

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2020-11-2>
УДК 631.3.004:631.333:537.86

Оперативний моніторинг фізичного стану ґрунту в процесі його розушільнення

Мироненко В. Г.,

д.т.н., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», e-mail: mironenko1952@ukr.net;
ORCID iD 0000-0002-1227-2471

Антипчук Б. О.,

аспірант, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України

Анотація

Мета. Ефективне розушільнення ґрунту в сучасних технологіях виробництва продукції рослинництва.

Методи. Аналіз сучасних методів моніторингу фізичного стану ґрунту, метод радіохвильового профілювання поверхні поля, метод синтезу технічних засобів, теорія автоматичного управління.

Результати. Модель ультразвукового моніторингу глибини залягання ущільненого шару ґрунту, пристрій формування управляючого сигналу для зміни глибини ходу робочого органу розушільнювача ґрунту, результати дослідження приладу для оперативного визначення глибини залягання ущільненого шару ґрунту.

Висновки. Метод безперервного радіохвильового профілювання поверхні поля в процесі руху МТА дозволяє ефективно визначати глибину залягання ущільненого шару ґрунту в сучасних технологіях рослинництва. Пристрій оперативного управління глибиною ходу ґрунторозпушувача сільськогосподарського МТА дозволяє проводити ефективне розпушення ґрунту з одночасним зниженням витрат пального до 20% і підвищенням продуктивності агрегату до 10%.

Ключові слова: агротехнології, розушільнювач ґрунту, радіофізичний метод, оперативний моніторинг ущільнення ґрунту.

UDC 631.3.004:631.333:537.86

Operational monitoring of the physical condition of the soil in the process of its unsealing

Mironenko V. G.,

doc. tech. Sciences, NSC "IAEE", e-mail: mironenko1952@ukr.net;
ORCID iD 0000-0002-1227-2471

Antypchuk B. O.,

graduate student, NSC "IAEE"

Annotation

Purpose. Effective soil decompressing in modern crop production technologies.

Methods. Analysis of modern methods of monitoring the physical condition of the soil, the method of radio wave profiling of the surface of the field, the method of synthesis of technical means, the theory of automatic control.

Results. Model ultrasonic monitoring of the depth of the soil compacted layer, the device of forming a control signal to change the depth of the working body of the soil ripper, the results of the device study for operational determination depth of the compacted soil layer.

Conclusions. The method of continuous radio wave profiling of the surface of the field in the movement of the ITA allows to effectively determine the depth of the location of the compacted soil layer in modern technologies of crop production. The device for operational control of the depth of the soil cultivator of the agricultural ITA allows to effectively loosen the soil while reducing fuel consumption by 20% and increasing the productivity of the unit by 10%.

Keywords: agrotechnology, soil ripper, radio physical method, operational monitoring of soil compaction.

УДК 631.3.004:631.333:537.86

Оперативный мониторинг физического состояния почвы в процессе его разуплотнения

Мироненко В. Г.,

д.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»,

e-mail: mironenko1952@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1227-2471

Антипчук Б. А.,

аспирант, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Аннотация

Цель. Эффективное разуплотнение почвы в современных технологиях производства продукции растениеводства.

Методы. Анализ современных методов мониторинга физического состояния почвы, метод радиоволнового профилирования поверхности поля, метод синтеза технических средств, теория автоматического управления.

Результаты. Модель ультразвукового мониторинга глубины расположения уплотненного слоя почвы, устройство формирования управляющего сигнала на изменение глубины хода рабочего органа рыхлителя почвы, результаты исследования устройства для оперативного определения глубины расположения уплотненного слоя почвы.

Выводы. Метод непрерывного радиоволнового профилирования поверхности поля в движении МТА позволяет эффективно определить глубину расположения уплотненного слоя почвы в современных технологиях производства сельскохозяйственных культур. Устройство оперативного управления глубиной хода почворыхлителя сельскохозяйственного МТА позволяет проводить эффективное разуплотнение почвы при уменьшении расхода топлива до 20% и повышении производительности агрегата до 10%.

Ключевые слова: агротехнологии, рыхлитель почвы, радиофизический метод, оперативный мониторинг уплотнения почвы.

