

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ

**І. Іваненко, С. Шульга,**  
*УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого*

*Розроблено компонувальну схему і виготовлено експериментальний зразок пристрою з електромеханічним приводом для вимірювання твердості ґрунту, передачею і обробкою отриманої інформації на персональному комп'ютері. Застосування розробленого твердоміра ґрунту дозволяє зменшити трудомісткість визначення даного показника під час випробувань ґрунтообробних машин в 2,5-3 рази в порівнянні з існуючим пристроєм (твердоміром Рев'якіна).*

**Ключові слова:** *ґрунт, властивості ґрунтів, твердість ґрунту, вимірювання твердості ґрунту.*

**Актуальність проблеми.** Існує необхідність постійного вдосконалення засобів визначення агротехнічних показників ґрунтообробних машин під час їх випробувань. Така необхідність є наслідком зміни конструкцій машин та вимог методичних документів на випробування, інтеграції з міжнародними стандартами на випробування машин [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливою технологічною характеристикою поля, що чинить механічний опір кореневій системі рослин, яка розвивається, та впливає на схожість насіння і розвиток рослин, визначаючи водний, повітряний і тепловий режим ґрунту, є твердість ґрунту. Отримання достовірних інформаційних відомостей про твердість ґрунту має особливе значення, тому що на ущільнення ґрунту значно впливають багаторазові проходи по полю тракторів, комбайнів та іншої мобільної сучасної техніки. Функціонування такої техніки призводить до розпилювання верхнього і ущільнення нижнього шарів ґрунту, що негативно впливає на його родючість, знижує врожайність сільськогосподарських культур.

Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання твердості ґрунту [2,3] дозволив класифікувати їх за способом переміщення плунжера в ґрунті:

- переміщення за допомогою вантажу, що падає (метод Кунце, метод ДорНДІ та ін.);
- переміщення за допомогою рукояток або шестерень (твердомір Рев'якіна Ю. Ю., твердомер ВІСХОМ, твердомер ИП-232 та ін.);
- переміщення шляхом вдавлювання (зонд Гетке, твердомер Eijkelkamp P-1.50, P-1.52, пенетрометр ПГ-1 та ін. ).

Робочими органами в конструкціях розглянутих твердомірів є шток з плунжером. Довжина штока еквівалентна глибині занурення плунжера в

грунт і визначається агротехнічними вимогами. За формою плунжери бувають циліндрові, кулясті (на стискання), у вигляді тригранного клину і конічні з різними кутами при вершині (на розклинювання). Для різної твердості ґрунту застосовують плунжери з відповідною площею поперечного їх перетину 1 см<sup>2</sup>; 2 см<sup>2</sup>; 2,8 см<sup>2</sup> і більше. Для визначення сили опору проникненню в ґрунт використовуються параметри плунжера (конуса) і коефіцієнти, а при використанні силовимірювальних пружин – постійні величини пружин.

Показником твердості може служити глибина занурення плунжера від одного удару вантажу в 1 кг·м. Твердість ґрунту при розклинюючому опорі або стисканні виражають в кПа, а також - питомою роботою (у кг/см<sup>2</sup>), що характеризує величину опору. У разі роботи з циліндровим плунжером розрахунок середньої твердості ґрунту може проводитися як відношення сили (маси), що діє, до витисненого об'єму.

Перераховані вище твердоміри відносяться до конструкцій ручного принципу дії, що обумовлює трудомісткість і обмеженість їх використання при проведенні моніторингу твердості ґрунту на всій площі поля для системи керованого землеробства. Крім того, необхідне тарування пружин твердомірів і періодична побудова тарувальних кривих, оскільки жорсткість пружин не постійна. Процес побудови кривих твердоміра, використання їх для обробки результатів вимірювання і обчислення твердості ґрунту, і отримання інформації пов'язане з великим об'ємом ручної роботи.

**Об'єкт та мета досліджень.** Об'єктом дослідження є взаємодія робочих елементів з ґрунтом під час визначення твердості ґрунту.

