

DIGITAL PENETROMETER S600 AS A TOOL FOR MONITORING SOIL COMPACTION

ЦИФРОВОЙ ПЕНЕТРОМЕТР S600, КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ

к.т.н. доц. Деркач А., д.т.н., проф. Аулин В., к.т.н. Макаренко Д., асп. Муранов Е.; Деркач В.

¹ Инженерно-технологический факультет – Днепровский государственный аграрно-экономический университет, Украина
e-mail: derkach_dsau@i.ua

Abstracts: The analysis of the negative impact of tractor wheels on the soil is presented. It is shown that agricultural machinery contributes to soil degradation according to the density criterion and this indicator must be constantly monitored. The device and methods of using the S 600 digital penetrometer equipped with software are presented. As an example, two problems have been solved, in which rational measures are recommended to maintain an optimal soil density for growing crops.

KEYWORDS: ПЕНЕТРОМЕТР, ТВЕРДОСТЬ ПОЧВЫ, ДАВЛЕНИЕ, ЭРОЗИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ

1. Вступление

Известно, что для нормального роста и развития культурных растений, почва должна иметь определенную плотность. Так, в зоне Степи Украины, оптимальная плотность черноземов составляет $1,01...1,3 \text{ г/см}^3$. Ходовые системы, а именно, двигатели сельскохозяйственной техники наносят серьезный вред почве, подвергая ее сильному уплотнению. Структура корнеобитаемого слоя подвергается механической деградации, уплотняется. Нарушается водно-воздушный баланс почвы, возникает угроза образования сильного переуплотнения почвы на глубине максимальной обработки: 25...32 см. На таких участках полей урожайность снижается, а нередко и вовсе посевы гибнут. На обработку уплотненной почвы необходимо тратить больше энергии. Ликвидировать угрозу образования переуплотненных слоев почвы существующими сегодня техническими и технологическими средствами сложно. Почву разуплотняют дополнительными мероприятиями. В то же время, разработаны различные способы, позволяющие уменьшить негативное влияние двигателей энергетических средств на почву. Среди этих методов следует выделить использование гусеничной техники, применение колесной технологии, запрет выезда грузовых автомобилей на поля и другие. Гусеничные тракторы меньше уплотняют почву, по сравнению с колесными, так как воздействуют на нее с меньшим давлением (табл.1). Однако и они имеют недостатки, которые ограничивают их широкое применение в аграрном производстве, а именно: высокую стоимость, ограниченную транспортную скорость, сложность конструкции и обслуживания.

Данную проблему изучали ученые В. Надикто, В. Пастухов, В. Астафьев, А. Ахметов и многие другие. Так, в [1] изучено влияние спаренных колес тракторов модульного энергетического средства на базе трактора МТЗ-80 на уплотнение почвы и урожайность ячменя. В работе [2] определено, что уплотнение почвы передними колесами трактора можно снизить путем замены трактора с колесной формулой 3К2 на трактор с колесной формулой 4К2, а также вследствие увеличения скорости движения трактора. Производители сельскохозяйственной техники также указывают, что из-за чрезмерного уплотнения, потенциал произрастающих на полях культур остается нераскрытым на 30-40% [3].

Поэтому, на современном этапе развития сельскохозяйственной техники и технологий, необходимо не только снижать их негативное воздействие на почву, но и использовать методы контроля и управления зонами уплотнения и вовремя ликвидировать их, используя различные методы разуплотнения.

Таблица 1 – Давление на почву некоторых тракторов

Марка трактора*	Масса, кг	Давление на почву, МПа
МТЗ-80 	3370	0,12 – 0,14
ХТЗ-17221 	8870	0,165
К-701 	13400	0,27
Case IH Quadtrack 	22500	0,04 – 0,05

*фото из открытых источников

2. Постановка проблемы

Одним из методов контроля уровня уплотнения почвы являются цифровые пенетromетры. Рассмотрим эффективность применения цифрового пенетromетра S600, разработанного компанией SkokAgro (Украина).

Цель работы – исследование эффективности применения цифрового пенетрометра S600 и обоснование целесообразности его применения в технологиях земледелия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- раскрыть функциональность пенетрометра;
- произвести замеры твердости почвы на проблемных участках;
- проанализировать полученные данные;
- в случае необходимости разработать мероприятия, направленные на разуплотнение почвы.