Постановка проблемы. Важливым фактором отримання високої врожайності сільськогосподарських культур є правильно визначена система основної обробки ґрунту. У сучасному сільськогосподарському виробництві широко використовуються технології з мінімальним обробітком ґрунту, які мають певні недоліки, наприклад формування глибоких ущільнених шарів ґрунту. Негативний вплив шарів ущільненого ґрунту проявляється через погіршення умов розвитку кореневої системи рослин і обміну вологи між шарами ґрунту. Ефективне розуцільнення таких шарів ґрунту вимагає оперативного визначення глибини їхнього залягання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд рішень для оптимізації процесу обробки ґрунту [1–3]. Одним із таких рішень є використання різних засобів вимірювання щільності ґрунту – приладів, які вимірюють опір під час введення чутливих елементів у ґрунт. Відомі пристрої оперативного управління глибиною ходу ґрунторозпушувачів та інших робочих органів сільськогосподарської техніки [4, 5]. Однак ці пристрої мають складні конструкції, низьку точність управління робочими органами машин із розуцільнення ґрунту, а також високу вартість.

Заслужовує на особливу увагу використання радіофізичних методів, які базуються на ультразвуковому випромінюванні. Наприклад, метод безперервного радіохвильового профілювання поверхні поля в процесі руху [6, 7], яке залежно від діелектричної проникності дозволяє контролювати зміни амплітуди і фази струму високої частоти в спеціальному пристрої та визначати ущільнену ділянку ґрунту.

Мета досліджень. Ефективне розуцільнення ґрунту в сучасних технологіях рослинництва.

Методи досліджень. Аналіз сучасних методів моніторингу фізичного стану ґрунту, метод радіохвильового профілювання поверхні поля, метод синтезу технічних засобів, теорія автоматичного управління.

Результати досліджень. Формування глибоких ущільнених шарів ґрунту відбувається у зв'язку з використанням важкої техніки в полі та особливостями роботи плуга. Найчастіше ущільнені шари ґрунту утворюються на глибині 0,25 м або більше. Розуцільнення ґрунту може бути ефективно здійснено машинно-тракторним агрегатом (МТА) з автоматизованою системою управління положенням ґрунторозпушувача (рис. 1).

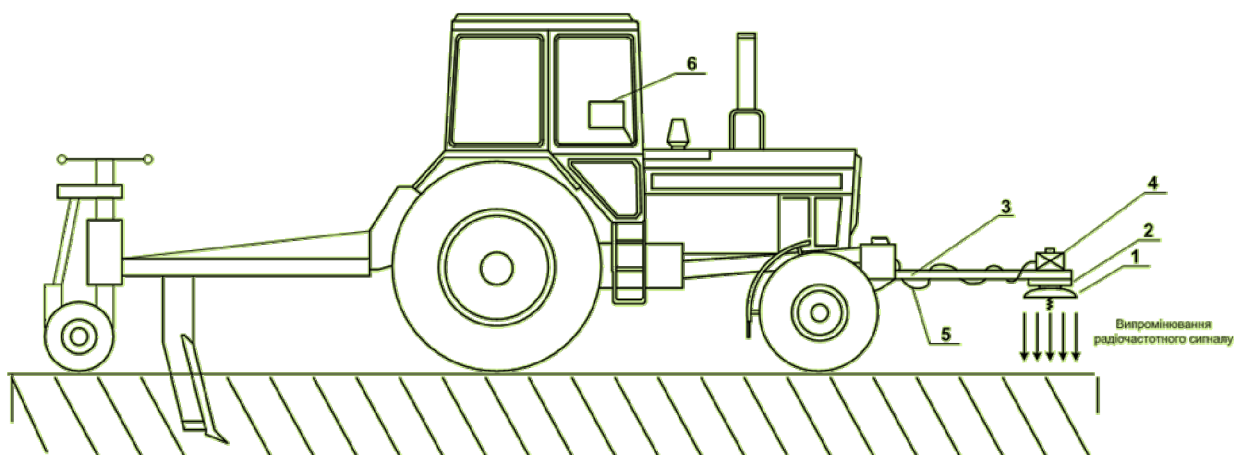


Рис. 1. Схема машинно-тракторного агрегату з автоматизованою системою розушлювання ґрунту:

1 – випромінювально-приймаючий пристрій; 2 – первинний перетворювач глибини залягання ущільненого шару ґрунту; 3 – рама пристрою; 4 – датчик твердості ґрунту; 5 – система кабелів живлення й передачі інформації на блок індикації й управління; 6 – блок індикації й управління; 7 – механізм установки глибини ходу ґрунторозпушувача

Fig. 1. Scheme machine and tractor unit with the automatic soil loosening system:

1 – emitter-the receiving device; 2 – the primary transducer of the depth of the compacted soil layer; 3 – device frame; 4 – soil hardness sensor; 5 – system of power cables and information transmission to the unit indication and control; 6 – indication and control unit; 7 – the mechanism of installation of the depth of the ground ripper

Глибина ущільненого шару ґрунту визначається безпосередньо в процесі роботи МТА радіофізичним методом ультразвукового випромінювання.