Мета роботи – зменшити трудомісткість та підвищити точність визначення твердості ґрунту під час випробувань ґрунтообробних машин.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Розроблений в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого пристрій відноситься до технічних засобів визначення твердості ґрунту, зокрема для вимірювання твердості орного шару при випробуваннях сільськогосподарських ґрунтообробних машин.

Відомі пристрої для вимірювання твердості ґрунту, далі “твердоміри” [4-7], які працюють за принципом вдавлювання вимірювального елемента (плунжера) у ґрунт, що досліджується, при цьому плунжер являє собою наконечник конічної форми з відомою площею вдавлювання. Останній вставляється у твердомір перед вимірюванням твердості ґрунту.

Найбільш близьким за технічною сутністю до розробленого пристрою є пристрій для вимірювання твердості ґрунту ИП-271 [4, 6], розроблений у Російському науково-дослідному інституті з випробувань сільськогосподарських технологій і машин (Рос НИИТиМ, Росія).

Зазначений вище твердомір ґрунту складається з таких складових частин: корпусу з основою, реверсивного електродвигуна з редуктором і шестернею, зубчастої рейки, тензометричного датчика, штока, плунжера, інкрементального роторного енкодера осьового типу, оптопару і покажчика.

Робота твердоміра ґрунту здійснюється від реверсивного електродвигуна з редуктором і шестернею. Електродвигун живиться від акумуляторної батареї. Передача обертального руху від реверсивного електродвигуна з редуктором і шестернею забезпечує відносно корпуса зворотно-поступальний рух з'єднаних між собою зубчастої рейки та штока з плунжером. Для вимірювання швидкості заглиблення штока з плунжером у ґрунт встановлено інкрементальний роторний енкодер осьового типу, а для контролю діапазону заглиблення наконечника у ґрунт твердомір обладнаний оптопарами.

Під дією опору ґрунту через шток і наконечник тиск передається на закріплений силовимірювальний тензометричний S - подібний датчик, який формує сигнали пропорційно твердості ґрунту на заданих рівнях орного шару. Лінійну швидкість заглиблення штока з наконечником у ґрунт узгоджено з окружною швидкістю отворів на диску оптронного датчика.

Електричні сигнали з силовимірювального тензометричного і оптронного датчиків підсилюються відповідними електронними підсилювачами, подаються в аналого-цифровий перетворювач і мікроконтролерний блок з енергонезалежною пам'яттю для наступної обробки результатів дослідів на комп'ютері. Результати обробки даних вимірів твердості ґрунту представляються у вигляді графічних залежностей (діаграм твердості).

Твердомір ґрунту призначений для його установки на мобільному засобі.

Недоліками описаного вище пристрою для вимірювання твердості ґрунту є такі:

- необхідно узгоджувати лінійну швидкість занурювання штока з плунжером у ґрунт з окружною швидкістю отворів на диску оптронного датчика, щоб отримати відлік шляху в лінійних розмірах на діаграмі твердості;

- збільшення габаритів пристрою внаслідок того, що під дією шестерні, що обертається від електродвигуна з мотор-редуктором, зубчаста рейка переміщується відносно корпуса, при цьому в момент початку вимірювання твердості ґрунту вона (зубчаста рейка) висунута над корпусом на висоту, що дорівнює величині заглиблення штока з плунжером у ґрунт.

З урахуванням викладеного в основу створення пристрою було поставлене завдання:

- спростити процес отримання даних для побудови діаграми твердості, знайшовши спосіб прямого відліку глибини занурення штока з плунжером у ґрунт у лінійних розмірах;

- знайти таку конструкцію приводу у лінійний рух штока із плунжером, щоб ніякі рухомі елементи не піднімалися над корпусом і це давало б можливість використовувати твердомір ґрунту оператором без мобільного

засобу, коли оператор стає обома ногами на основу корпусу і вагою свого тіла утримує пристрій у контакті з поверхнею ґрунту.

Поставлене завдання вирішується таким чином.

