

УДК 631.315

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПОЧВЫ В ПАХОТНОМ СЛОЕ

Овсянников С. И., к.т.н., доцент, Сиряк Я., студент-магистр.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко) Email: ovsrg@rambler.ru

В работе представлены результаты исследования твердости почвы в пахотном горизонте. Для этого разработана конструкция твердомера непрерывного действия. Полученные экспериментальные данные обрабатывались по разработанной методике на основе преобразования Фурье с целью определения коэффициента корреляции и спектральной плотности. Представлены зависимости определения коэффициентов амплитудно-частотной характеристики моделирования текущих значений удельного сопротивления почвы на основе экспериментальных данных.

Актуальность работы. Твердость и сопротивление смятию являются способностью почвы сопротивляться внедрению рабочих органов сельскохозяйственных машин и движителей трактора. Между твердостью и удельным сопротивлением почвы существует корреляционная связь [1]. Следовательно, зная характер изменения твердости почвы можно определить удельное сопротивление обработке.

Анализ исследований и публикаций. В работе [2] отмечается, что тяговое сопротивление рабочих органов с.-х. орудий является случайной величиной и подчиняется закону нормального распределения. Удельное сопротивление грунта носит синусоидальный характер изменения относительно среднего значения в зависимости от структуры грунта. В работе [3] отмечается, что единичные рабочие органы имеют среднеквадратичное отклонение. С увеличением количества рабочих органов среднеквадратичное отклонение тягового сопротивления уменьшается. В работе [1] представлен анализ устройств для измерения твердости почвы в вертикальной плоскости, которые условно можно разделить по принципу заглубления в почву на ударные и непрерывные. К первому типу относятся конструкции Железнова, Захарова, Волкова и др.; ко второму – устройства ак. Горячкина, Качинского, Ревякина, Голубева, конструкции, разработанные ВИСХОМом и др.

Однако эти устройства определяют твердость в вертикальной плоскости, а не вдоль линии движения рабочих органов. В работе [4] представлена конструкция продольного плотномера, при помощи которого проводится оценка изменения продольной плотности почвы на определенной глубине. Однако, устройство отслеживает плотность по всей глубине измеряемого слоя и выдает среднее значение вариации плотности в исследуемом слое.

В работе [4] отмечается, что плотность почвы является обобщенным показателем, наиболее существенно влияющим на рост растений. Здесь же предлагается неравномерность продольной плотности почвы разложить на частоты от нуля до частоты, при которой построение графика корреляционной функции прекращается.

Во всех работах отмечается, что твердость почвы зависит от влажности, является характеристикой удельного сопротивления обработке, деформации почвы в нормальном, тангенциальном и боковом направлениях.

Интерес со стороны исследователей к этому свойству оценим с помощью поисковой системы Google. На запрос «плотность почвы» находим 236 тыс. источников на русском языке, а на «bulk density» около 1300 тыс. источников на английском языке. Во многих источниках отмечается, что сопротивление почвы под действием сил деформации изучено недостаточно.

Целью работы является разработка конструкции твердомера почвы в продольном направлении и методики обработки экспериментальных данных для получения математической модели, характеризующей твердость почвы в обрабатываемом слое.

Результаты работы. Для непрерывного исследования твердости почвы в продольном направлении разработана конструкция твердомера (рис. 1), который состоит из рамы (на рисунке не показано) и шарнирной подпружиненной 4-х рычажной параллелограммной подвески 1, тензометрической стойки 2, опорных колес 3, балочного тензодатчика 4, наконечника 5, втулки 6, шарикового шарнира 7, опорного штифта 8. Стойка 2 переставляется и фиксируется по высоте, что позволяет устанавливать необходимую глубину измерения. Для уменьшения влияния неровностей поверхности движения на глубину исследуемого горизонта, используется два опорных колеса 3, установленных на качающейся подвеске.

Усилие, образуемое под воздействием сил сопротивления почвы, воспринимается конусным наконечником 5 и через шариковый шарнир 7 передается на тензодатчик 4 балочного типа. Наконечник 5 удерживается и перемещается в горизонтальном продольном направлении при помощи втулки 6. Для исключения влияния отклонения вектора силы сопротивления на измеряемую величину тензодатчиком используется шариковый шарнир 7. Наконечник 5 выдвинут вперед относительно тензометрической стойки, что обеспечивает его самоочищение и исключение влияния налипших комков почвы на точность измерения. Диаметр наконечника составляет 11,3 мм (площадь 1 см^2), угол конуса – $22,5^\circ$.

