

УДК 535.215-15

ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ

Александр Сергеевич Гордеев

профессор, доктор технических наук

gorde2020@gmail.com

Юрий Александрович Каширин

аспирант

kashirin1996@gmail.com

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье представлен разрабатываемый цифровой прибор для проведения полевого анализа плотности почвы. Рассмотрены базовые понятия, связанные с плотностью почвы. Рассмотрена конструкция устройства, компонентная база. Описан принцип работы разработанного устройства. Произведены полевые исследования плотности почвы с применением разработанного устройства. Произведена обработка результатов исследований, на основании которых сделан вывод о взаимосвязи показателей плотности почвы и сопротивления пенетрации почвы. Определены направления для дальнейших исследований.

Ключевые слова: сельское хозяйство, плотность сопротивление пенетрации, почва, анализ, цифровое устройство, эффективность.

Для интенсивного развития точного земледелия в нашей стране требуется иметь представление о состоянии почвенного слоя земли. Это необходимо для определения оптимальных режимов механической обработки почвы, контроля ее состояния и условий возделывания сельскохозяйственных культур. Урожайность в высокой степени зависит как от химического и гранулометрического составов почвы, так и от ее водно- и воздушной проницаемости. Данные показатели влияют на проникающую способность воды в почве и воздухообмен. Эти факторы критически важны для жизни микроорганизмов и растений. Понимание о протекающих в почве процессах может дать показатель плотности почвы. Плотность почвы – это масса объема почвы с учетом свойств сложения отдельных ее структурных частиц и включений. Для измерения плотности почвы используются различные методы, такие как буровой, фиксажный, песчаный методы, а также определение плотности почвенной массы с помощью жидкостей [1]. Все эти методы позволяют дать довольно точные показатели, характеризующие плотность почвы и соответственно условия возделывания культурных растений, но являются довольно трудоемкими и сложными, поэтому проводятся с использованием лабораторного оборудования. Это может быть затруднительно при наличии больших площадей с различными типами почв и условиями на местности. Поэтому все более актуальным становится вопрос разработки методов косвенного измерения плотности почвы в полевых условиях.

В ходе научно-исследовательской работы мною разрабатывается цифровое устройство, позволяющее проводить полевой анализ плотности почвы косвенным методом, при помощи анализа сопротивления пенетрации. Данное цифровое устройство позволит производить замер показателей сопротивления пенетрации почвы, контроль текущей глубины измерения методом ультразвукового зондирования. Также устройство отслеживает текущее положение в системе глобального позиционирования-GPS, что позволяет привязать каждое произведенное измерение к конкретной точке в пространстве с погрешностью в несколько десятков сантиметров. Контроль за

усилием пенетрации производится при помощи тензометрического датчика усилия, воздействие, характеризующее сопротивление проникновению в почву твердого тела, передается на него через измерительную штангу, с установленным на конце нее измерительным наконечником. Для различных условий и типов почв данный наконечник может варьироваться. Данные о состоянии окружающей среды, температуре и влажности воздуха обрабатываются при помощи специализированного измерительного оборудования, в составе устройства. Процесс погружения измерительной части устройства производится одним пользователем при использовании рукояток через которые усилие передается через корпус прибора на погружаемый зонд через тензометрический датчик. Для обработки данных, получаемых от датчиков, входящих в состав цифрового устройства, применен в качестве главного вычислительного устройства 8-ми битный AVR микроконтроллер. Использование данного микроконтроллера обосновано возможностью облегчения процесса программирования и отладки устройства, т.к., данная архитектура позволяет использовать язык программирования C++, который достаточно прост в освоении.

Структурная схема разрабатываемого устройства представлена на рисунке 1. На представленной схеме отражены все взаимосвязи компонентов устройства. В представленном устройстве основные компоненты выполнены в виде готовых модулей, так габаритные размеры моноблочного варианта устройства были довольно велики. Поэтому было принято решение разделить устройство на два основных блока: блок электроники и силоизмерительный блок.

Блок электроники включает в себя основные компоненты такие как микроконтроллер, клавиатуру, накопитель данных, источник питания, интерфейсы ввода-вывода информации, GPS. Такое решение обусловлено удобством работы с устройством в процессе отладки.

