

УДК 631-422

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА

**Гордеев Александр Сергеевич**

доктор технических наук, профессор

[gorde2020@gmail.com](mailto:gorde2020@gmail.com)

**Каширин Юрий Александрович**

магистрант

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** в представленной статье отражены вопросы полевых исследований физико-механических свойств почвы, и в частности, плотности и твердости с применением разработанного цифрового устройства. Предложено устройство, позволяющее осуществлять измерения плотности и твердости почвы в полевых условиях. В результате исследований получен цифровой пенетромтр для исследования плотности почвы, а также методика проведения исследований с его помощью. Данная методика позволит упростить и повысить скорость проведения исследований и контроля состояния почвенного покрова.

**Ключевые слова:** цифровое устройство, пенетромтр, плотность, математический анализ.

В настоящее время для проведения исследований плотности почвы существуют различные методы. К ним относятся: статическое и динамическое зондирование, электромагнитные, радиоизотопные, методы с выполнением отбора образцов [1, 2]. Последние, из перечисленных являются самыми точными, но и самыми трудоемкими. В настоящее время все более широкую сферу применения обретают исследования с применением методов статического зондирования. На основании показателей сопротивления пенетрации, модуля упругости, угла внутреннего трения, также с учетом механического состава исследуемого грунта таким образом можно определить показатели плотности почвы [3-5].

В ходе проведенных исследований была разработана структурная схема цифрового устройства, позволяющего производить исследования плотности почвы по косвенным параметрам. Устройство основано на базе отладочной платы Arduino Mega.

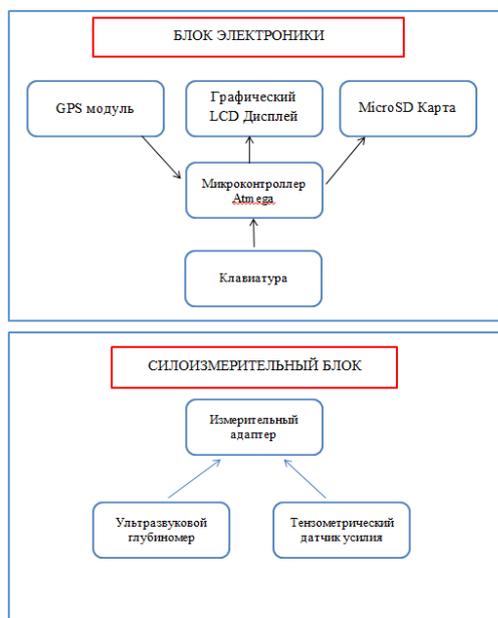


Рисунок 1 - Структурная схема устройства цифрового пенетрометра

В качестве датчика, позволяющего измерять величину сопротивления пенетрации, использован тензометрический датчик усилия. Для контроля текущей глубины зондирования используется Ультразвуковой датчик расстояния. Для отображения информации использован графический

дисплей, на который выводится вся необходимая информация. Для управления устройством использована матричная клавиатура.

Состоит устройство из двух блоков: силоизмерительного и блока электроники (рисунок 2).

