

ПОТОВОКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ: СТАН І ПРОГНОЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Кравчук В., д-р техн. наук, проф., акад. НААН,
<https://orcid.org/0000-0003-2196-4960>, e-mail: kravchukvi@ukr.net

Сінченко В., д-р с.-г. наук, проф.,
<https://orcid.org/0000-0002-6571-2522>, e-mail: sugarbeet@ukr.net

Іванюта М., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0000-0002-2180-1929>, e-mail: urbhdc@ukr.net

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

Шустік Л., канд. техн. наук, с.н.с.,
<https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>, e-mail: shustik@ukr.net
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета дослідження. Обґрунтування напрямків удосконалення технологій і засобів потокового визначення щільності ґрунту в сучасних системах землеробства способом поглибленого аналізу теоретичних та експериментальних досліджень і наявних практик.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження принципів роботи сучасних засобів потокового моніторингу стану ґрунту. Порівняння теоретичних і експериментальних даних наявних систем і методів потокового визначення щільності та гранулометричного складу ґрунту.

Результати дослідження. Систематизовано розрізнені засоби та методи потокового визначення агрофізичних характеристик ґрунту. Обґрунтовано перспективні методи потокового визначення щільності ґрунту на основі характеристик електромагнітних хвиль відбитих від поверхні.

Висновки. Пріоритетний напрямок розвитку засобів потокового визначення щільності та гранулометричного складу ґрунту може базуватись на принципах взаємодії електромагнітних хвиль під час його обробітку. Поверхнєве радіозондування доцільно використовувати на основі зв'язків діелектричної проникності та гістерезису з агрофізичними характеристиками ґрунту.

Ключові слова: потокове визначення щільності; потоковий аналізатор ґрунту; радіозондування ґрунту; діелектричний гістерезис ґрунту, поверхнєве радіозондування, електромагнітна рефлектометрия.

Вступ. Виробництво продукції рослинництва — багатофакторний процес, який у своїй основі залежить від стану ґрунту, технології та якісного обробітку [Гудзь та ін., 2010; Влох та ін., 2005].

Задача техніко-технологічних рішень — максимально адаптувати наявні показники ґрунту до оптимальних значень для ефективного росту і розвитку рослин.

Зараз, достатньо вивчені засоби позиційного моніторингу показників ґрунту (агрофізичних, фізико-хімічних, агрохімічних, вмісту мікроелементів та забруднювальних речовин) [Аніскевич та ін., 2018], які необхідні для подальшого при-

йняття рішення стосовно застосування відповідних технологічних операцій [Влох та ін., 2005].

Також відомо [Кравчук, 2005], що на основі попередньо проведеного моніторингу стану ґрунту формується база даних та визначаються завдання для адаптації робочих органів сільськогосподарських машин щодо забезпечення агротехнічних вимог вирощування тієї чи іншої культури.

Проте в сучасних умовах розвитку технологій точного (керованого) землеробства актуальним залишається розроблення засобів потокового визначення стану ґрунту [Кравчук та ін., 2004]. Передбача-

ється, що отримані та оброблені сигнали коригують робочі органи сільськогосподарських машин для отримання заданих агрофізичних показників.

Постановка завдань. Мета дослідження. Обґрунтування напрямків удосконалення технологій і засобів потокового визначення щільності ґрунту в сучасних системах землеробства способом поглибленого аналізу теоретичних та експериментальних досліджень і наявних практик.

Завдання дослідження:

- систематизувати розрізнені засоби та методи визначення агрофізичних характеристик, їх вимірювання та принципи взаємодії з ґрунтом;

- обґрунтувати перспективні методи потокового визначення щільності ґрунту на основі аналізу систематизованих практик.

Методи і матеріали. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень і практик застосування обладнання для потокового моніторингу агрофізичних показників ґрунту класифіковано за принципами роботи, зокрема:

- контактної взаємодії з ґрунтом, які базуються на принципах електропровідності;

- безконтактної взаємодії з ґрунтом на принципах взаємодії електромагнітних хвиль;

Систематизація раніше отриманих знань з прийняттям висновків з використанням правил і принципів міркування спостережуваних даних про засоби визначення стану ґрунту. Базою для отримання висновків прийнято спостереження на основі гіпотези про придатність застосування засобів для визначення стану ґрунту під час обробітку.