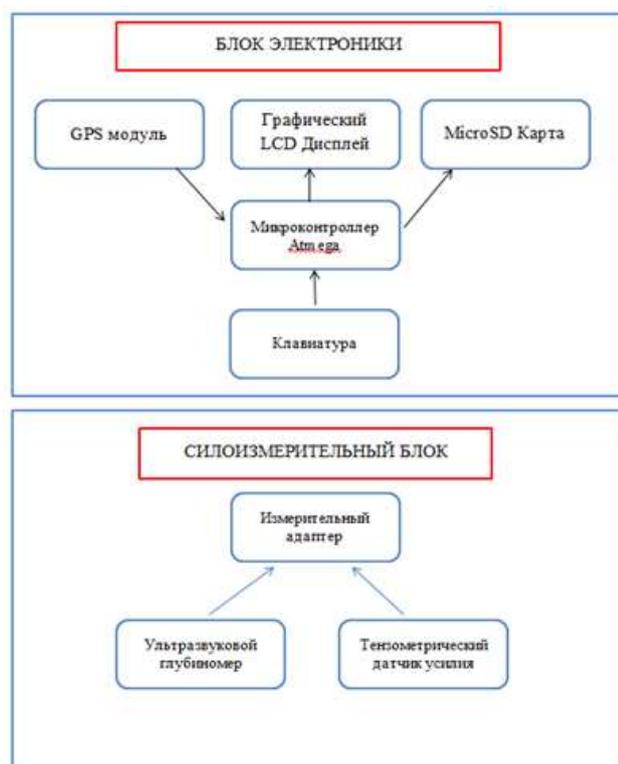


Рисунок 1 - Структурная схема разрабатываемого устройства

Силоизмерительный блок представляет собой металлическое шасси, внутри которого смонтированы основные датчики: тензометрическое силоизмерительное устройство, глубиномер. К силоизмерительному блоку будет прилагаться силовое воздействие при проведении измерений устройством, поэтому его каркас был изготовлен из металла, толщиной 4 мм, боковые стороны закрыты защитными панелями. Из корпуса силоизмерительного устройства выходит кабель с разъемом GX16-6, соединяющий силоизмерительный блок и блок электроники.

Блок электроники был выполнен в пластиковом корпусе, в котором были размещены: микроконтроллер, источник питания, а также устройство ввода - мембранная матричная клавиатура 4x4. На лицевой панели расположен графический дисплей для отображения информации. Сверху расположены разъемы для внешнего питания устройства, зарядки, и прошивки/отладки микроконтроллера. Слева располагается выключатель питания.