Ступінь втрати енергії радіохвилі визначається електрофізичними параметрами середовища її проходження, що залежать від його складу, температури, вологості. У більшості випадків вміст повітря й води (визначаються ступенем ущільнення ґрунту) є головними факторами, які впливають на поглинання радіохвилі в умовах одного поля. Серед електричних параметрів середовища, що впливають на поширення радіохвилі, визначальним фактором є насамперед комплексна відносна діелектрична проникність ε^* :

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_0} = \varepsilon' + \varepsilon'' = \varepsilon'(1 + i \operatorname{tg} \Delta), \quad (1)$$

де ε_k , ε_0 – діелектрична проникність середовища і вакууму, відповідно;
 ε' , ε'' – дійсна й уявна частини діелектричної проникності, відповідно;
 $\operatorname{tg} \Delta$ – тангенс кута втрат.

Глибина залягання ущільненого шару ґрунту може бути визначена за формулою:

$$H = \frac{ct}{2}, \quad (2)$$

де H – глибина залягання ущільненого шару ґрунту, м;

c – швидкість розповсюдження звуку в ґрунті, м/с;

t – час проходження сигналу від антени до ущільненого шару ґрунту і назад, с.

Швидкість розповсюдження звуку у твердому середовищі визначають за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності, Н/м²;

ρ – щільність, кг/м³.

Тривалість зонduючого імпульсу визначає роздільну здатність і протяжність мертвої зони за дальністю. Для підвищення роздільної здатності та скорочення протяжності мертвої зони бажаним є короткий імпульс, але для підвищення відношення сигнал / перешкода потрібен зонduючий імпульс більшої тривалості. Тривалість зонduючого імпульсу знаходиться зі співвідношення:

$$\frac{K_{zan}}{f_0} < J < \frac{2H_{max}}{2c}, \quad (4)$$

де K_{zan} – коефіцієнт, що визначає частоту заповнення імпульсу;

H_{max} – максимальна глибина зондування, м;
 f_0 – робоча частота, с⁻¹.

Період зондуючого імпульсу визначається за формулою:

$$T \geq \frac{2H_{max}}{c}. \quad (5)$$

Вказані закономірності розповсюдження електромагнітних сигналів у ґрунтах

покладені в основу принципу дії розробленого експериментального пристрою безперервного контролю щільності ґрунту під час руху МТА по полю, структурна схема якого представлена на рисунку 2.

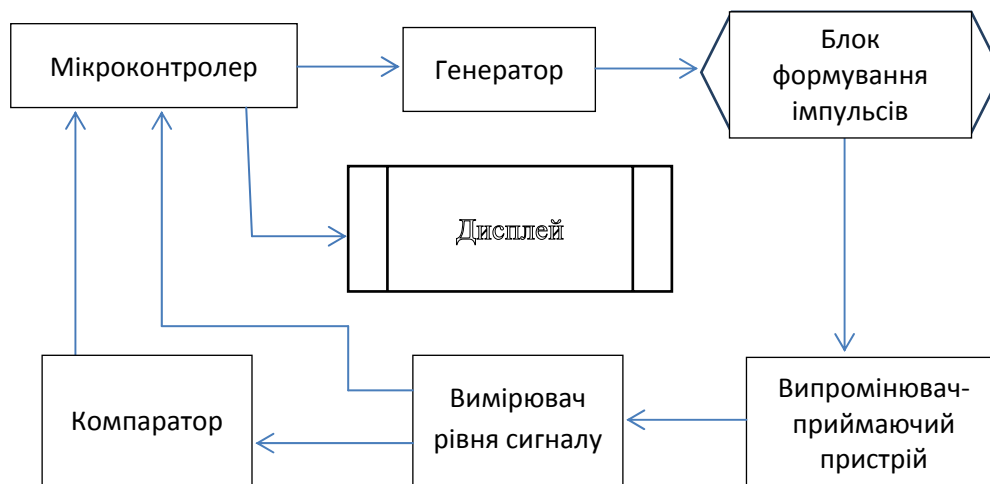


Рис. 2. Структурна схема пристрою для оперативного визначення глибини залягання ущільненого шару ґрунту

