



УДК 631.412

## О физических параметрах суглинистой почвы

**В.Е. ТОРИКОВ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (e-mail: torikov@bgsha.com)**  
**С.И. СТАРОВОЙТОВ, кандидат технических наук, доцент**  
**Н.Н. ЧЕМИСОВ, аспирант**  
Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл., 243365, Российская Федерация

К основным физическим характеристикам, представляющим почву как объект обработки, можно отнести модуль упругости первого рода, коэффициент динамической вязкости, предел прочности на растяжение и сжатие, твердость, высоту падения, соответствующую началу разрушения почвенного образца, угол внешнего трения. Твердость почвы определяли диаграммным твердомером Ю.Ю. Ревакина. Установку ТММ-32А и измеритель деформаций ИТЦ-03 использовали для определения коэффициента внешнего трения суглинистой почвы. Для измерения предела прочности на растяжение и сжатие применяли тензометрическое кольцо и установку РМ-0,5. Модуль упругости первого рода определяли с помощью установки А.С. Кушнерева, коэффициент динамической вязкости – на установке Цытовича – Файнциммера, высоту падения, соответствующую началу разрушения почвенного образца, – при ударе комка почвы о металлическую поверхность. Для суглинистой почвы, находящейся в состоянии физической спелости, установлена зависимость модуля упругости первого рода, коэффициента динамической вязкости, предела прочности на растяжение, предела прочности на сжатие, твердости, высоты падения, соответствующей началу разрушения почвенного образца, угла внешнего трения от ее влажности. Величина твердости, предела прочности почвы на сжатие, коэффициента динамической вязкости при увеличении значений влажности уменьшаются. Угол внешнего трения, предел прочности суглинистой почвы на растяжение, модуль упругости первого рода в пределах физической спелости изменяются по выпуклой квадратной параболе. Эти параметры принимают максимум при влажности 18 %, 14 % и 15,09 %, соответственно. Такую тенденцию мы связываем с преобладающей

ролью плотносвязанной и рыхлосвязанной воды, которая повышает упругость межагрегатных связей. Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц изменяется по вогнутой параболической зависимости. Минимальное значение удельной потенциальной энергии соответствует влажности суглинистой почвы 18 %, максимальное – 15 и 23 %. Область минимальных значений удельной потенциальной энергии разрушения соотносится с состоянием почвы «физическая спелость».

**Ключевые слова:** угол внешнего трения, модуль упругости первого рода, коэффициент динамической вязкости, твердость, предел прочности почвы на сжатие, предел прочности почвы на растяжение, высота падения, соответствующая началу разрушения почвенного образца.

**Для цитирования:** Ториков В.Е., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. О физических параметрах суглинистой почвы // Земледелие. 2016. №8. С. 19-21.

Обработка почвы остается самой востребованной операцией в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур [1-5]. Модернизация почвообрабатывающих органов плугов, культиваторов, дисковых борон в направлении снижения энергоемкости невозможно без системного изучения и использования в математических моделях физических параметров, характеризующих почву [6].

К основным физическим параметрам, представляющим почву как объект обработки, можно отнести модуль упругости первого рода  $E$ , коэффициент динамической вязкости  $\eta$ , предел прочности на растяжение  $\sigma_p$  и сжатие  $\sigma_{сж}$ , твердость  $T$ , высоту падения  $h_p$ , соответствующую началу разрушения почвенного образца, угол внешнего трения  $\varphi_{внеш}$ .

Модуль упругости первого рода и коэффициент динамической вязкости отражают динамичность нагружения почвенного пласта. Деформационность почвы выражается через предел прочности на растяжение и сжатие, удельную потенциальную энергию разрушения, соотнесенную

к высоте падения, соответствующей началу разрушения почвенного образца, твердость. Почва, как объект обработки, с учетом скольжения одной поверхности по другой, оценивается углом внешнего трения.

Известны работы российских и зарубежных ученых, направленные на изучение перечисленных физических параметров, которые зависят от гранулометрического состава и влажности почвы, скорости нагружения, задержания [5]. При этом при одинаковом гранулометрическом составе определяющим фактором становится влажность почвы. Следует отметить, что величины указанных характеристик варьируют в больших интервалах и противоречивы [7].