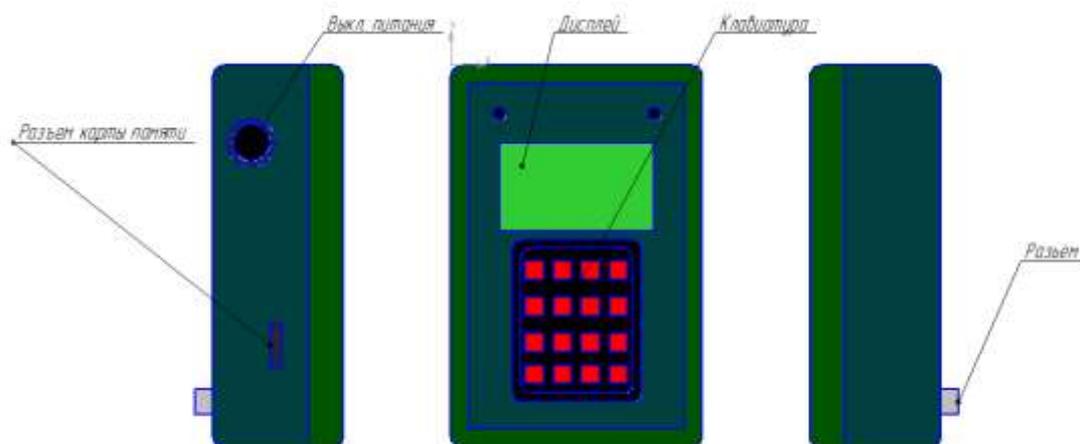


Рисунок 2 - Модель блока электроники

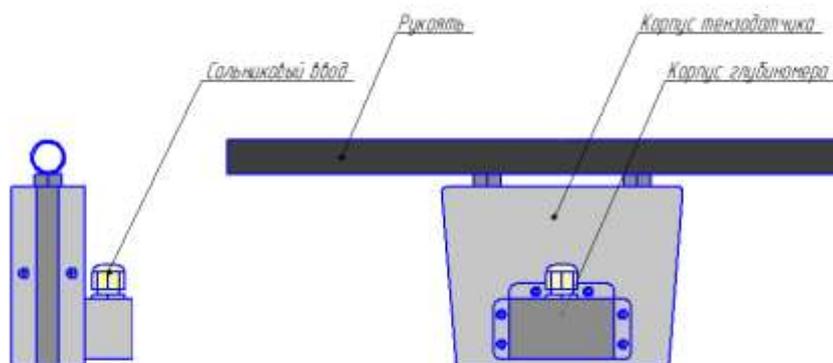


Рисунок 3 - Модель силоизмерительного модуля

Для осуществления электрического монтажа компонентов были разработаны электронные печатные платы, посредством которых и был осуществлен электрический монтаж компонентов в корпусе. Данный способ соединения позволяет довольно просто расширить функционал устройства.

Для разрабатываемого устройства были изготовлены печатные платы для коммутации электронных компонентов. Электронный макет разработанных плат представлен на рисунках 4 и 5.

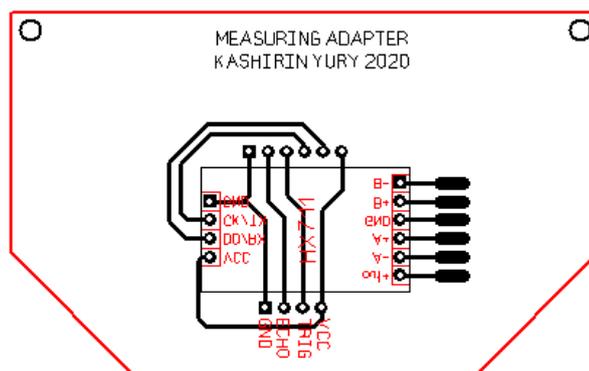


Рисунок 4 - Печатная плата измерительного адаптера

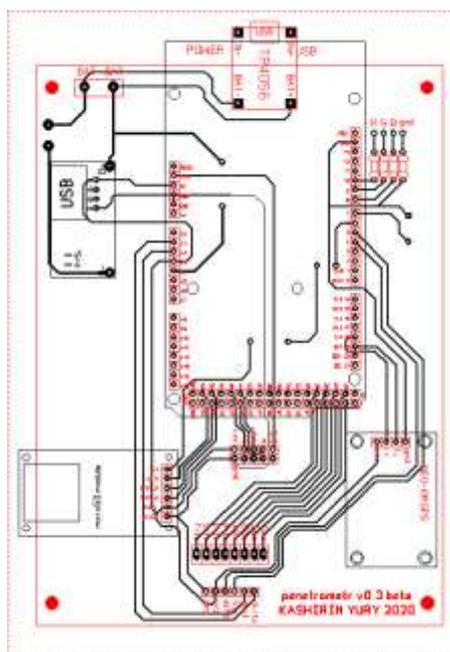


Рисунок 5 - Печатная плата измерительного блока

Плюсами такого монтажа элементов является более высокая надежность механических и электрических соединений, чем в случае навесного монтажа. В случае дальнейшего ремонта или модернизации, по печатной плате гораздо легче отследить все электрические соединения компонентов. А также, более аккуратный и опрятный внешний вид готового устройства. Законченная печатная плата цифрового пенетromетра отображена на рисунке 6. В корпусе данная плата зафиксирована при помощи шурупов.

На плате размещены следующие элементы:

- 1) контроллер питания устройства с повышающим DC/DC преобразователем, на базе микросхемы tp4333 4c8d6z;

- 2) контроллер заряда литий ионных батарей tp4056 с током зарядки до 1А;
- 3) отладочная плата Arduino Mega 2560, центральный модуль разработанного устройства;
- 4) разъем для подключения дисплея;
- 5) разъем для подключения GPS-модуля;
- 6) модуль MicroSD карты;
- 7) разъем для подключения клавиатуры;
- 8) пьезодинамик.

