural production, accurate digital maps of soil properties are necessary for the high-quality performance of soil cultivation operations.*

*Scientists and equipment manufacturers are constantly improving existing systems for determining soil characteristics, which would allow creating accurate soil maps. Today, several types of sensors are used: electromagnetic, optical, mechanical, acoustic, etc. Among them, manufacturers mainly produce and widely use electromagnetic sensors. They collect information about soil heterogeneity, which makes it possible to define relatively constant and smaller areas in the field, which are called management zones. It is appropriate to use the data obtained as a result of electromagnetic scanning during movement on the field as one of the sources of information to determine the differences. In areas with similar electrical conductivity and with relatively stable yield, technological operations can be performed at the same modes of operation of units, which can be determined by a smaller number of samples.*

*The creation of new sensors and systems capable of quickly changing the operating modes of machine units in real time will increase the efficiency of their use, thereby reducing the impact of soil differences on agricultural productivity.*

*A promising direction is the use of mobile soil scanners, which will improve the quality and reduce the cost of creating soil maps. Further improvement of the process of soil analysis by sensors during movement will allow using the received data to adjust the operating modes of the units in real time. Currently, only electromagnetic mapping systems are available to agricultural producers on a commercial basis. Therefore, it is important to continue the development of new mobile systems for monitoring soil characteristics, which can be used by scientific and commercial institutions in the future. The main requirements for such systems are to increase the accuracy of data while reducing the cost of creating cartograms, which will facilitate the decision-making process.*

**Key words:** soil, compaction, soil scanning, soil scanner, soil map.