Основним показником оцінки механічного обробітку ґрунту є структура, яка згідно з ДСТУ 4362:2004 [Балюк та ін., 2005] у спрощеному вигляді може бути визначена як щільність.

Результати. За наявності багаточисельних показників якості ґрунту, а також засобів їх моніторингу, в роботі визначена гіпотеза згідно з якою досліджуються:

- агрофізичні характеристики ґрунту,

які змінюються під час механічного обробітку згідно з ДСТУ 4362:2004, – щільність та агрегатний склад ґрунту;

- електронні засоби визначення характеристик ґрунту з можливістю їх цифрової обробітки та подальшого застосування в системах моніторингу і адаптації робочих органів сільськогосподарських машин.

Засоби контактної взаємодії з ґрунтом.

Soil Doctor – обладнання визначення властивостей ґрунту (рис. 1), який використовує пару дисків як вимірювачів діелектричної проникності ґрунту. Метод полягає у визначенні характеристик діелектричної проникності між дисками залежно від типу ґрунту, вологості складу та структури (рис. 2). Він проводить визначення вологості, вмісту органічної речовини, ємності катіонного обміну та структури ґрунту, порівнюючи з установленними характеристиками на основі поляризації діелектриків.



Рисунок 1 – Вимірювальне обладнання Soil Doctor (США) [Freddy A. et al, 2021]

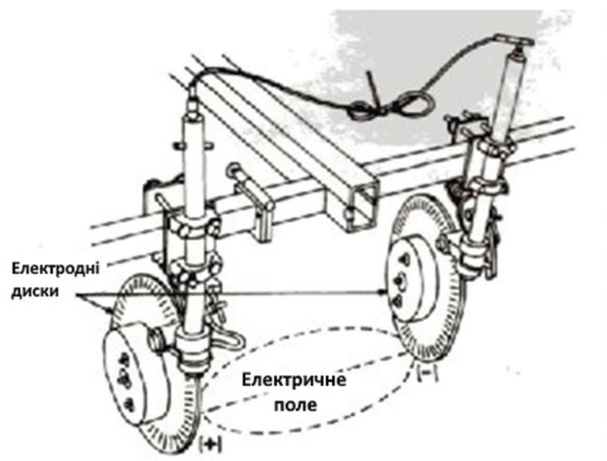


Рисунок 2 – Схема технологічного процесу роботи Soil Doctor [Freddy A. et al, 2021]

Veris MSP3 (Mobile sensor platform) – обладнання аналізу ґрунту під час руху (рис. 3), яке поєднує визначення одним пристроєм трьох показників: ємність катіонного обміну; вміст органічної речовини в ґрунті (оптичним датчиком) та рН ґрунту рН-електродом. Технологічний процес визначення аналогічний до Soil Doctor – вимірювання діелектричної проникності ґрунту та електропровідності (рис. 4). На основі позиційних вимірювань виконують моніторинг стану ґрунту.



Рисунок 3 – Вимірювальне обладнання Veris MSP3(США) [Gallacher, et al., 2017]

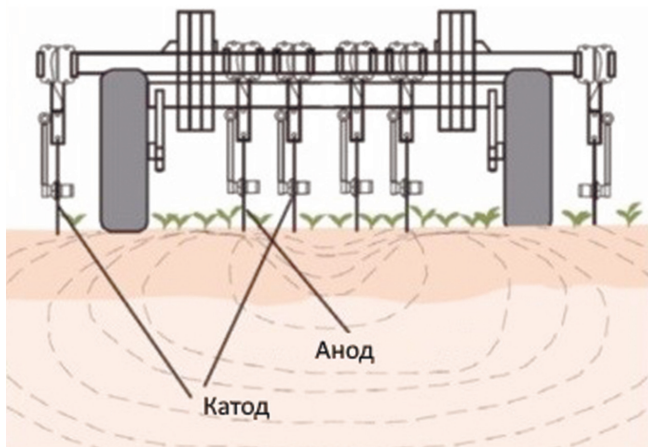


Рисунок 4 – Схема технологічного процесу роботи Veris MSP3 [Gallacher et al., 2017]

Зазначені засоби контактної дії (рис. 1-4) під час руху визначають характеристики ґрунту через визначення діелектричної проникності, яка змінюється зі зміною глибини занурення диска (площі контакту). Узагальнені показники не забезпечують отримання достовірної поля-

ризації ґрунту як діелектрика виключно в зоні обробітку ґрунту.