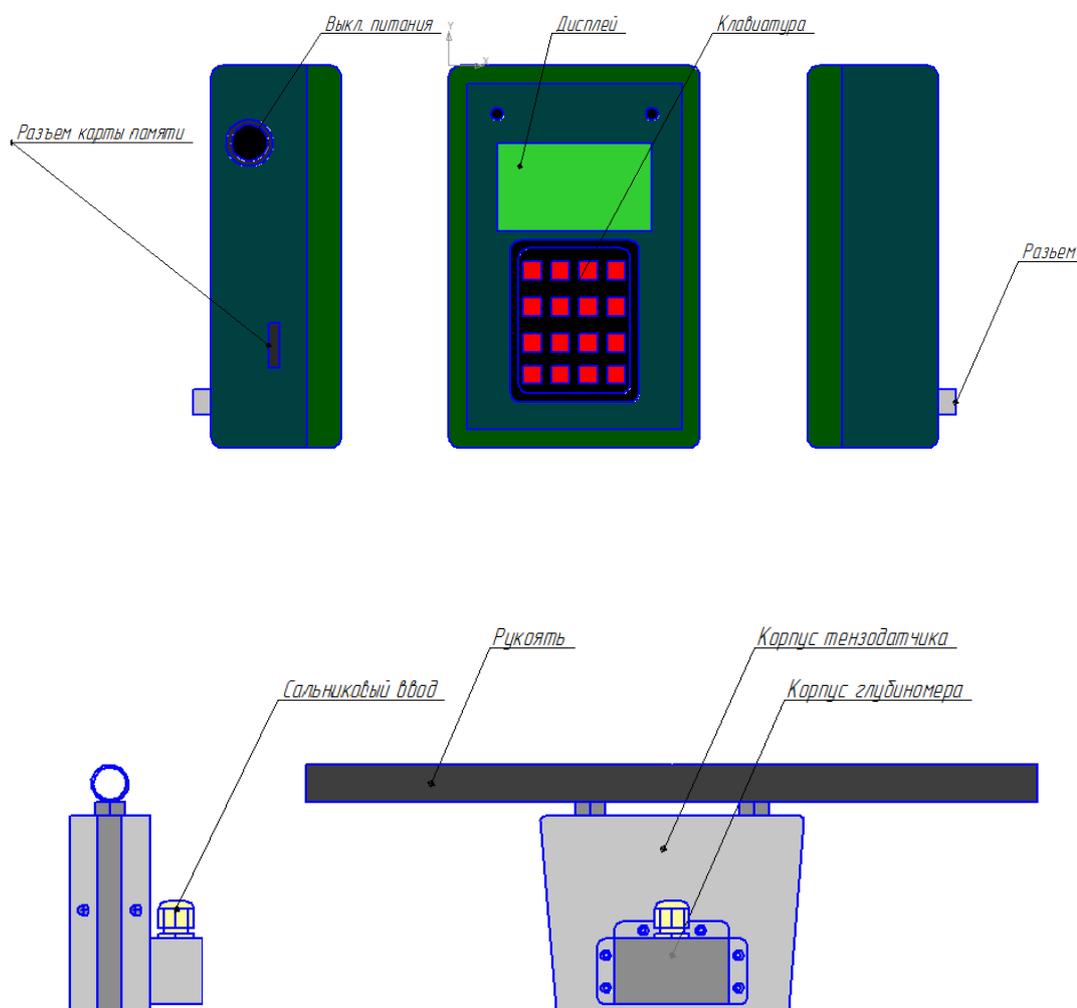


Рисунок 2. Конструкция разработанного устройства. Сверху изображен блок электроники, ниже силоизмерительный блок.

В ходе разработки были разработаны печатные платы, позволившие повысить общую надежность и компактность устройства. После разработки был написан управляющий алгоритм для устройства. В данном алгоритме был произведен анализ алгоритмов фильтрации сигналов, повышающий точность устройства [2, 6].

Далее было произведены лабораторные и полевые исследования с применением разработанного цифрового пенетрометра.

Были исследованы относительные погрешности измерения глубины, сопротивления пенетрации [3, 7]. Полученные в ходе проведенных исследований данные представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты определения относительной погрешности измерения силы

Расчет относительной погрешности измерений силы					
Эталон изм, кг	Ряд измерений 1, кг	Ряд измерений 2, кг	Ряд измерений 3, кг	Ср. арифм трех изм- ий	Относит. погрешн
0	0	0	0	0	0
5,01	5,1	5,2	5,1	5,13	2,46
10,35	10,3	10,5	10,6	10,47	1,13
15,6	15,5	15,5	15,3	15,43	1,07
30,7	30,6	30,3	30,3	30,40	0,98
60,7	60,5	60,5	60,3	60,43	0,44