Fig. 2. Structural diagram of the device for operational determination of depth of compacted soil layer

Принцип роботи ультразвукового датчика-перетворювача базується на вимірі проміжку часу з моменту випромінювання ультразвукового імпульсу до моменту його прийому після відбиття від ущільненого шару ґрунту. Зі збільшенням щільності ґрунту зростає його діелектрична проникність, що визначає швидкість відбиття радіохвилі.

Інформація з датчика подається на мікроконтролер, який обробляє її за визначеним алгоритмом та видає сигнал на блок індикації, відповідно до якого тракторист збільшує або зменшує глибину ходу ґрунторозпушувача.

З метою визначення витрат пального на глибинному розпушенні ґрунту базовим МТА та агрегатом, оснащеним пристроєм оперативного керування глибиною ходу ґрунторозпушувача, була проведена виробнича перевірка розробленого пристрою.

Перевірку проводили на двох рівнях і суміжних ділянках поля.

Однорідний ґрунт дослідного поля класифіковано як слабо піщаний суглинок, попередні посіви – кукурудза. На дослідних ділянках із метою зрізання стерні був проведений попередній поверхневий обробіток на

глибину 7 см згідно із загально прийнятими технологіями.

Технологічний процес глибокого розпушення ґрунту проводився за однакової швидкості руху МТА.

Витрата пального визначалася через різницю рівнів пального в баку трактора на початку і в кінці обробітку кожної дослідної ділянки методом доливання.

Глибина ходу ґрунторозпушувача сільськогосподарського МТА під час контрольного обробітку поля вибиралася за найбільшим значенням глибини залягання ущільненого шару ґрунту, яке попередньо вимірювалося по діагоналі ділянки через 100 м за допомогою твердоміра Ревякіна.

Результати виробничої перевірки:

- площа кожної дослідної ділянки становила 1,22 га;
- швидкість руху МТА в процесі глибокого розпушення ґрунту на дослідних ділянках становила 8 – 9 км/год;
- глибина залягання ущільненого шару ґрунту на дослідних ділянках знаходилася в межах 22–35 см;
- під час обробітку контрольної ділянки поля без застосування пристрою оперативного керування глибиною ходу ґрунторозпушувача

сільськогосподарського МТА глибина розпушення була встановлена 35 см і витрати пального становили 12 л (9,89 л/га);

- на обробітку ділянки поля з підключеним пристроєм оперативного керування глибиною ходу ґрунторозпушувача сільськогосподарського МТА витрати пального склали 9,8 л (8 л/га).

Загалом, виробнича перевірка підтвердила технічну здійсненність і техніко-економічну доцільність (зниженням витрат пального до 20% і підвищенням продуктивності агрегату до 10%) застосування пристрою оперативного керування глибиною ходу ґрунторозпушувача сільськогосподарського МТА.

Висновки. Метод безперервного радіохвильового профілювання поверхні поля в процесі руху МТА дозволяє ефективно визначати глибину залягання ущільненого шару ґрунту в сучасних технологіях рослинництва. Пристрій оперативного управління глибиною ходу ґрунторозпушувача сільськогосподарського МТА дозволяє проводити ефективне розпушення ґрунту з одночасним зниженням витрат пального до 20% і підвищенням продуктивності агрегату до 10%.

Бібліографія

1. Пристрій для визначення твердості ґрунту : патент UA № 49932, Україна, кл. G01N3/42 / В. Г. Мironenko, І. П. Maslo, М. М. Lobodko, Н. В. Тютюнник. № 99073737; заявл. 02.07.1999; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.
2. Разработать средства и системы автоматического контроля и управления мобильными сельскохозяйственными машинами с использованием микропроцессорной техники : науч. отчет / УНИИМЭСХ; Л. И. Гром-Мазничевский, В. А. Коваль, В. Г. Мironenko [и др.]. Глевах, 1990. № ГР 81096003. 124 с.
3. Won I. J. and Haoping Huang. Magnetometers and electro-magnetometers. *The Leading Edge*. 2004. Pp. 26–29.
4. Броварець О. О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур. *Хранение и переработка зерна* : науко-практический журнал. 2013. № 6 (171). С. 37–42.
5. Мironenko В. Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 5. С. 47–51.
6. Сугак В. Г., Бондаренко А. В., Сугак А. В. О противоречии данных подповерхностного зондирования теоретическим моделям диелектри-

ческих характеристик пород ґрунта. *Радиофизика и электроника*. 2012. Т. 3 (17). № 1. С. 19–29.