Засоби безконтактної взаємодії з ґрунтом.

Geonics EM38-MK2 – обладнання для визначення властивостей ґрунту вимірюванням вихрових струмів, утворених внаслідок протидії вектору магнітної індукції (рис. 5). Воно передбачає вимірювання пористості, вологозабезпеченості та структури горизонту у двох різних діапазонах глибин (0-0,75м; 0,75-1м) методом порівняння з еталонними значеннями протидії вектору магнітної індукції відповідного типу та шару ґрунту (рис. 6).



Рисунок 5 – Вимірювальне обладнання Geonics EM38-MK2 (США) [Gleccio et al., 2016]

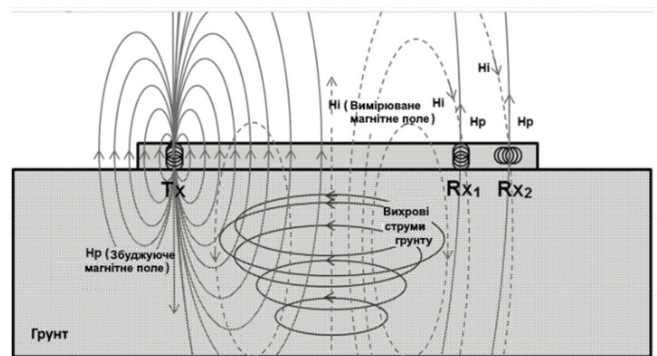


Рисунок 6 – Схема технологічного процесу роботи Geonics EM38-MK2 (США) [Visconti et al., 2016]

Topsoil Mapper – обладнання безконтактної взаємодії з ґрунтом на основі методів вимірювання вихрових струмів, які протидіють кожному вектору магнітної індукції (рис. 7, 8). Принцип роботи аналогічний Geonics EM38-MK2, воно містить 4 котушки, кожна з якої налаштована на

заданий вектор електромагнітної індукції та визначає характеристики ґрунту на глибині 0.7, 0.8, 0.9 та 1.1 м. За отриманими значеннями система будує картограму вологозабезпеченості полів та структури горизонту на глибину до 1 метра.



Рисунок 7 – Вимірювальний пристрій Topsoil Mapper (Австрія) [Luis Fernando et al., 2022]



Рисунок 8 – Схема технологічного процесу роботи Topsoil Mapper (Австрія) [Yang, et al., 2022]

Схеми технологічних (рис. 6-8) процесів роботи пристроїв за методами визначення вихрових струмів можуть бути вдосконалені елементами вимірювання глибини кореневмісного шару та розширити їхній спектр використання. Також актуальним є вивчення процесу утворення вихрових струмів в ґрунтових горизонтах пов'язаних з магнітним гістерезисом.

GEM-2 (Geophex) – цифровий багаточастотний георадар (рис. 9-10) призначений для моніторингу ґрунтових горизонтів і відстані до сторонніх об'єктів та пустот. В основу технологічного процесу покладено характеристики відбитих електромагнітних хвиль залежно від діелектричної та магнітної проникності ґрунтових горизонтів.



Рисунок 9 – Вимірювальний георадар GEM-2 (США) [Huang, 2003]

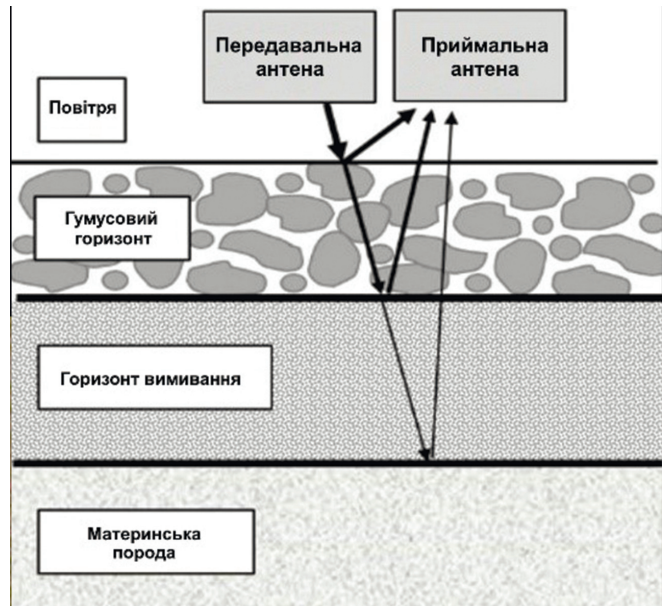


Рисунок 10 – Схема технологічного процесу роботи [Hong et al., 2018]