У пристрої для вимірювання твердості ґрунту, що містить корпус з основою, реверсивний електродвигун з редуктором, різьбову штангу, повзун, тензометричний S-подібний датчик, шток, плунжер, лінійку з прорізами, оптопару, електронний блок індикації, згідно із запропонованою конструкцією введені наступні зміни:

для прямого відліку глибини занурення у ґрунт штока з плунжером у лінійних розмірах до корпусу прикріплена металева лінійка з прорізами по всій її довжини, вздовж якої рухається оптопара разом з тензометричним датчиком; оптопара в момент пересікання прорізу у лінійці виконує функцію вмикання для подачі одиничного сигналу з тензометричного датчика до електронного блока індикації і далі у енергонезалежну пам'ять;

для виконання умови, щоб ніякий рухомий елемент не піднімався над корпусом, прийнята така конструкційна схема приведення у рух штока з плунжером: різьбова штанга встановлена на корпусі так, що має можливість тільки обертального руху, а поздовжній рух її блокується двома упорними підшипниками; поздовжній рух виникає на повзуні з різьбою, який рухається вздовж різьбової штанги в межах габариту корпусу по висоті і який передає рух на шток з плунжером разом з тензометричним датчиком і оптопарою.

Пристрій для вимірювання твердості ґрунту [8] зображений на рис. 1 (загальний вигляд пристрою) та на рис. 2 (конструкційна схема пристрою).

Пристрій для вимірювання твердості ґрунту містить корпус з основою 1, реверсивний електродвигун з редуктором 2, різьбову штангу 3, повзун 4, тензометричний датчик 5, шток 6, плунжер 7, лінійку з прорізами 8, оптопару 9, електронний блок індикації 10.

Пристрій для вимірювання твердості ґрунту працює таким чином: для виконання заміру твердості ґрунту пристрій вручну доставляється до необхідного місця на ґрунті і до штока приєднується плунжер 7 з необхідною площею вдавлювання, при цьому шток 6 вмиканням електродвигуна з редуктором 2 виводиться у вихідне положення, коли площа плунжера 7 зрівняється з нижньою площиною основи корпусу; оператор стає обома ногами на площину основи корпусу для притискання його до поверхні ґрунту і починає процес вимірювання, для чого він натискає кнопку «Пуск»; при натисканні на кнопку «Пуск» вмикається реверсивний електродвигун з редуктором 2 і приводиться у обертальний рух різьбова штанга 3, від чого починає рухатися повзун 4, який у свою чергу приводить у рух шток 6 з плунжером 7 і останній починає заглиблюватися у ґрунт, при цьому на тензодатчику 5 формується сигнал, пропорційний величині навантаження, який знімається дискретно у момент, коли оптопара (датчик – приймач) пройде над прорізом у лінійці.

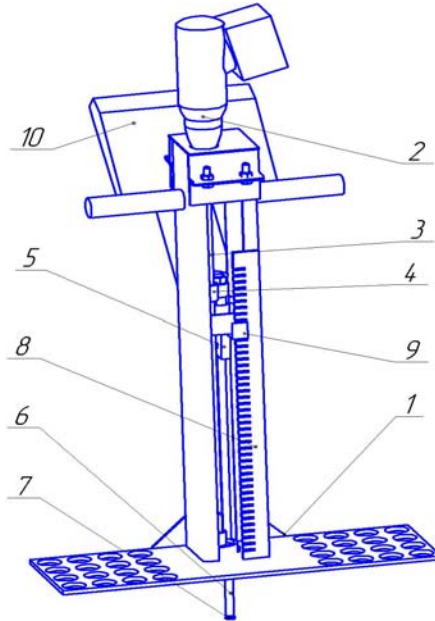


Рисунок 1 – Загальний вигляд розробленого пристрою визначення твердості ґрунту

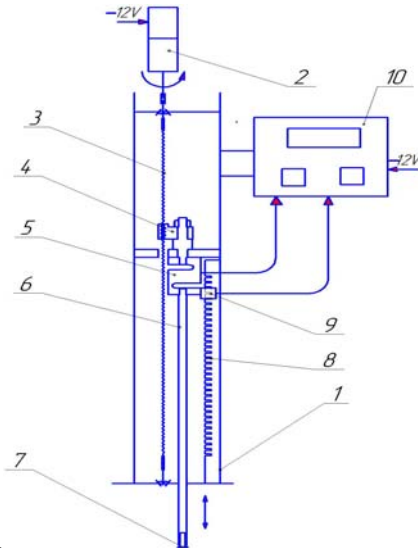


Рисунок 2 – Конструкційна схема розробленого пристрою визначення твердості ґрунту

Таким чином набирається ряд значень відповідно до кількості пройдених прорізів. Сигнали з тензодатчика потрапляють у електронний блок індикації 10, в якому перетворюються у цифрові значення та накопичуються для подальшого обробітку.