Цель исследования – установление зависимости основных физических характеристик (модуль упругости первого рода, коэффициент динамической вязкости, предел прочности на растяжение и сжатие, твердость, высота падения, соответствующая началу разрушения почвенного образца, угол внешнего трения) суглинистой почвы от значений абсолютной влажности для снижения энергоемкости, повышения технологической надежности и прогнозирования степени крошения суглинистой почвы при работе почвообрабатывающих рабочих органов.

Исследования выполнены в Брянском ГАУ на хорошо окультуренных серых лесных среднесуглинистых почвах, сформированных на лесосовидном карбонатном суглинке со следующими агрофизическими свойствами слоя 0-20 см: плотность твердой фазы – 2,60 г/см<sup>3</sup>, равновесная плотность – 1,36-1,67 г/см<sup>3</sup>, наименьшая влагоемкость – 26,0 %, влажность устойчивого завядания – 6,2-8,6 %, доля водопропрочных агрегатов (0,25-10 мм) – 50 %.

Для определения модуля упругости первого рода, предела прочности на растяжение и сжатие, угла внешнего трения почвы использовали образцы почвы с ненарушенной структурой. Был сконструирован и изготовлен пробоотборник, где в качестве кольцевого ножа использовали разрезанный надвое цилиндр из нержавеющей стали, что обеспечивало беспрепятственное освобождение взятого почвенного образца.

Твердость почвы определяли с использованием диаграммного твердомера Ю.Ю. Ревакина [8], коэффициент внешнего трения суглинистой

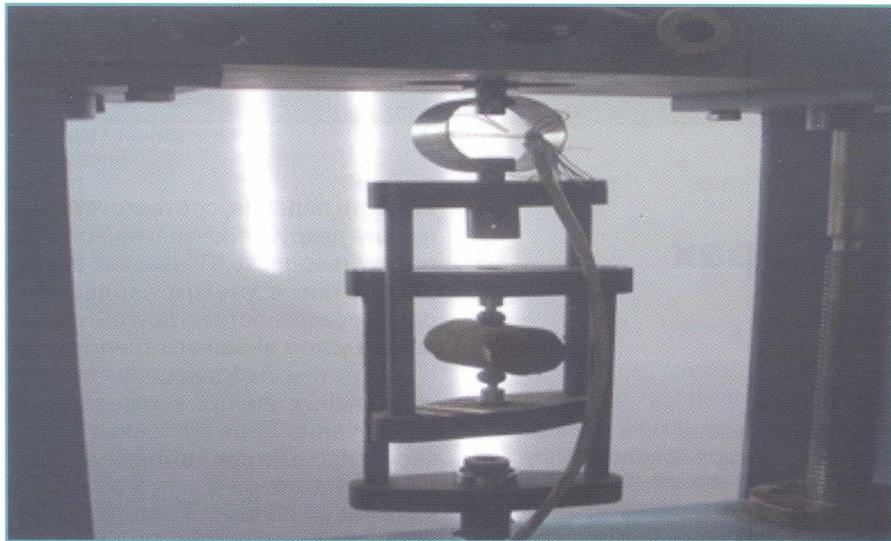


Рис. 1. Разрушение почвенного образца инденторами.

почвы – установки ТММ-32А и измерителя деформаций ИТЦ-03 [9].

Для определения предела прочности почвы на растяжение применяли метод одноосного растяжения скальных грунтов, как наиболее надежный. Суть его заключается в измерении разрушающей силы, приложенной к образцу через стальные встречно направленные сферические инденторы. На верхнем инденторе размещено тензометрическое кольцо (рис. 1) [10].

Зависимость напряжения сжатия от величины относительной деформации  $\sigma - \varepsilon$  определяли при нагружении почвенного образца ненарушенной структуры на разрывной машине РМ-0,5 (рис. 2) до характерных проявлений линий излома, при которых почва начинает крошиться [10].

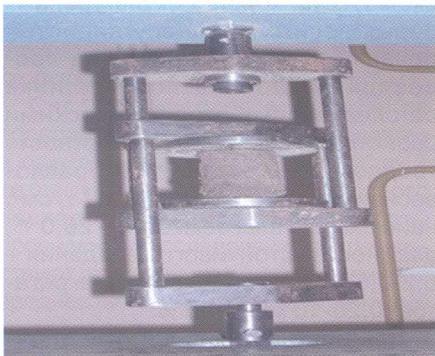


Рис. 2. Разрывная машина РМ-0,5.