В основу процесу роботи георадара покладено рефлектометрію електромагнітних хвиль (радіозондування), яке може визначити об'ємний розподіл неоднорідних характеристик ґрунту. Застосування рефлектометрії методами радіозондування може бути використано для визначення агрофізичних характеристик ґрунту за умови обробки ехо-сигналів під час його обробітку. Також перспективним є застосування методу радіозондування ґрунту для визначення глибини оброблюваного шару використанням часової константи.

Узагальнена систематизація засобів потокового визначення стану ґрунту на основі їхніх принципів роботи (таблиця 1) відокремила перспективні напрямки розрізних методів відповідно до гіпотези досліджень.

Перспективним вважається пріоритетний метод, який базується на безкон-

Таблиця 1 – Систематизація принципів роботи електронного обладнання потокового визначення стану ґрунту

Елементи систематизації		Аналог обладнання	Основні характеристики ґрунту, які визначаються
За принципом взаємодії з ґрунтом	За принципом роботи		
Контактний; не-прямий;	Діелектрична поляризація між електродами в ґрунті	Soil Doctor	Вологість, вміст органічної речовини, структура
		Veris MSP3	Вологість, вміст органічної речовини, температура, структура
Безконтактний; непрямий;	Проходження електромагнітного поля через ґрунт	Geonics EM38-MK2	Вологість, структура, пористість
		Topsoil Mapper	Структура, вологість, щільність
	Відбивання електромагнітного випромінювання від ґрунту	GEM-2 (GPR)	Вологість, структура, пористість, щільність

тактичних високошвидкісних вимірюваннях електромагнітних хвиль, відбитих від кореневмісного шару.

Обговорення. У дослідженнях [Mazur et al., 2022; Shahadat Hossain et al., 2020; Huang et al., 2016; Ryżański, 2022] задекларовано, що для визначення щільності та гранулометричного складу електронними засобами використовують метод порівняння з відомим значенням (непрямих вимірювань), який збігається з проведеними дослідженнями.

За дослідженнями [Zhang et al., 2017; El-Naggar et al., 2021; Hong et al.] встановлено, що перспективними напрямками розвитку засобів визначення щільності та гранулометричного складу є вивчення зміни характеристик електромагнітного струму від агрофізичних показників ґрунту.

Дослідженнями [Аніскевич та ін., 2018; Mazur et al., 2022; Zhang et al., 2017;] підтверджено, що контактні методи вимірювання агрофізичних характеристик базуються на здатності змінювати діелектричну проникність між зануреними електродами залежно від складу ґрунту. Більшість пристроїв таким способом визначають вологість, температуру та ємність катіонного обміну

За результатами досліджень [Аніскевич та ін., 2018;

Hanxiao et al., 2022; Ismayilov et al., 2021] встановлено, що безконтактні методи вимірювання агрофізичних характе-

ристик ґрунту функціонують, визначаючи здатність електромагнітного поля взаємодіяти з оброблюваним шаром ґрунту. Безконтактні вимірювання можна розділити на методи дослідження вихрових струмів та методи електромагнітної рефлектометрії (радіолокаційного зондування).

Очевидно, що найбільш перспективним для потокового визначення щільності ґрунту є метод радіолокаційного зондування [Huang et al., 2016; Аніскевич та ін., 2018; Hanxiao et al., 2022; Hongnat et al., 2018], які широко застосовують в засобах профілювання ґрунту.

Для визначення характеристик кореневмісного шару актуальним завданням є вивчення селективних зв'язків відбитих електромагнітних хвиль з оброблюваним шаром ґрунту та визначення часових інтервалів ехо-сигналу.

Висновки. Дослідження, відповідно до гіпотези про застосування засобів для потокового визначення щільності ґрунту під час його обробітку, визначають перспективним обладнання, яке діє за принципами електронної високошвидкісної безконтактної взаємодії з кореневмісним шаром.

Удосконалення такого обладнання вимагає додаткових досліджень щодо встановлення зв'язків магнітного гістерезису, діелектричної проникності та часових інтервалів ехо-сигналів з показниками оброблюваного горизонту ґрунту.