При натисканні на кнопку «Стоп» закінчується черговий вимір твердості ґрунту на необхідну глибину.

При застосуванні пристрою для визначення твердості ґрунту отримали дані для побудови графіка твердості ґрунту у первісному вигляді (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F
1	Weight	Price	Cost	DateTime		
2	0,02	0	0	20.08.2012 10:19		
3	0,22	0	0	20.08.2012 10:19		
4	1,84	0	0	20.08.2012 10:19		
5	3,92	0	0	20.08.2012 10:19		
6	4,08	0	0	20.08.2012 10:19		

Рисунок 3 – Інтерфейс таблиці Microsoft Excel

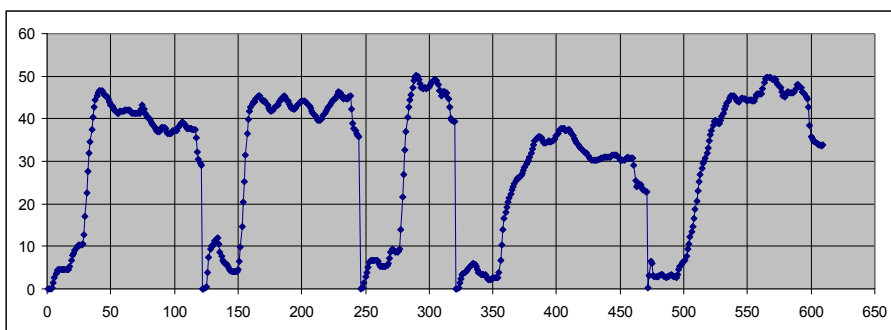


Рисунок 4 – Вигляд первісної діаграми твердості ґрунту із суцільним відліком часу в с по осі x і сили опору ґрунту проникненню плунжера в кг по осі y

Отриману діаграму для зручності можна скопіювати і вставити у документ Word. Діаграма матиме такий вигляд (рис. 4). На діаграмі видно, що вона складається з п'яти послідовно розміщених ділянок, які

відповідають п'яти виконаним вимірам твердості. Ділянки мають чіткі межі, починаються з величин сили опору, близьких до нуля, і закінчуються величинами в кілька десятків кг. Ця діаграма є заготовкою для побудови кожної окремої діаграми, причому в таких координатах:

по осі  $x$  – глибина занурення в см;

по осі  $y$  – твердість ґрунту у  $\text{кг/см}^2$ , або у МПа.

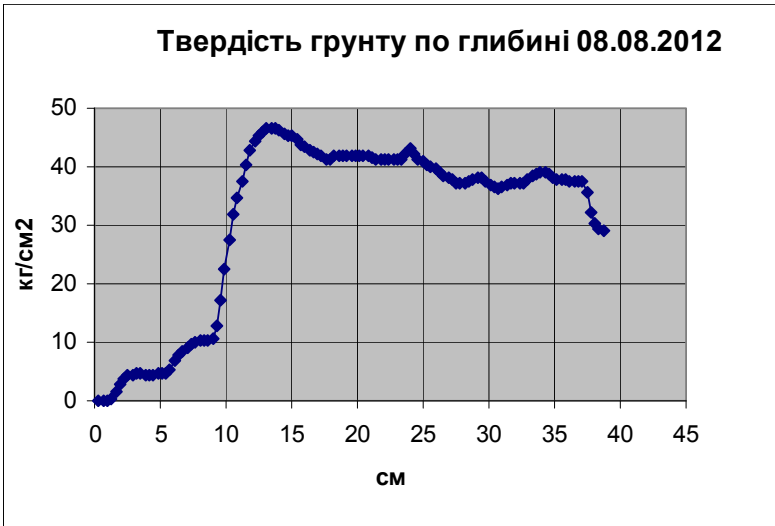


Рисунок 5 – Точкова діаграма твердості ґрунту в залежності від глибини

Microsoft Excel - res18,08.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно

J8 fx

	A	B	C	D	E	F
1						
2		3,04875	/2=	0 - 5	1,524375	
3		11,45	/2=	5 10	5,725	
4		42,98133	/2=	10 15	21,49067	
5		42,29	/2=	15 20	21,145	
6		41,535	/2=	20 25	20,7675	
7		38,028	/2=	25 30	19,014	
8		37,6875	/2=	30 35	18,84375	
9		34,73091	/2=	35 40	17,36545	
10						

Рисунок 6 – Таблиця твердості ґрунту за діапазонами глибин при площі плунжера  $2,0 \text{ см}^2$

Одержавши точкову діаграму (рис. 5) перебудовуємо її таким чином, щоб були відображені середні значення твердості ґрунту пошарово в таких діапазонах глибин: 0 – 5 см; 5 – 10 см; 10 – 15 см; 15 – 20 см; 20 – 25 см; 25 – 30 см; 30 – 35 см; 35 – 40 см (рис. 6).

На пристрій для визначення твердості ґрунту одержано патент України на корисну модель за № 77732 [8].

### **Висновки:**

1. Результати проведених досліджень свідчать, що розроблений пристрій для визначення твердості ґрунту фіксує цей показник пошарово через 1 см на глибину до 380 см.

2. Застосування розробленого твердоміра ґрунту зменшує трудомісткість визначення твердості ґрунту під час випробувань ґрунтообробних машин в 2,5-3 рази в порівнянні з існуючим пристроєм (твердоміром Рев'якіна).

### **Література**

1. Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань. КНД 46.16.02.06 – 95. [Чинний від 1996—01—01]. — К. : Держспоживстандарт України 2006. — 23 с. — (Національний стандарт України).

2. Царенко О.М., Войтюк Д.Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів /О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко, С.С. Яцун – Київ.: Мета. 2009.

3. Трубицын Н. В. Разработка метода и средства определения твердости почвы: Автореф. дис.: Москва, 2010.

4. Патент России № 2305267. Устройство для непрерывного измерения твердости почвы. Авторы: Васильев С. И., Нугманов С. С./Классификация по МПК: G01N. Дата публикации: 27.08.2007.

5. Патент России № 2394240. Устройство для непрерывного измерения твердости почвы. Автор Савельев В. А./Классификация по МПК: G01N. Дата публикации: 10.07.2010.

6. Патент на полезную модель России № 78574. Устройство для измерения твердости почвы. Авторы: Киреев И.М., Трубицын Н. В., Коваль З. М. Опубликовано 27.11.2008.

7. Трубицын Н. В. Разработка метода и средства определения твердости почвы. Автореф. дис.: Москва, 2010.

8. Патент № 77732 , Пристрій для вимірювання твердості ґрунту. Автори: Іваненко І.М., Шульга С.Ф., Гапоненко О.І., патент опубліковано 25.02.2013, бюл. № 4/2013.



### **Аннотация**

*Проведен анализ существующих конструкций устройств для определения твердости почвы. Разработана компоновочная схема и изготовлен экспериментальный образец устройства с электромеханическим приводом для измерения твердости почвы, передачей и обработкой полученной информации на персональном компьютере. Применение разработанного твердомера почвы позволяет уменьшить трудоемкость определения данного показателя при испытаниях почвообрабатывающих машин в 2,5-3 раза по сравнению с существующим устройством (твердомером Ревякина).*

### **Summary**

*The analysis of existent constructions of devices is conducted for determination of hardness of soil. An arrangement chart is developed and the experimental standard of device is made with an electromechanics drive for measuring of hardness of soil, by a transmission and treatment of the got information on the personal computer. Application of developed Measuring device of hardness of soil allows to decrease labor intensiveness of determination of this index at the tests of soil processing machines in 2,5-3 time as compared to an existent device (Measuring device of hardness of Revyakina).*