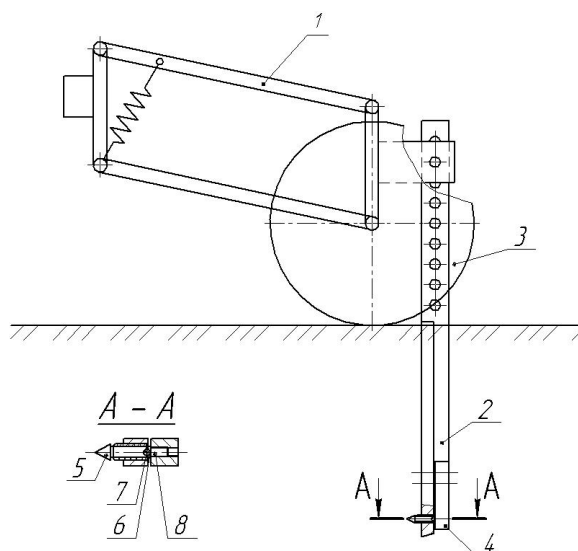


Рисунок 1. Конструкция прибора для непрерывного измерения твердости почвы.

Регистрация результатов измерений осуществляется измерительным комплексом [6] в цифровом формате.

При движении наконечника 5 на заданной глубине длиной L , достаточной для того, чтобы охарактеризовать репрезентативно и несмещенно все поле, получена реализация процесса изменчивости продольной твердости почвы (рис. 2). Удельное сопротивление определяется по формуле:

$$q = \frac{P}{F_n} \quad (1)$$

где P – усилие, передаваемое от наконечника, Н;
 F_n – площадь наконечника, см^2 .

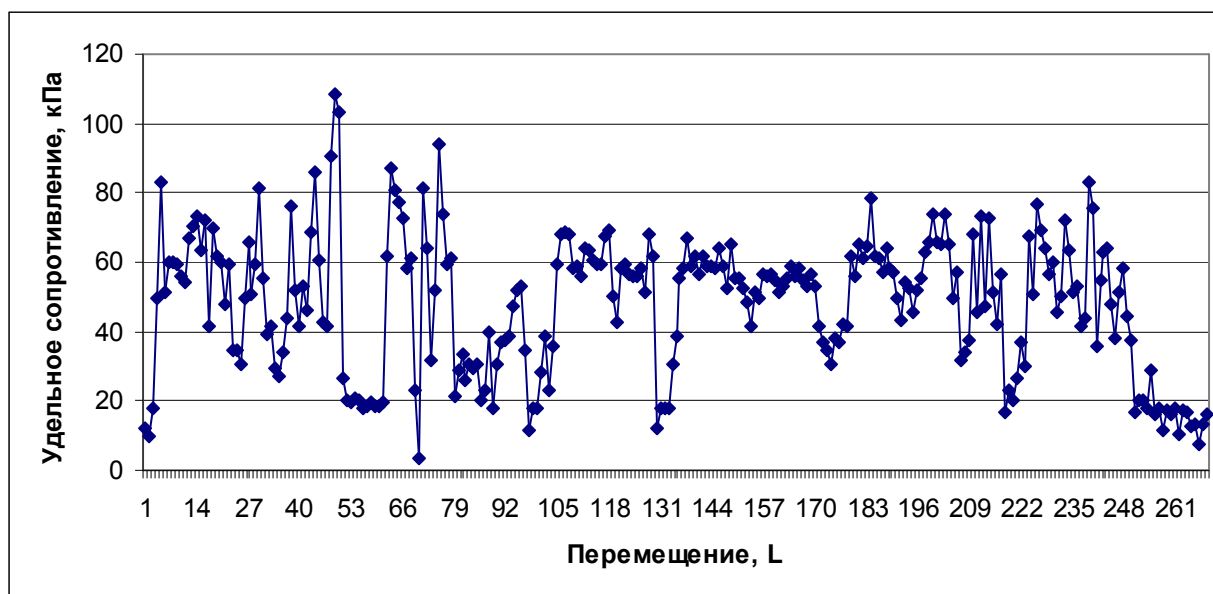


Рисунок 2. Результаты измерения удельного сопротивления почвы в горизонте 20-25 см участка после вспашки однокорпусным плугом.