Перелік літератури

- Гудзь В. П., Примаєк І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. (2010) Землеробство: Підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. / За ред. В. П. Гудзя. — Київ: Центр учбової літератури, — 464 с.
- Влох В. Г., Дубковецький С. В., Кияк Г. С., Онишук Д. М. (2005) Рослинництво: Підручник. Київ: Вища школа, — 382 с.: іл.
- Аніскевич Л.В., Д. Г. Войтюк, Ф. М. Захарін, С. О. Пономаренко, (2018). Система точного землеробства/ За ред. Л. В. Аніскевича. Київ: — НУБіП України, — 566 с.
- ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2006-01-01] Київ: «Держспоживстандарт України». 2005. 17 с.
- Кравчук В. І., Кушнарьов А. С., Таргоня В. С., Павлишин М. М., Гусар В. Г., (2015) Біосфера та агротехнології: Інженерні рішення: навчальний посібник / Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 239 с.
- Кравчук В. І. (2005) Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин. Київ: — НАУ, — 208 с.
- Кравчук В. І., Грицишин М. І., Коваль С. М. (2004) Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ: Аграрна наука, 396 с.
- Adrian Ryżański, (2022) Relating thermal conductivity of soil skeleton with soil texture by the concept of “local thermal conductivity fluctuation”, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 14, Issue 1, , Pages 262-271, ISSN 1674-7755, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.06.008>.
- El-Naggar, A. G., Hedley, C. B., Roudier, P. et al., (2021) Imaging the electrical conductivity of the soil profile and its relationships to soil water patterns and drainage characteristics. *Precision Agric* 22, 1045–1066. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09763-x>.
- Freddy A. Diaz-Gonzalez, Jose Vuelvas, Carlos A. Correa, Victoria E. Vallejo, D. Patiño, (2021) Machine learning and remote sensing techniques applied to estimate soil indicators – Review, *Ecological Indicators*, <http://doi.org/10.1015/j.ecolind.2021.108517>, 135, (108517).
- Gallacher, David. (2017). Drone Applications for Environmental Management in Urban Spaces: A Review. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*. 3. <http://doi.org/10.24102/ijslup.v3i4.738>.
- Glecio, Machado & Jorge, Dafonte & Paz-González, Antonio & Valcárcel-Armesto, M. & Enio, Farias & Costa, Mayanna Karlla & Raimunda, Alves. (2016). Measurement of apparent electrical conductivity of soil and the spatial variability of soil chemical properties by electromagnetic induction. *African Journal of Agricultural Research*. 11. 3751-3762. <http://doi.org/10.5897/AJAR2016.11088>.
- Hanxiao, X., Yingui, C., Gubai, L. et al. (2022) Variability in reconstructed soil bulk density of a high moisture content soil: a study on feature identification and ground penetrating radar detection. *Environ Earth Sci* 81, 249. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10365-1>.
- Huang, Haoping & Won, Ij. (2003). Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor. *Geophysics*. 68. <https://doi.org/10.1190/1.1598114>.
- Huang J.; Scudiero E.; Choo H.; Corwin D. L.; Triantafyllis J. (2016) Mapping Soil Moisture across an Irrigated Field Using Electromagnetic Conductivity Imaging. *Agric. Water Manag.*, 163, 285–294. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.003>
- Ismayilov A. I.; Mamedov A. I.; Fujimaki H.; Tsunekawa A.; Levy G. J. (2021) Soil Salinity Type Effects on the Relationship between the Electrical Conductivity and Salt Content for 1:5 Soil-to-Water Extract. *Sustainability*, 13, 3395. <https://doi.org/10.3390/su13063395>.
- Luis Fernando Chimelo Ruiz, Josй Alexandre Melo Dematte, Josй Lucas Safanelli, Rodnei Rizzo, Nelida E. Q. Silvero, Nicolas Augusto Rosin & Lucas Rabelo Campos (2022) Obtaining high-resolution synthetic soil imagery for topsoil mapping, *Remote*

Sensing Letters, 13:2, 107-114, <http://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1999524>.

M. Shahadat Hossain, G. K. M. Mustafizur Rahman, A. R. M. Solaiman, M. Saiful Alam, M. Mizanur Rahman & M. A. Baset Mia (2020) Estimating Electrical Conductivity for Soil Salinity Monitoring Using Various Soil-Water Ratios Depending on Soil Texture, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51:5, 635-644, <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378>.