3. Методы исследований

Принцип работы пенетрометра заключается в измерении усилия проникновения в почву металлического конуса. Пенетрометр (рис.1) оборудован двумя приемниками: GPS и GSM, картой памяти на 2000 замеров, которые могут храниться автономно. С помощью программного обеспечения, которое устанавливается на ноутбук, можно видеть результаты онлайн и сразу их обрабатывать. Таким образом, во время измерений, получать данные можно в реальном времени в любой точке мира.

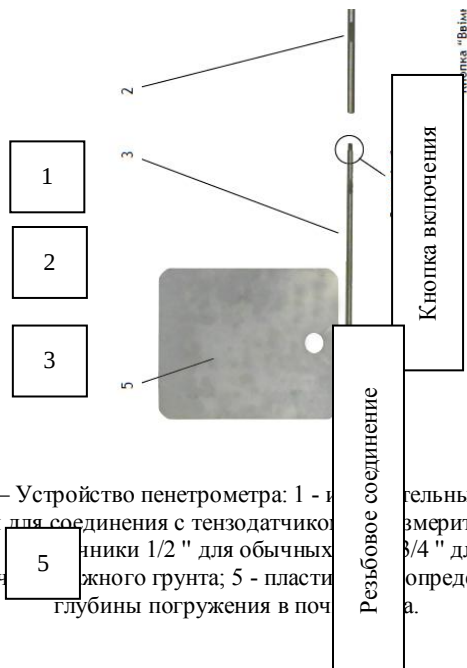


Рис. 1 – Устройство пенетрометра: 1 - GPS/GSM приемник; 2 - шуп для соединения с тензодатчиком; 3 - измерительный шуп; 4 - датчик 1/2" для обычных грунтов; 5 - датчик 3/4" для песчаного грунта; 5 - пластина для определения глубины погружения в почву.

Во время измерений твердости почвы, пенетрометр фиксирует данные каждые 5 см на глубину от 0 до 60 см. Таким образом, исследователь получает целостную и объемную картину твердости почвы поля. Переданы в личный кабинет данные формируются в отдельные отчеты в виде PDF-файлов и хранятся там постоянно. На файлах указаны ID поля, название поля (заполняется пользователем), дата измерений и последних изменений, дата формирования отчета и есть функция «Просмотр отчета», который можно просмотреть в раз-развернуто виде на основе многократных измерений (рис. 2).

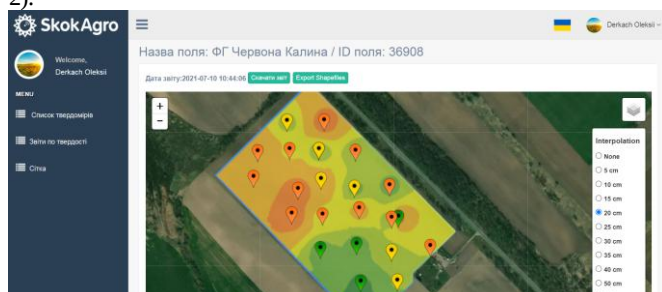


Рис. 2 – Общий вид интерфейса личного кабинета пользователя в программном обеспечении SkokAgro.

Для проектирования рационального пути следования и повышения равномерности между точками измерений, в программе SkokAgro предусмотрена функция «Сетка» (рис. 2). Используя данную функцию, исследователь может получить на карте точки измерений. Перенеся данную задачу в виде Shapefiles в мобильное устройство, в котором установлена программа Locus Map (рис. 3), можно на поле работать по указанным точкам, передвигаясь пешком или на транспорте.

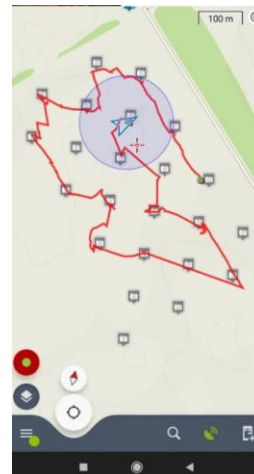


Рис. 3 – Скриншот экрана мобильного устройства с маршрутом исследователя по полю и точками измерений.

Таким образом, обеспечивается проведение измерений на равномерно удаленных точках.