Таблица 2

Результаты определения относительной погрешности измерения силы

Эталон изм, см	Ряд измерений 1, см	Ряд измерений 2, см	Ряд измерений 3, см	Ср. арифм трех изм- ий	Относит. погрешн
0	0,6	0,5	0,6	0,57	0
10	10,1	9,9	9,5	9,83	1,67
20	19,8	20,1	19,7	19,87	0,67
30	30,2	30,2	29,5	29,97	0,11
40	39,4	39,6	39,3	39,43	1,42
50	50,3	49,7	49,7	49,90	0,20
60	59,7	60	60	59,90	0,17
70	69,6	69,9	69,7	69,73	0,38
80	79,5	79,6	79,7	79,60	0,50

В ходе дальнейших полевых исследований был произведен анализ данных получаемых при помощи разработанного цифрового пенетрометра в сравнении с данными, полученными при отборе проб и их исследовании [8-10]. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Сводные данные полевых исследований, проведенных при помощи разработанного цифрового пенетromетра, а также их соответствие с номерами отобранных проб почвы.

№п/п	№ прокола	Глубина, см	Масса, гр	№ файла	№ образца	№п/п	№ прокола	Глубина, см	Масса, гр	№ файла	№ образца
1	1	6	489	1	1-6	19	2	42	534	2	2-42
2	1	12	465	1	1-12	20	2	48	580	2	2-48
3	1	18	494	1	1-18	21	2	54	556	2	2-54
4	1	24	532	1	1-24	22	2	60	567	2	2-60
5	1	30	499	1	1-30	23	2	66	532	2	2-66
6	1	36	472	1	1-36	24	2	72	550	2	2-72
7	1	42	503	1	1-42	25	3	6	465	3	3-6
8	1	48	544	1	1-48	26	3	12	470	3	3-12
9	1	54	516	1	1-54	27	3	18	463	3	3-18
10	1	60	506	1	1-60	28	3	24	492	3	3-24
11	1	66	552	1	1-66	29	3	30	530	3	3-30
12	1	72	543	1	1-72	30	3	36	507	3	3-36
13	2	6	501	2	2-6	31	3	42	542	3	3-42
14	2	12	453	2	2-12	32	3	48	508	3	3-48
15	2	18	468	2	2-18	33	3	54	519	3	3-54
16	2	24	511	2	2-24	34	3	60	565	3	3-60
17	2	30	500	2	2-30	35	3	66	562	3	3-66
18	2	36	516	2	2-36	36	3	72	566	3	3-66

На основе полученных данных был произведен математический анализ зависимостей между различными параметрами.