Visconti F., & de Paz J. M. (2016). Electrical conductivity measurements in agriculture: The assessment of soil salinity. In: Rocco, Luigi (Ed.), *New Trends and Developments in Metrology* (99-126). Intechopen. <http://doi.org/10.5772/62741>.

Won-Taek Hong, Seonghun Kang, Sung Jin Lee, Jong-Sub Lee, (2018) Analyses of GPR signals for characterization of ground conditions in urban areas, *Journal of Applied Geophysics*, V. 152, P. 65-76, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.005>.

Yang Y.; Shang K.; Xiao C.; Wang C.; Tang H. (2022) Spectral Index for Mapping Topsoil Organic Matter Content Based on ZY1-02D Satellite Hyperspectral Data in Jiangsu Province, China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 11, 111. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020111>.

Zhang X.; Zhang J.; Li L.; Zhang Y.; Yang G. (2017) Monitoring Citrus Soil Moisture and Nutrients Using an IoT Based System. *Sensors*, 17, 447. <http://doi.org/10.3390/s17030447>.

References

Adrian Ryżański, (2022) Relating thermal conductivity of soil skeleton with soil texture by the concept of “local thermal conductivity fluctuation”, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 14, Issue 1, , Pages 262-271, ISSN 1674-7755, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.06.008>.

Aniskevich L. V. (2018). Precision farming system / L. V. Aniskevich, D. G. Wojtyuk, F. M. Zakharin, S. O. Ponomarenko: For the order. L. V. Aniskevich. Kyiv: – NUBiP of Ukraine, – 566 p.

DSTU 4362:2004. Soil quality. Indicators

of soil fertility. [Valid from 2006-01-01] Kyiv: «Derzhspozhyvstandart of Ukraine». 2005. 17 p.

El-Naggar A. G., Hedley C. B., Roudier P. et al. (2021) Imaging the electrical conductivity of the soil profile and its relationships to soil water patterns and drainage characteristics. *Precision Agric* 22, 1045–1066. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09763-x>.

Freddy A. Diaz-Gonzalez, Jose Vuelvas, Carlos A. Correa, Victoria E. Vallejo, D. Patiño, (2021) Machine learning and remote sensing techniques applied to estimate soil indicators – Review, *Ecological Indicators*, <http://doi.org/10.1015/j.ecolind.2021.108517>, 135, (108517).

Gallacher David. (2017). Drone Applications for Environmental Management in Urban Spaces: A Review. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*. 3. <http://doi.org/10.24102/ijslup.v3i4.738>.

Glecio, Machado & Jorge, Dafonte & Paz-González, Antonio & Valcárcel-Armesto, M. & Enio, Farias & Costa, Mayanna Karlla & Raimunda, Alves. (2016). Measurement of apparent electrical conductivity of soil and the spatial variability of soil chemical properties by electromagnetic induction. *African Journal of Agricultural Research*. 11. 3751-3762. <http://doi.org/10.5897/AJAR2016.11088>.

Gudz V. P., Primak I. D., Budyonny I. V., Tanchik S. P., (2010) *Agriculture: textbook*. 2-nd ed. / For the order. V.P. Gudz – Kyiv: Center for Educational Literature. – 464 p.

Hanxiao X., Yingui C., Gubai L. et al. (2022) Variability in reconstructed soil bulk density of a high moisture content soil: a study on feature identification and ground penetrating radar detection. *Environ Earth Sci* 81, 249. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10365-1>.

Huang, Haoping & Won, Ij. (2003). Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor. *Geophysics*. 68. <https://doi.org/10.1190/1.1598114>.

Huang J.; Scudiero E.; Choo H.; Corwin D. L.; Triantafyllis J. (2016) Mapping Soil Moisture across an Irrigated Field Using Electromagnetic Conductivity Imaging. *Ag-*

ric. *Water Manag.*, 163, 285–294. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.003>

Ismayilov A. I.; Mamedov A. I.; Fujimaki H.; Tsunekawa A.; Levy, G. J. (2021) Soil Salinity Type Effects on the Relationship between the Electrical Conductivity and Salt Content for 1:5 Soil-to-Water Extract. *Sustainability*, 13, 3395. <https://doi.org/10.3390/su13063395>.