Взаимосвязь модуля упругости первого рода суглинистой почвы со значениями влажности определяли с помощью спроектированной и изготовленной установки А.С. Кушнерева [11] (рис. 3). Для обработки и регистрации колебаний была разработана блок-схема программы в среде графического программирования Labview. При импульсном нагружении почвенный образец первоначально сжимается и, в дальнейшем, совершает колебания, при-

водящие к созданию ЭДС в катушке. Этот сигнал регистрируется АЦП и передается на монитор компьютера, где на лицевой панели отображается кривая колебаний верхнего торца и выводится график соответствия амплитуды и частоты. Определив частоту  $f$ , можно вычислить модуль упругости первого рода.

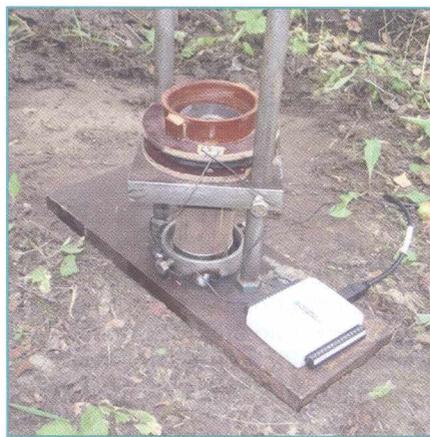


Рис. 3. Устройство для определения технической частоты колебаний.

Зависимость коэффициента динамической вязкости от значе-

ний влажности суглинистой почвы определяли с помощью установки Цытовича – Файнциммера (рис. 4) [12]. Динамический коэффициент вязкости почвы рассчитывали по формуле Стокса.

В процессе взаимодействия рабочего органа с почвой в каждом почвенном фрагменте накапливается удельная потенциальная энергия, способствующая трещинообразованию, величину которой можно рассчитать по формуле:

$$\bar{u} = \rho \times g \times h_p, \quad (1)$$

где  $\bar{u}$  – удельная потенциальная энергия, Дж/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h_p$  – высота падения, соответствующая началу разрушения почвенного образца, м.

Экспериментально определив высоту падения  $h_p$ , можно рассчитать величину удельной потенциальной энергии разрушения почвенного комка.

На основании анализа результатов исследований были получены следующие уравнения зависимости изучаемых показателей от значений влажности:

твердость суглинистой почвы ( $R^2 = 0,95$ )

$$T = -0,23 \times \omega + 8,07, \quad (2)$$

где  $\omega$  – абсолютная влажность почвы

угол внешнего трения ( $R^2 = 0,698$ )

$$\varphi_{\text{внеш}} = 3,581 \times \omega - 0,094 \times \omega^2 - 2,935; \quad (3)$$

предел прочности почвы на растяжение ( $R^2 = 0,95$ )

$$\sigma_p = -113,12 + 907,013 \times \omega - 32,29 \times \omega^2; \quad (4)$$

предел прочности почвы на сжатие ( $R^2 = 0,938$ )

$$\sigma_s = -0,0003\omega_a^2 + 0,0015\omega_a + 0,252; \quad (5)$$

модуль упругости первого рода ( $R^2 = 0,964$ )