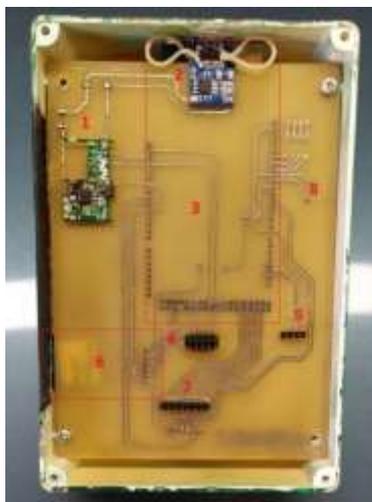


Рисунок 6 - Внешний вид изготовленной печатной платы



Рисунок 7 - Передняя панель устройства для исследования твердости и плотности почвы

Силоизмерительный блок включает в себя два датчика – ультразвуковой глубиномер, вынесенный за габариты корпуса и тензометрическое силоизмерительное устройство, занимающее большую часть внутреннего объема силоизмерительного блока. Внешний вид устройства представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 - Силоизмерительный блок

Элементная база разрабатываемого устройства основана на отладочной плате семейства AVR Arduino Mega (рисунок 9) с микроконтроллером ATmega 2560 с необходимой для его работы обвязкой, требуемой для работы и ПК по USB. Данный контроллер имеет 256 КБ Flash-памяти для хранения программ, 8 КБ оперативной памяти и 4 КБ энергонезависимой памяти EEPROM для хранения данных. К преимуществам данной платы можно отнести большой набор аппаратных интерфейсов для связи с внешними устройствами. К ним относятся UART, I²C, SPI, последовательную и параллельную линии данных. Весь этот набор инструментов позволяет плате взаимодействовать с большим количеством внешних устройств. Для удобства работы с данными отладочными платами производителем разработана специализированная среда разработки программного обеспечения «Arduino IDE». [2]

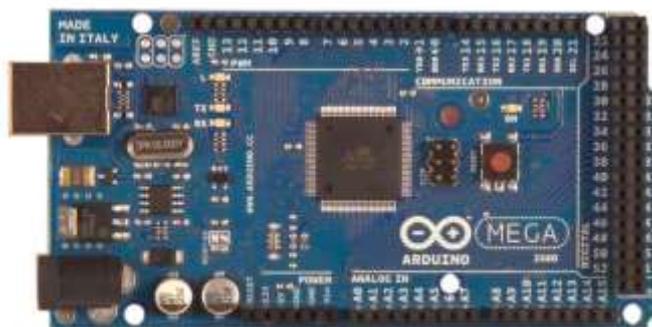


Рисунок 9 - Отладочная плата Arduino Mega 2560

В качестве устройства для графического отображения информации был выбран графический LCD дисплей, основанный на контроллере ST7920. Данный дисплей монохромный, имеет разрешение 128x64 пикселя и довольно большими физическими размерами, что удобно для считывания данных с него. Дисплей оснащен светодиодной подсветкой, при необходимости проведения работ в сумерках, или темное время суток. внешний вид данного дисплея представлен на рисунке 10.

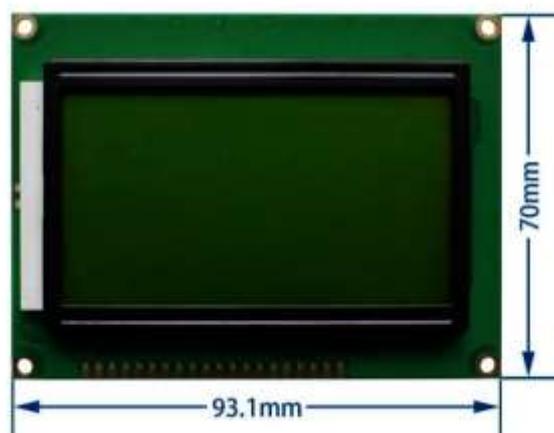


Рисунок 10 - LCD дисплей ST7920 128x64

Для получения данных о местоположениях проведения исследований используется система глобального позиционирования GPS. Для взаимодействия устройства с данной системой применен модуль GY-NEO6MV2 (рисунок 11) от компании U-blox. Связь с GPS приемниками осуществляется по протоколу NMEA 0183. Это текстовый стандарт связи, широко применяемый в морском навигационном оборудовании.