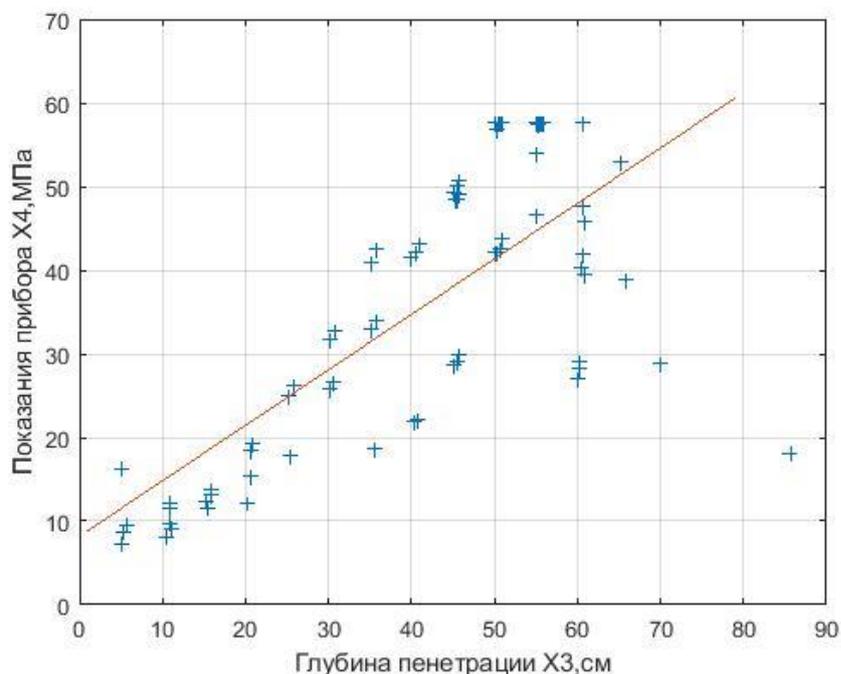


Рисунок 3 – Аналитическая зависимость сопротивления пенетрации от глубины погружения зонда

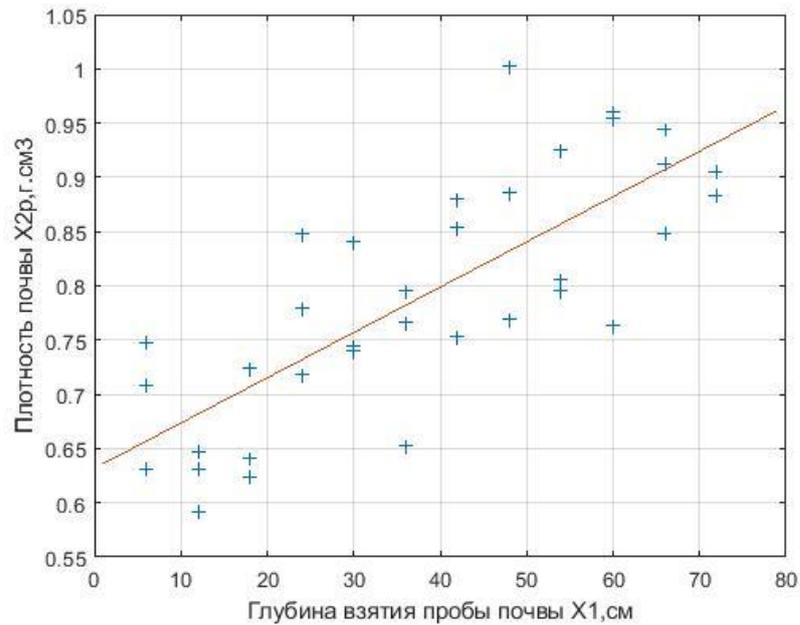


Рисунок 4 – Графическое представление зависимости плотности почвы и глубины на исследуемом участке

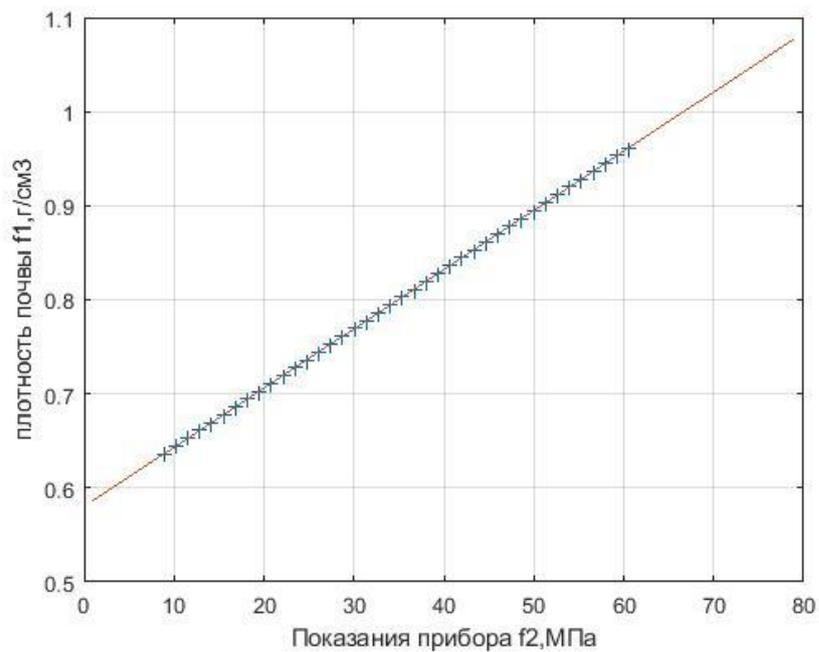


Рисунок 5 – Зависимость плотности почвы от значений удельного сопротивления пенетрации для супесчаных грунтов, полученных при помощи разработанного цифрового пенетromетра почвы.