4. Решение рассматриваемой задачи

В качестве примера решаемой задачи по определению качества почвы по критерию твердости, использовали поле, на котором по состоянию на 16 июля 2019 года подсолнечник прекратил рост (рис. 4).



Рис. 4 – Общий вид участка посевов подсолнечника.

Развитие основной культуры прекратилось.

Во время нормальной относительной влажности почвы (24...26 %) по описанной выше методике были проведены исследования. Результаты показали (рис. 5), что уже на глубине от 16 см наблюдается высокая твердость почвы (до 3500...4000 кПа), не приемлемая для выращивания с.-х культур. Такие значения твердости характеризуют почву, как твердую и очень твердую.

Давление, кПа

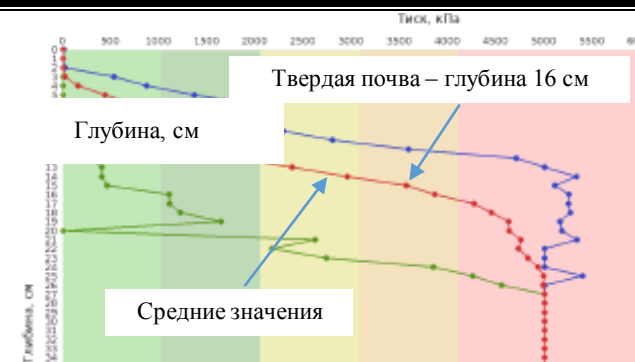


Рис. 5 – Зависимость твердости почвы от глубины внедрения пенетromетра.

Так как пенетромметр измеряет не плотность почвы, а ее твердость, то условно используют следующую градацию состояния почвы:

- Твердость до 1000 кПа – почва рыхлая;
- 1000...2000 кПа – относительно рыхлая;
- 2000...3000 кПа – средней твердости;
- 3000...4000 кПа – твердая почва;
- >4000 кПа – очень твердая.

На всей площади посевов на глубине 11...25 см была сильно уплотненная почва, так называемая, плужная подошва. Ее твердость составляла 3500...5500 кПа. Полученная картография свидетельствовала о проблеме уплотнения (рис. 6).



Рис. 6 – Характерная зависимость твердости почвы от глубины внедрения пенетromетра свидетельствует о наличии сильно уплотненных слоев почвы.

При значениях твердости, выше 4000 кПа выращивание с.-х. культур невозможно.

Анализ энергетических средств и машинно-тракторных агрегатов в целом, которые использовались в традиционной технологии выращивания подсолнечника, показал, что фермер использовал агрегаты, шириной захвата до 4 м. Допускал выезд на поле автомобилей при уборке урожая, интенсивно применял механическую обработку почвы простыми, однооперационными агрегатами. Супесчаная почва, систематически подвергаясь агрессивным воздействиям движителей колес колесных тракторов, комбайнов и автомобилей, уплотнилась до высоких значений.

В данном случае, было рекомендовано обработать поле дисковым агрегатом с целью измельчения остатков растений и перемешивания с почвой. Следующим этапом стала осенняя обработка глубокорыхлителем на глубину до 60 см, с последующей предпосевной подготовкой и посевом пшеницы озимой (осень 2019 года).

В 2020 году, после сбора урожая пшеницы (урожайность 4,6 т/га, разгрузка комбайнов производилась на краю поля), в качестве основной обработки была проведена вспашка агрегатом ХТЗ-150К-09 + ПЛН-5-35 на глубину 32 см.

В 2021 году подсолнечник был посеян вновь. Результаты исследований твердости почвы показали (рис. 7), что данный

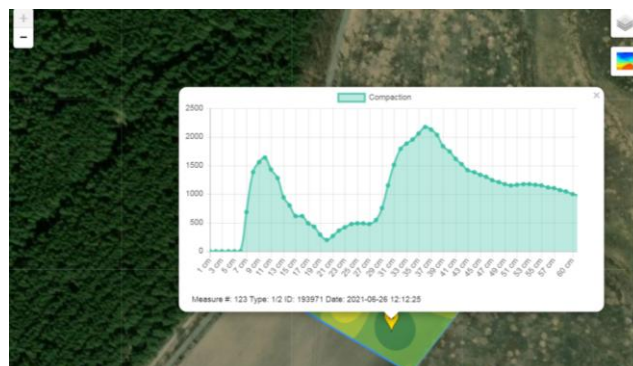


Рис. 7 – Зависимость твердости почвы от глубины после проведения противоуплотнительных мер (26.06.2021 г).