Учитывая, что площадь наконечника 1 см^2 , удельное сопротивление равно усилию на наконечник.

Главными статистическими характеристиками реализации случайной функции удельного сопротивления почвы являются среднее значение или математическое ожидание среднего значения удельного сопротивления, среднеквадратического отклонения или дисперсии ординаты, корреляционная функция или спектральная плотность.

Среднее значение удельного сопротивления определяется как осредненная совокупность текущих значений q_i :

$$q_{\bar{n}\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i. \quad (2)$$

Дисперсия ординат является осреднением квадратов отклонений ординат q_i относительно среднего значения:

$$R(0) = \sigma_n^2 = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{\bar{n}\delta})^2. \quad (3)$$

Корреляционная функция удельного сопротивления является нестационарной функцией одного аргумента $R(q)$, которая для каждой пары значений $x, x+\Delta x$ равна корреляционному моменту соответствующих ординат случайного сопротивления:

$$R(q) = M[q(x) \cdot q(x + \Delta x)]. \quad (4)$$

Отношение корреляционной функции к ее дисперсии является коэффициентом корреляции величин $q(x)$ и $q(x+\Delta x)$:

$$R^i(q) = \frac{R(q)}{R(0)} = \frac{M[q(x) \cdot q(x + \Delta x)]}{M[q^2(x)]}. \quad (5)$$

Спектральная плотность дисперсий отображает плотность распределения дисперсий по частотам непрерывного спектра. При этом значения этих дисперсий являются случайной величиной. Аргументом является частота появления уплотненного участка длиной l_n :

$$\Theta = \frac{2\pi}{l_i} \quad (6)$$

где l_n – длина участка плотностью q_i .

Между спектральной плотностью $S(\Theta)$ и корреляционной функцией $R(q)$ существует взаимосвязь, описываемая преобразованием Фурье. В данном случае имеем частное преобразование, так называемое «косинус-преобразование Фурье»:

$$R(q) = 2 \int_0^{\infty} S(\Theta) \cos \Delta x \Theta d\Theta. \quad (7)$$

$$S(\Theta) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(q) \cos \Delta x \Theta dt$$

В случаях использования в математическом моделировании процессов взаимодействия рабочих органов с обрабатываемой средой текущих значений удельного сопротивления, отклонения сопротивления (твердости) почвы от их

среднего значения задаются в виде волнового изменения разной амплитуды и частоты:

$$q = q_0 + \sum_{i=1}^n q_n (1 + \sin \Theta t). \quad (8)$$

Параметры зависимости (8) определяются по формулам:

$$q_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot dx, \quad (9)$$

$$q_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot \sin x \cdot dx$$

Корреляционная функция статистических данных измерений (рис. 2) представлена на рис. 3.

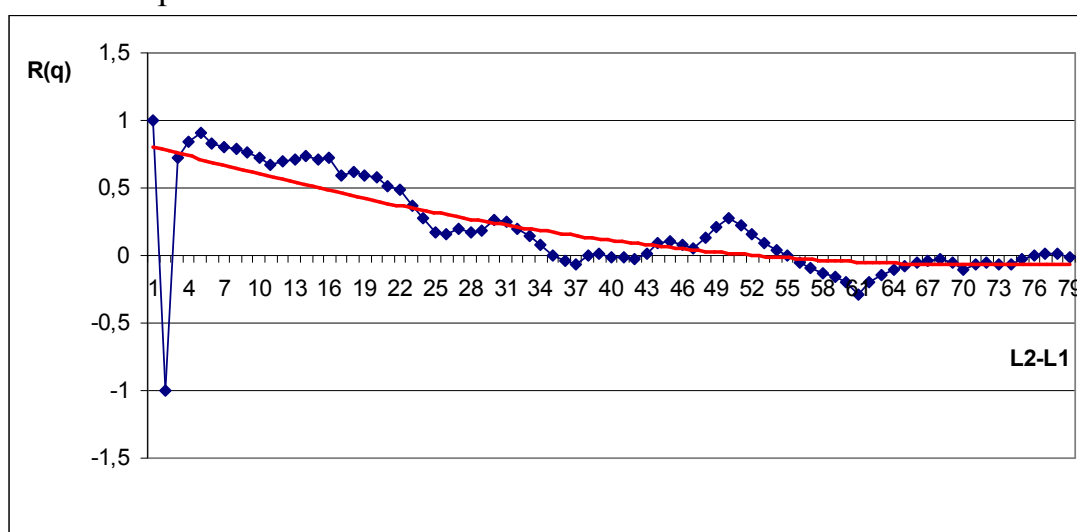


Рисунок 3. Корреляционная функция случайной величины q_i (линия с точками) и ее аппроксимация полиномом 2-го порядка (сплошная линия).