По данным графику прослеживается коэффициент зависимости уплотнения почвы от удельного сопротивления пенетрации для супесчаных грунтов с естественным содержанием влаги. Очень высокий коэффициент

корреляции между этими величинами, приближенный к 1, говорит о тесной связи данных величин.

### **Выводы.**

Дальнейшее развитие прибора и методики определения плотности почвы с его помощью может развиваться с применением зондов, которые позволят проводить исследования, как влажности, так и агрегатного состава почвы в ходе внедрения электромагнитным и электроконтактным методами. Сферы применения данного устройства довольно обширны – от сельского хозяйства до строительства. Путем внесения в программу работы устройства необходимых алгоритмов можно получить очень универсальное устройство, которое может быть полезным при проведении различных исследовательских работ.

### **Список литературы:**

1. Dexter, A.R. A method for prediction of soil penetration resistance / A.R. Dexter, E.A. Czyż, O.P. Gąte // Soil and Tillage Research. – 93. – 2007. – С. 412–419.
2. Цифровая фильтрация значений Arduino [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://alexgyver.ru/gyverfilters/>, Режим доступа: свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.
3. Пенетrometer грунтовой ПСГ-МГ4 [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://www.stroypribor.com/netcat\\_files/385/235/manual\\_psg.pdf](http://www.stroypribor.com/netcat_files/385/235/manual_psg.pdf), Режим доступа: свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.
4. Light gray surface-gleyed loamy sandy soils of the northern part of tambov plain: agroecology, properties, and diagnostics / F.R. Zaidel'man, A.S. Nikiforova, L.V. Stepantsova, V.N. Krasin, I.M. Dautokov, T.V. Krasina // Eurasian Soil Science. - 2018. - Т. 51. - № 4. - С. 395-406. Аникьева Э.Н. Пути повышения производительности в агропромышленном комплексе при

использовании облачных технологий / Э.Н. Аникьева, Е.А. Аникьева // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 211.

5. Абалуев Р.Н. Информационное обеспечение сельского хозяйства / Р.Н. Абалуев, Д.В. Косенков // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 290.

6. Цифровая обработка изображений для определения структуры почв / А.И. Бутенко, А.С. Гордеев, М.В. Придорогин, Б.С. Мишин, А.В. Антонов, А.М. Егоров // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 202.

7. Орлов В.В. Создание стенда для изучения структуры почвы / В.В. Орлов, А.С. Гордеев // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 288.

8. Зайцев Ю.К. Прибор для определения гумуса в почве / Ю.К. Зайцев, А.С. Гордеев // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Солопова. – 2018. – С. 184-186

9. Левшин М.В. Прибор для измерения электрических показателей почвы / М.В. Левшин, А.С. Гордеев // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Солопова. – 2018. – С. 195-197.

**UDC 631.422**

**RESEARCH OF SOIL DENSITY USING A DIGITAL DEVICE**

**Alexander Sergeevich Gordeev**

doctor of technical Sciences, Professor

[gorde2020@gmail.com](mailto:gorde2020@gmail.com)

**Yuri Alexandrovich Kashirin**

master's degree

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The presented article reflects the questions of field studies of the physical and mechanical properties of the soil, and in particular, density and hardness using the developed digital device. This device allows to measure the soil density and the hardness in the field. As a result of the research, a digital penetrometer for analysis of soil density was constructed, as well as a methodology for conducting research using it. This technique will simplify and increase the speed of research and monitoring the state of the soil cover.

**Key words:** digital device, penetrometer, density, mathematical analysis.