показатель есть неравномерным по глубине, но не превышает 2500 кПа. Это свидетельствует о положительном воздействии проведенных мер. Однако следует недопускать выездов на поле автомобилей и необходимо использовать гусеничную технику. Увеличение ширины захвата агрегатов также будет способствовать уменьшению уплотнения почвы. Следует отметить, что в период с 25.06.2021 по 20.07.2021 на поле выпало рекордное количество осадков – 146 мм (по данным сайта <https://www.meteo.farm/>). Однако, явления водной эрозии на поле отсутствовали.

По состоянию на 07.07.2021 года поле имело следующий вид (рис. 8).



Рис.8 – Общий вид участка поля подсолнечника после проведенных мер по разуплотнению почвы.

Эффективность применения данного пенетromетра и программного обеспечения заключается еще и в том, что можно получить четкую картину по отдельным участкам поля. Ведь не обязательно будет, например, плужная подошва, образовываться на всем поле. Например, на одном и том же поле, где выращиваются две разные культуры мы получили результаты, анализ которых показал, что одна часть поля (около 40 % от общей площади) в хорошем состоянии. На данном участке нет необходимости применять энергоемкую технологическую операцию по разуплотнению почвы: глубокое рыхление. В то же время, другая часть поля (участок с высокой твердостью) является очень уплотненной и без соответствующих мероприятий по разуплотнению почвы фермер будет нести большие убытки.



Рис. 9 – Поле с различной степенью уплотнения: участок поля с нормальной плотностью почвы не нуждается в проведении разуплотнительных мероприятий.

Как видно из рис. 9, даже на глубине 60 см верхняя часть поля является сильно уплотненной.

Таким образом, используя цифровой пенетrometer S600 и программное обеспечение SkokAgro можно оперативно получать данные о состоянии почвы на глубину до 60 см по критерию уплотнения. Это позволяет вовремя принимать решения на корректировку технологических операций и принятия, в случае необходимости, агротехнических мероприятий, направленных на разуплотнение почвы. Также, целесообразно применять в системе цифровых технологий в цепочке данных: твердость – агрохимический анализ – дифференцированная обработка почвы.

5. Заключение

1. Показано, что давление на почву тракторов с колесными движителями составляет 0,12...0,27 МПа; тракторов с гусеничными движителями – в пределах

0,04...0,05. Давление на почву тракторов с колесными движителями является высоким и способствует ее уплотнению.

2. Как метод качественного и оперативного контроля, позволяющего получить целостную карту уплотнения почвы на глубину 60 см с дискретностью 5 см предложено использовать цифровой пенетrometer S600 и программное обеспечение SkokAgro.

3. Доказано, что оперативный контроль целесообразно проводить с мобильным приложением геолокации Locus Map.

4. Решены производственные задачи по оперативному мониторингу и разработке мероприятий по разуплотнению почвы, после которых твердость почвы уменьшена с 5500 до 2500 кПа.

6. Литература

1. Володимир Надикто. Менше ущільнення – більша урожайність. [«Електронний ресурс»]. Режим доступа: <https://agrotimes.ua/article/menshe-ushchilnennya-bilsha-vrozhajnist/>
2. А.А. Ахметов, Ш.А. Ухмедов. Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой. Сельскохозяйственные машины и технологии. Том 13, № 1, 2019. [«Електронний ресурс»]. Режим доступа: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/312>
3. Как бороться с переуплотнением почвы. Agro Pravda. [«Електронний ресурс»]. Режим доступа: <https://agropravda.com/news/agrobiznes-life/11427-kak-borotsja-s-pereuplotnieniem-pochvy>
4. Семейко І.В. Екологічна оцінка машинних технологій вирощування сільськогосподарських культур за критерієм величини ущільнення ґрунту / Дипломна робота освітнього ступеня «Магістр»: ДДАЕУ, 2020,. – С. 59. Режим доступа: <https://dspace.dsau.dp.ua/jspui/bitstream/123456789/3786/1/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D0%BA%D0%BE%20%D0%86.%D0%92.pdf>