$$E = -47998,895\omega^2 + 1520917,783\omega - 7734389,949; \quad (6)$$

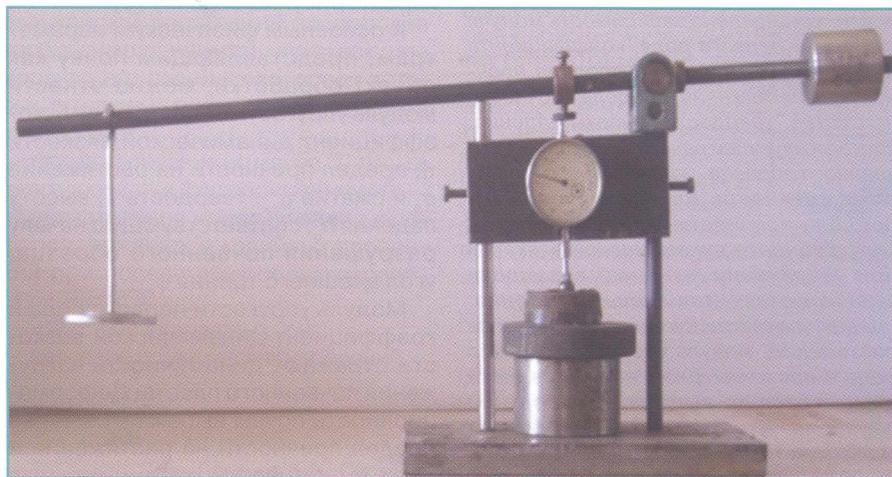


Рис. 4. Установка Цытовича – Файнциммера.

коэффициент динамической вязкости ( $R^2 = 0,936$ )

$$\eta = 5627,569 \times \omega^2 - 722124,877 \times \omega + 1,598 \times 10^7;$$

высота падения, соответствующая началу разрушения почвенного образца ( $R^2 = 0,72$ )

$$h_p = 0,32 \times \omega^2 - 11,549 \times \omega + 153. \quad (8)$$

Результаты расчета величин удельной потенциальной энергии разрушения при равновесной плотности  $\rho = 1,55 \text{ г/см}^3$  показали, что минимальная величина этого показателя достигается при абсолютной влажности суглинистой почвы 18 %, максимальная – 15 и 23 % (см. табл.). Область минимальных значений удельной потенциальной энергии разрушения соотносится с состоянием почвы «физическая спелость» [13].

**Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц при равновесной плотности  $\rho = 1,55 \text{ г/см}^3$**

Влажность суглинистой почвы, %	Высота разрушения почвенных частиц, м	Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц, Дж/м <sup>3</sup>
15	0,51	7891
16	0,50	7643
17	0,49	7492
18	0,48	7439
19	0,49	7483
20	0,50	7625
21	0,51	7864
22	0,54	8201
23	0,56	8636

**Выводы.** В границах физической спелости суглинистой почвы величины твёрдости, предела прочности почвы на сжатие, коэффициента динамической вязкости уменьшаются при увеличении значений абсолютной влажности.

Угол внешнего трения, предел прочности почвы на растяжение, модуль упругости первого рода в пределах физической спелости изменяются по выпуклой квадратной параболе. Эти параметры принимают максимум при величине абсолютной влажности 18, 14 и 15,09 %, соответственно. Такую тенденцию мы связываем с преобладающей ролью плотносвязанной и рыхлосвязанной воды, которая повышает упругость межагрегатных связей.

Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц изменяется по вогнутой параболической зависимости. Минимальное значение величины этого показателя соответствует абсолютной влажности суглинистой почвы 18 %, максимальные – 15 и 23 %. Область минимальных значений удельной потенциальной энергии разрушения соответствует состоянию почвы «физическая спелость».

## Литература.

1. Влияние способов обработки почвы на перераспределение радионуклидов по профилю почвы / Н.М. Белоус, Ф.В. Моисеенко, В.Ф. Шаповалов, М.А. Духанин, А.Н. Пиргунов // Повышение плодородия и продуктивности песчаных почв: труды Новозыбковского филиала ВИАУ. Брянск: Изд-во БГПУ, 1996. Вып. VI. С. 151–154.

2. Мальцев В.Ф., Ториков В.Е., Малякво Г.П. Оценка технологий возделывания озимой ржи по энерго- и ресурсосберегаемости // Зерновые культуры. 1999. № 1. С. 31.

3. Особенности разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий возделывания полевых культур с целью получения экологически безопасной продукции / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, В.Ф. Мальцев, О.В. Мельникова // Социально-экономические проблемы и перспективы развития пострадавших территорий: материалы международной научно-практической конференции «Чернобыль – 20 лет спустя». Брянск: ГУП Клиновская городская типография, 2005. С. 21–23.

4. Михальченко А.М., Ториков В.Е., Лабух В.М. Способ подготовки почвы под картофель / патент на изобретение RU 2383122 24.03.2008

5. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Физические аспекты суглинистой почвы: монография. Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2015. 93 с.