Как видно из графика, коэффициент корреляции с увеличением продолжительности измерений (количества статистических данных) приближается к нулю. Поэтому по значению полинома второго порядка зачастую определяют длину мерного участка, достаточного для установления достоверных значений.

Выводы.

Твердость почвы оказывает непосредственное влияние на ее плотность, следовательно, и на плодородие, а также на тягово-сцепные свойства движителей. Поэтому в задачах точного земледелия, оптимизации процессов обработки почвы, тяговой динамики работы почвообрабатывающих агрегатов рассматриваются статистические характеристики параметров твердости почвы с учетом их изменений по пути.

Разработанная конструкция твердомера непрерывного измерения твердости почвы позволяет провести измерения на глубине от 0 до 30 см с регистрацией

данных в цифровом формате и рассчитать удельное сопротивление почвы обработке. Полученные данные используются для определения плотности почвы.

Разработанная методика моделирования текущих значений удельного сопротивления почвы по пути движения рабочих органов адекватно отражает реальные изменения твердости с достаточной точностью.

Список литературы

1. Механизмы и технологии. Лекции по техническим наукам. Технологические свойства почвы. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://mehanik-ua.ru/lektsii-po-tekhnicheskim-temam/182-tehnologicheskie-svoystva-pochvy.html>
2. Овсянніков С. І. Підвищення тягово-зчіпних властивостей мотоагрегатів шляхом застосування рушіїв, що трансформуються. / С. І. Овсянніков // Вісник наукових праць СевНТУ. Збірник наукових праць. Вип. 135/2012. Серія: Машинобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – С. 180 - 185.
3. Шемняков Д.В. Разработка методов и средств изучения процесса формирования тягового сопротивления машинно-тракторных агрегатов на базе малогабаритных энергосредств с целью улучшения их эксплуатационных свойств. Дис. канд. техн. наук. // Рукопись. – Вологда: 2003. – 140 с.
4. А.С. 1698758 СССР, МКИ G 01 N 33/34 / Любимов А. И., Стрижов В. А., Тлеужанов Е. У., Граков Н. Ф. (СССР). - №4777409/15; заявл. 08.01.90; опубл. 15.12.91. Бюл. №46. – 3 с. : ил.
5. Давидсон Е. И. Отслеживание неравномерности плотности почвы. / Е. И. Давидсон // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. - № 4. – 41 с.
6. Овсянніков С. І. Обоснование структуры измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний мотоагрегатов / С. І. Овсянніков // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології». Електронне наукове фахове видання Вип. №3. 2012. [Електронний ресурс] // Режим доступу http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE12_1c/index.html
7. Васильев С. И. Совершенствование метода и технических средств для горизонтального измерения твердости почвы при внедрении технологии координатного земледелия : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / - Кинель, 2007. – 20 с.

Анотація

ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ І ДЕФОРМАТИВНОСТІ ҐРУНТУ В ОРНОМУ ШАРІ

Овсянніков С. І., Сіряк Я.

В работе представлены результаты исследования твердости почвы в пахотном горизонте. Для этого разработана конструкция твердомера

непрерывного действия. Полученные экспериментальные данные обрабатывались по разработанной методике на основе преобразования Фурье с целью определения коэффициента корреляции и спектральной плотности. Представлены зависимости определения коэффициентов амплитудно-частотной характеристики моделирования текущих значений удельного сопротивления почвы на основе экспериментальных данных.

Abstract

THE RESULTS OF A STUDY OF HARDNESS OF THE SOIL IN THE PLOW HORIZON

Ovsyannikov S., Siryak Ya.

The paper presents the results of a study of hardness of the soil in the plow horizon. For this purpose developed a continuous construction of hardness measurement. Found the experimental data processed according with the developed methodology based on the Fourier transform with the purpose of determination the correlation coefficient and the spectral density. Presented dependent's of the definition of the coefficients of the amplitude-frequency characteristics of modeling the current values of the resistivity of the soil on the basis of experimental data.