Kravchuk V. I., Gritsishin M. I. Koval S. M. (2004) Modern tendencies of development of constructions of agricultural machinery. V. I. Kravchuk,

M. I. Hrytsyshyn, S. M. Koval – Kyiv: Agricultural science, – 396 p.

Kravchuk V. I. (2005) Theoretical bases of adaptation of agricultural machines / V. I. Kravchuk. Kyiv – NAU, – 208 p.

Kravchuk V. I. Kushnaryov A. S., Tarhonya V. S., Pavlyshyn M. M., Husar V. H. (2015) Biosphere and agrotechnologies: Engineering solutions: textbook / Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine; Leonid Pogorilyy UkrNDIPVT – Doslidnytske, – 239 p.

Luis Fernando Chimelo Ruiz, Josй Alexandre Melo Dematte, Josй Lucas Safanelli, Rodnei Rizzo, Nelida E. Q. Silvero, Nicolas Augusto Rosin & Lucas Rabelo Campos (2022) Obtaining high-resolution synthetic soil imagery for topsoil mapping, *Remote Sensing Letters*, 13:2, 107-114, <http://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1999524>.

M. Shahadat Hossain, G. K. M. Mustafizur Rahman, A. R. M. Solaiman, M.

Saiful Alam, M. Mizanur Rahman & M. A. Baset Mia (2020) Estimating Electrical Conductivity for Soil Salinity Monitoring Using Various Soil-Water Ratios Depending on Soil Texture, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51:5, 635-644, <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378>.

Visconti, F., & de Paz, J. M. (2016). Electrical conductivity measurements in agriculture: The assessment of soil salinity. In: Rocco, Luigi (Ed.), *New Trends and Developments in Metrology* (99-126). Intechopen. <http://doi.org/10.5772/62741>.

Vlokh V. G., Dubkovetsky S. V., Kiyak G. S., Onishchuk D. M., (2005) Plant growing: textbook. Kyiv: High school, – 382 p.

Won-Taek Hong, Seonghun Kang, Sung Jin Lee, Jong-Sub Lee, (2018) Analyses of GPR signals for characterization of ground conditions in urban areas, *Journal of Applied Geophysics*, V. 152, P. 65-76, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.005>.

Yang, Y.; Shang, K.; Xiao, C.; Wang, C.; Tang, H. (2022) Spectral Index for Mapping Topsoil Organic Matter Content Based on ZY1-02D Satellite Hyperspectral Data in Jiangsu Province, China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 11, 111. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020111>.

Zhang X.; Zhang J.; Li L.; Zhang Y.; Yang G. (2017) Monitoring Citrus Soil Moisture and Nutrients Using an IoT Based System. *Sensors*, 17, 447. <http://doi.org/10.3390/s17030447>.

UDC 631.319; 621.317

STREAMING ANALYZING OF SOIL DENSITY: STATE AND FORECAST OF RESEARCH

Kravchuk V., D-r of Tech. Scs., Prof., Acad. of NAAS,
<https://orcid.org/0000-0003-2196-4960>, e-mail: kravchukvi@ukr.net

Sinchenko V., D-r of Agr. Scs., Prof.,
<https://orcid.org/0000-0002-6571-2522> , e-mail: sugarbeet@ukr.net

Ivaniuta M., Ph.D.,
<https://orcid.org/0000-0002-2180-1929>, e-mail: ur6hdc@ukr.net
The Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine

Shustyk L., Ph.D.,
<https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>, e-mail: shustik@ukr.net
L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

Purpose of the study. Justification of directions of improvement of technologies and means of flow definition of soil density in modern systems of agriculture by the in-depth analysis of theoretical and experimental researches and existing practices.

Research methods. Analytical research of soil condition monitoring flow modern means operation principles. Comparison of theoretical and experimental data of existing systems and methods of flow determination of soil density and particle size distribution.

The results of the study. Systematized disparate means and methods of flow determination of agrophysical characteristics of soil. Justifying available methods of streaming determination of soil density based on the characteristics of electromagnetic waves reflected from the soil surface.

Conclusions. The priority direction of development streaming determination density means and granulometric composition of soil would be based on the principles of electromagnetic interaction of waves during its tillage. Surface radiolocation sonding should be used based on the relationship between dielectric constant and hysteresis with agrophysical characteristics of the soil.

Key words: streaming analyzing of density; streaming soil analyzer, radiolocation sonding of soil, soil dielectric hysteresis, surface radiolocation sonding, electromagnetic reflectometry.