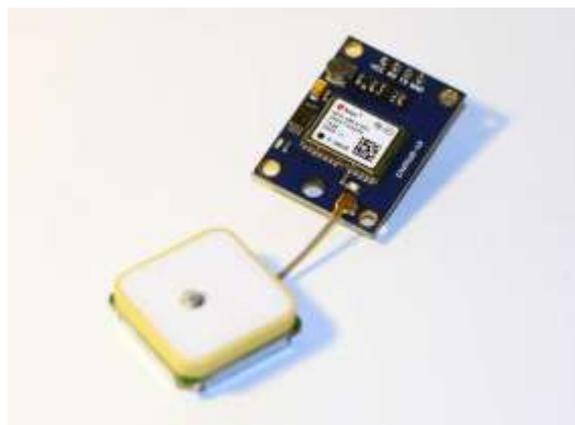


Рисунок 11 - GPS модуль GY-NEO6MV2

Контроль глубины зондирования производится с применением ультразвукового дальномера HC-SR04 (рисунок 12). Работа данного дальномера основывается на принципе эхолокации – модуль посылает направленные импульсы на частоте 40 kHz при помощи излучателя и ожидает отраженного от поверхности объекта импульса. Применение данного устройства обусловлено простотой работы с ним, защищенность от магнитных помех, невосприимчивости к изменению освещенности. Недостаток связан с тем, что для повышения точности определения глубины до нескольких миллиметров необходимо использовать плоскую мишень, которая хорошо будет отражать звуковую волну. [3]

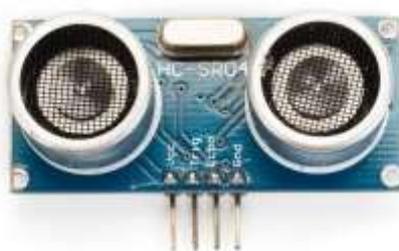


Рисунок 12 - Ультразвуковой дальномер HC-SR04

Для отслеживания действующего усилия пенетрации использован тензометрический датчик нагрузки YZC-1B (рисунок 13) с номинальной

нагрузкой до 50 кг. Аналогичные силоизмерительные устройства используются в промышленном и торговом оборудовании. Данный датчик выполнен в формате «балка», и воспринимает воздействие на изгиб, что и было применено в конструкции прибора. [4]



Рисунок 13 - Тензометрический датчик YZC-1B

Интерфейс устройства в настоящий момент дорабатывается, для повышения информативности и простоты навигации. Текущий вариант представлен ниже (рисунки 14-20).



Рисунок 14 - Начальный экран загрузки



Рисунок 15 - Подменю «НАСТРОЙКА»

На начальном экране устройства имеется возможность перехода по двум пунктам – «ИЗМЕРЕНИЕ» и «НАСТРОЙКА». Навигация по пунктам осуществляется клавишами «А» и «В» вверх и вниз, соответственно. Для перехода на следующий пункт меню используется клавиша «С», для возврата – «D».

- В подменю «НАСТРОЙКА» имеются два пункта: «ВЫБОР КОНУСА» и «САМОТЕСТ». Перемещение между ними осуществляется аналогично предыдущему экрану устройства. Здесь имеется возможность изменить тип исследуемого грунта: «Супесь», «Суглинок» или «Чернозем». Выбор данного параметра напрямую влияет на показатель плотности исследуемой почвы. Тип грунта определяется оператором устройства визуально, либо на основании дополнительно проведенных анализов. Все настройки заносятся в энергонезависимую память устройства и сохраняются даже после выключения питания. Дополнительно внизу выводится информация о текущем напряжении на встроенном аккумуляторе, что позволит контролировать заряд.



Рисунок 16 - Экран «ВЫБОР КОНУСА»

Рисунок 17 - Экран «САМОТЕСТ»

На экране «САМОТЕСТ» отображена следующая информация:

- местоположение, дата и время, полученные от Системы Глобального Позиционирования (GPS);
- номер текущего измерения;
- данные с глубиномера и тензодатчика, необходимые для оценки правильности их измерения устройством;

В подменю «ИЗМЕРЕНИЕ» отображены два пункта: «СТАРТ» и «ВОЗВРАТ». В информационном меню также выводится контрольная информация о текущих выбранных параметрах измерения.



Рисунок 18 - Информационный экран

Рисунок 19 - Экран измерения

На экране измерения отражена следующая информация:

- прогресс-бар текущего измерения. Необходим для контроля за ходом проведения испытания исследуемого грунта;
- окно измерения. В нем отражены данные о текущей глубине погружения зонда, действующем значении удельного сопротивления пенетрации, тип установленного наконечника.

Также, в правом нижнем углу, в моменты погружения зонда на заданные глубины с шагом 5 сантиметров отображается индикатор «запись», свидетельствующий об успешной записи данных на съемный носитель.