7. Morari F., Castrignanò A., Pagliarin C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers & Electronics in Agriculture*. 2009. Vol. 68. Issue 1. Pp. 97–107.

Bibliohrafiia

1. Prystrii dlia vyznachennia tverdosti hruntu : patent UA № 49932, Ukraina, kl. G01N3/42 / V. H. Myronenko, I. P. Maslo, M. M. Lobodko, N. V. Tiutiunnyk. № 99073737 ; zaiavl. 02.07.1999 ; opubl. 15.10.2002, Biul. № 10.
2. (1990). Razrabotat' sredstva i sistemy avtomaticheskogo kontrolya i upravleniya mobil'nymi sel'skohozyajstvennymi mashinami s ispol'zovaniem mikroprocessornoj tekhniki: nauchnyj otchet / UNIIMESKH; L. I. Grom-Maznichevskij, V. A. Koval', V. G. Mironenko [i dr.]. Glevaha. № GR 81096003
3. Won, I. J. and Haoping Huang (2004). Magnetometers and electro-magnetometers. *The Leading Edge*, 5, 26–29.
4. Brovarets, O. O. (2013). Informatsiini tekhnologii ta tekhnichni zasoby novoho pokolinnia dlia monitorynhu y zabezpechennia yakosti vykonannia tekhnologichnykh protsesiv pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh kultur. *Khrahenye y pererabotka zerna* : nauchno-praktycheskyi zhurnal, 6 (171), 37–42
5. Myronenko, V. H. (2016). Peredumovy ta osoblyvosti stvorennia elementiv shtuchnoho intelektu v systemakh operatyvnoho keruvannia APK. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 5, 47–51.
6. Sugak, V. H., Bondarenko, A. V., Sugak, A. V. (2012). O protyvorechyy dannykh podpoverkhnostnoho zondirovanyia teoretycheskym modeliam dyelektrycheskykh kharakterystyk porod hrunta. *Radyofyzyka y elektronika*, vol. 3 (17), 1, 19–29.
7. Morari, F., Castrignanò, A., Pagliarin, C. (2009). Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers & Electronics in Agriculture*, 68, 1, 97–107.

References

1. Myronenko, V. G., Maslo, I. P., Lovodko, M. M., & Tiutiunnyk N. V. (2002). Device for determination of soil hardness. Patent Ukrayini 49932, kl. G01N3/42. Kyiv : Derzhavne patentne agenstvo Ukrayiny [in Ukrainian].
2. Grom-Maznichevskij, L., Koval, V., ... Mironenko, V. (1990). Develop tools and systems for automatic control and mobile agricultural machinery using microprocessor technology : research report. Hlevaha [in Russian].
3. Won, I. J. & Haoping Huang. (2004). Magnetometers and electro-magnetometers. *The Leading Edge*, 26–29.

4. Brovarets, O. O. (2013). Information technologies and technical means of the new generation for monitoring and ensuring the quality of implementation of technological processes in the cultivation of agricultural crops. *Storage and processing of grain: scientific and practical journal*, 6 (171), 37–42 [in Ukrainian].

5. Myronenko, V. G. (2016). Preconditions and features creation of the artificial intelligence elements in the systems of operational control of agroindustrial manufacture. *Bulletin of agricultural science*, 5, 47–51 [in Ukrainian].

6. Sugak, V. G., Bondarenko, A. V., & Sugak, A. V. (2012). On the contradiction of subsurface sensing data to theoretical models of dielectric characteristics of soil rocks. *Radiophysics and electronics*, vol. 3 (17), 1, 19–29 [in Ukrainian].

7. Morari, F., Castrignanò, A., & Pagliarin, C. (2009). Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers & Electronics in Agriculture*, 68, 1, 97–107.