6. Некоторые структурные и агрофизические свойства почв крестьянско-фермерского хозяйства «Дунин М.Е.» / Г.В. Чекин, Е.В. Мартынова, Н.П. Старовойтова, С.И. Старовойтова, Н.Н. Чемисов // Вестник Брянской ГСХА. 2013. №5. С. 6–10.

7. Моисеенко Ф.В., Белоус Н.М. Влияние длительного применения удобрений на физические свойства дерново-подзолистой песчаной почвы // Почвоведение. 1997. № 11. С. 1310–1312.

8. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники

9. Улитин В.В. Определение коэффициентов трения скольжения на установке ТММ-32А: методические указания. Ленинград: Изд-во ЛТИ им. Ленсовета, 1980. 16 с.

10. ГОСТ 21153.3-85 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении (с Изменением N 1)

11. Кушнерёв А.С. К методике определения модулей упругости и сдвига почвы // Сб. науч. тр. Мелитопольского института механизации сельского хозяйства. Мелитополь, 1971. С. 3.

12. Миронов В.А., Галкин Н.Н. Определение физико-механических свойств грунтов при проектировании оснований зданий и сооружений: пособие к лабораторным работам. Тверь: Изд-во Тверского государственного технического университета, 2006. С. 31.

13. К условию начала процесса крошения пласта при содержании почвы под черным паром / С.И. Старовойтов, Н.П. Старовойтова, В.Н. Блохин, Н.Н. Чемисов // Плодоводство и ягодоводство России: сборник научных работ. М., 2012. Т. XXIX. Ч. 2.

## About Physical Properties of Loamy Soil

V.E. Torikov, S.I. Starovoytov, N.N. Chemisov

Bryansk State Agrarian University, ul. Sovetskaya 2a, s. Kokino, Vygonichskii r-n, Bryanskaya obl., 243365, Russian Federation

**Summary.** The main physical properties of soil as an object of cultivation are the modulus of elongation, the coefficient of dynamic viscosity, ultimate compression and tensile strength, hardness, the depth of fall corresponding to the beginning of fracture of a soil sample and the angle of external friction. The soil hardness was determined with the diagram hardness testing instrument of Yu.Yu. Revyakin. The installation TMM-32A and the strain gauge ITTs-03 were used to determine the coefficient of external friction of loamy soil. The ultimate compression and tensile strength were estimated with a strain-gauge ring and PM-0.5 installation. The modulus of elongation was determined with the installation of A.S. Kushnarev; the coefficient of dynamic viscosity was investigated using the installation of Tsytoich and Faintsimmer. The depth of fall corresponding to the beginning of fracture of the soil sample was estimated when impacting the soil lump with a metal surface. The dependence of the modulus of elongation, the coefficient of dynamic viscosity, ultimate compression and tensile strength, hardness, depth of fall corresponding to the beginning of fracture of the soil sample, the angle of external friction of the loamy soil on the value of its absolute humidity was established. The values of soil hardness, the tensile compressive strength of soil, the dynamic viscosity decrease when the soil humidity increases. The angle of friction, ultimate tensile strength, modulus of elongation within the limits of physical maturity is changing according to a square convex parabola. These parameters take a maximum value at the absolute humidity of 18.00, 14.00, and 15.09 %, respectively. This trend is attributed to the dominant role of densely bound and loosely bound water, which increases the elasticity of the inter-aggregate bonds. The specific potential energy of destruction of soil particles varies on the concave parabolic dependence. The minimum value of the specific energy corresponds to the absolute humidity of loam soil of 20 %, the maximal one – of 15 % and 23 %. The area of minimal values of specific potential energy of destruction is related to the state of “physical maturity” of the soil.

**Keywords:** angle of external friction, modulus of elongation, coefficient of dynamic viscosity, hardness, ultimate compression soil strength, ultimate tensile soil strength, depth of fall corresponding to the beginning of fracture of the soil sample.

**Author Details:** V.E. Torikov, D. Sc. (Agr.), prof. (e-mail: torikov@bgsha.com); S.I. Starovoytov, Cand. Sc. (Tech.), assoc. prof.; N.N. Chemisov, post graduate student

**For citation:** Torikov V.E., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. About Physical Properties of Loamy Soil. Zemledelie. 2016. No.8. Pp. 19-21 (in Russ.)