Рисунок 20 - Экран результатов измерения

На экране результатов измерения выводится график плотности по глубине, построенный по точкам в зависимости от глубины измерения. По нему можно наглядно отследить участки с повышенной плотностью, не прибегая к вспомогательному оборудованию.

Для отладки алгоритма работы цифрового пенетromетра, и способность вычисления плотности почвы был проведен ряд полевых исследований, для определения параметров, связывающих сопротивление пенетрации и плотность почвы. Данные параметры могут быть различны для разных типов почв. Для выполнения первичной калибровки устройства было проведено несколько тестовых полевых замеров с использованием разработанного цифрового устройства. Эти измерения направлены на установление зависимостей между измеряемыми устройством величинами удельного сопротивления пенетрации и плотностью для различных типов почв.

Исследования проводились путем параллельного проведения замеров разработанным цифровым устройством, и методом режущего кольца.



Рисунок 21 - Выполнение разреза для исследования характеристик почвы.



Рисунок 22 - Процесс проведения замеров твердости почвы

При помощи разработанного цифрового устройства, производилось зондирование почвы при помощи мышечной силы пользователя. Процесс зондирования характеризуется равномерно возрастающим усилием, приложенным к рукояткам устройства, вертикально, без изгибающих усилий на штангу (рисунок 22 и 23). В процессе внедрения зонда в почву, устройство фиксировало продольную нагрузку при вдавливании, а также, текущую глубину погружения зонда. При помощи программного алгоритма вычисления определяется удельное сопротивление пенетрации.

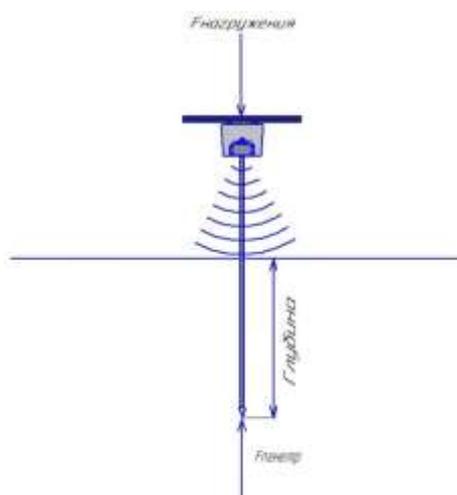


Рисунок 23 - Схема работы устройства для исследования плотности почвы

После зондирования разработанным цифровым устройством, был выполнен почвенный разрез, из которого были отобраны образцы почвы ненарушенного сложения, которые были взвешены, и помещены в полиэтиленовые пакеты для транспортировки, далее были высушены и определена их объемная масса. Данные, полученные при измерениях плотности и сопротивления песчаных почв представлены в таблице 1.

Математический анализ полученных данных будет производиться средой технических расчетов MatLab, позволяющей составить математическую модель, описывающую взаимное влияние сопротивления пенетрации и плотности почвы.

Таблица 1

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

№п/п	№ прокола	Глубина, см	Масса, гр	№ файла	№ образца	№п/п	№ прокол	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

По результатам проведенного корреляционного анализа собранных в ходе проведенных экспериментов данных, был проведен корреляционный анализ, определяющий зависимость между усилием пенетрации и плотностью почвы. Ниже представлены графики зависимости для песчаных почв и для чернозема (рисунок 23 и 24).

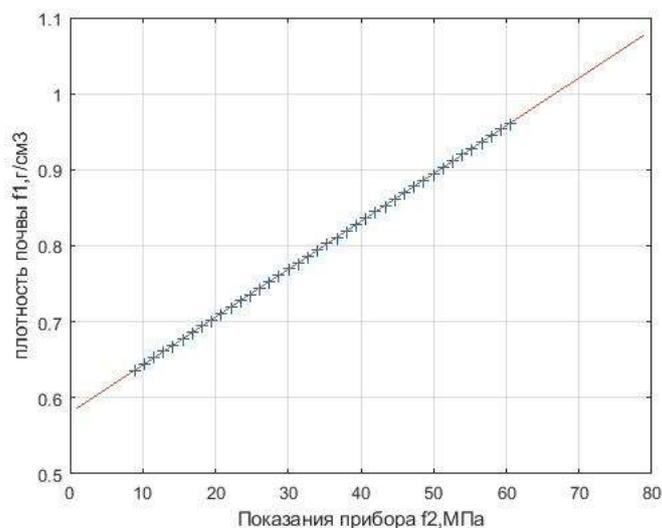


Рисунок 24 - Зависимость плотности почвы от значений удельного сопротивления пенетрации для песчаных грунтов, полученных при помощи разработанного цифрового пенетromетра почвы

По графику (рисунок 25) прослеживается тесная корреляционная связь между показателями плотности и сопротивления пенетрации для песчаных почв с естественным содержанием влаги.

Далее были произведены аналогичные измерения на черноземно-глинистых почвах, проведенные после весенней обработки и посева подсолнечника. Замеры производились близ д. Фонвизино, Тамбовской области, в точке с координатами 53.148801, 40.318205

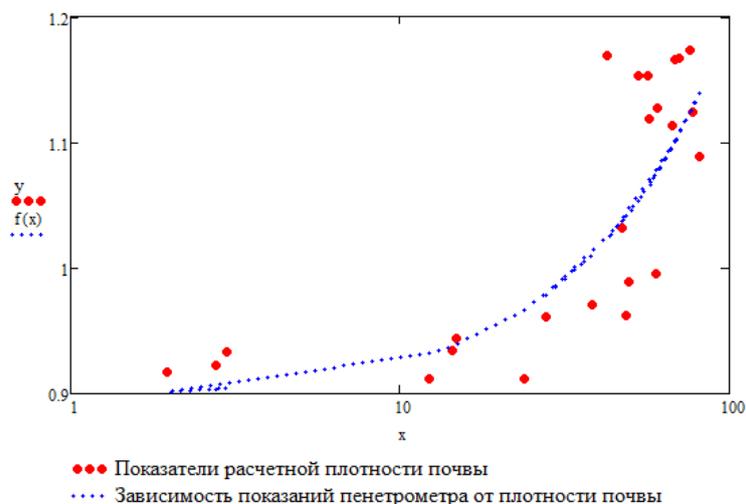


Рисунок 25 - Экспоненциальная зависимость между плотностью и показаниями пенетromетра при исследовании черноземно-глинистых почв

Аналогично песчаной почве был произведен корреляционный анализ по черноземно-глинистой почве, на основании которых была выявлена зависимость между сопротивлением пенетрации и плотностью. Однако данная зависимость не такая сильная как в случае с песчаным грунтом. Исходя из этого можно сделать вывод что для полноценной настройки устройства необходимо провести более обширные экспериментальные исследования разных типов почвы в различном состоянии: без механической обработки, после дискования, вспашки, культивации. Также имеет смысл сравнить показатели почвы в ходе произрастания на ней различных культур, таких как: рапс, пшеница, кукуруза, подсолнечник, так как у данных культур различное влияние на структурное состояние почвы. По итогам данных исследований разработанное устройство сможет с довольно высокой точностью предоставлять данные о плотности

почвы, за довольно короткое время позволяя производить анализ большого количества различных почв.

Данное свойство будет полезно аграриям и сельхоз производителям, позволяя сократить затраты и сроки анализа состояния почвы в их хозяйствах.

Список литературы:

1. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва: 56 Изд-во АН СССР, 1958. С, 25, 191 с.

2. Микроконтроллеры Arduino Mega 2560 [Электронный ресурс]: Режим доступа <http://wiki.amperka.ru/продукты:arduino-mega-2560>, свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.

3. Ультразвуковой датчик дистанции [Электронный ресурс]: Режим доступа <http://wiki.amperka.ru/продукты:hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module>, свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.

4. Н8Н балочный тензометрический датчик [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://megakontrol.ru/katalog/vesoizmeritelnye-pribory/tenzodatchiki/odnoopornaia-konsol/h8h-balochnyi-tenzometricheskii-datchik/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.

UDC 535.215-15

DIGITAL DEVICE FOR RESEACHING SOIL DENSITY

Alexander S. Gordeev

professor, doctor of technical sciences

gorde2020@gmail.com

Yury A. Kashirin

Graduate student

kashirin1996@gmail.com

Michurinsk State Agrarian University

Annotation. The article presents a developed digital device for field analysis of soil density. Basic concepts related to soil density are considered. Considered the design of the device, the component base. The principle of operation of the developed device is described. Field studies of soil density were carried out using the developed device. The results of the research were processed, on the basis of which a conclusion was made about the relationship between the indicators of soil density and resistance to soil penetration. Directions for further research are determined.

Key words: agriculture, density, penetration resistance, soil, analysis, digital device, efficiency.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 30.06.2023.