

УДК 631.431

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ПОНЯТТЯ «ТВЕРДІСТЬ АГРОГРУНТУ»

В. В. Смільський, к.т.н., доцент,

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка

О. В. Сидорчук, д.т.н., професор, член-кореспондент НААНУ

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України

РЕЗЮМЕ

Мета. Уточнити фізичний зміст поняття «твердість» для ґрунтів агрономічного призначення за оперативного моніторингу їх стану.

Методи: Системний аналіз, використано для узагальнення літературної інформації, дедукцію застосовано для з'ясування складових твердості ґрунту за оперативного її вимірювання, найменших квадратів використано для встановлення рівняння регресії між глибиною занурення конуса та опором ґрунту.

Результати. З'ясовано, що опір вдавленню індентора складається з трьох складових – опору пружній деформації, опору пластичній деформації, та сили тертя в контактні взаємодіючих тіл. В основу класичного методу визначення твердості закладено ідею, що її параметром є геометрична характеристика: діаметр, або площа залишкового сліду індентора. Твердість агроґрунту залежить від його фізичного стану, зокрема вологості, а тому є інтегральним показником, який виражає комплекс його фізичних властивостей. На основі експериментальних даних отримано числове значення «істинної твердості» ґрунту, яка може вважатися константою матеріалу, оскільки

відображає тільки одну його властивість, на відміну від загальноприйнятих характеристик, що враховують аспекти пружного та пластичного деформування. Методика оцінювання твердості може бути застосована для будь-яких матеріалів.

Висновки. Агроґрунт, як об'єкт фізико-механічних трансформацій під дією навантажень, в багатьох аспектах не схожий на конструкційні матеріали, тому класичний термін «твердість» не є його властивістю, а лише характеризує процес занурення в його індентора.

Фізичний аспект твердості агроґрунтів полягає в тому, що опір заглибленню індентора створюється силами взаємодії між елементарними мінеральними частками, а деформація проявляється в руйнуванні та переміщенні агрегатів і окремих часток.

Механічні властивості агроґрунту залежать від його фізичного стану в момент їх визначення, тому числові значення твердості не можуть в принципі характеризувати його без зв'язку з умовами, у яких вимірюється властивість.

Ключові слова: ґрунт, істинна твердість, проблема, метод, деформація.

UDC 631.431

PHYSICAL ASPECTS OF THE CONCEPT OF "SOIL HARDNESS"

V. V. Smilskyy, Ph.D., Associate Professor,

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

O. V. Sydoruk, Dr. Sc., Deputy Director of Research, Corr. NAAS

National Scientific Centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification"

RESUME

The purpose. Clarify the physical concept of "hardness" for soil agronomy for the purpose of operational monitoring their condition.

Methods: Systematic analysis is used to summarize literature information deduction applied to determine the hardness components of soil for rapid measurement of least squares is used to establish the regression equation between the depth of immersion cone resistance and soil.

Results. It was found that the resistance indentation indenter consists of three components - the resistance of the elastic deformation, plastic deformation resistance and friction forces in the contact interacting bodies. The basis of the classical method of determination on the idea that the value is a geometric characteristics, diameter, area or remaining trace of the indenter. Soil hardness depends on his physical condition, including moisture, and therefore is an integral indicator that expresses the range of its

physical properties. Based on experimental data obtained numerical value of "true hardness" of soil that can be considered constant material as it reflects only one property, unlike conventional characteristics, taking into account aspects of elastic and plastic deformation. Evaluation Methods rigidity can be applied to any material.

Conclusions. Soil as an object of physical and mechanical transformations under stress, in many respects, not like construction materials as a classic term "hardness" is not its property, but only describes the process of immersion in his indenter.

The physical aspect soil Hardness is the resistance created by the indenter deepening interaction between elementary particles of mineral and deformation evident in the destruction and displacement of individual particles and aggregates.

Mechanical properties soil depend on his physical condition at the time of identification, including hardness values can not characterize it in principle without regard to the conditions in which the measured property.

Keywords: soil, true hardness, problem, a method, deformation.

УДК 631.431

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОНЯТИЯ «ТВЕРДОСТЬ АГРОПОЧВЫ»

В. В. Смильський, к.т.н., доцент,

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка

А. В. Сидорчук, д.т.н., профессор, член-корреспондент УААН

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН Украины

РЕЗЮМЕ

Цель. Уточнить физический смысл понятия «твердость» для почв агрономического назначения по оперативном мониторинге их состояния.

Методы: Системный анализ, использовано для обобщения литературной информации, дедукции применен для выяснения составляющих твердости почвы при оперативном ее измерения, наименьших квадратов использовано для установления уравнения регрессии между глубиной погружения конуса и сопротивлением грунта.

Результаты. Установлено, что сопротивление вдавливанию индентора состоит из трех составляющих - сопротивления упругой деформации, сопротивления пластической деформации, и силы трения в контакте взаимодействующих тел. В основу классического метода определения твердости заложена идея, что значение является геометрическая характеристика: диаметр, или площадь остаточного следа индентора. Твердость агропочвы зависит от его физического состояния, в частности влажности, а потому является интегральным показателем, который выражает комплекс его физических свойств. На основе экспериментальных данных получено числовое значение «истинной твердости» почвы, которая может считаться константой материала, поскольку

отражает только одну его свойство, в отличие от общепринятых характеристик, учитывающих аспекты упругого и пластического деформирования. Методика оценки твердости может быть применена для любых материалов.

Выводы. Агропочва, как объект физико-механических трансформаций под действием нагрузок, во многих аспектах не похож на конструкционные материалы, поэтому классический термин «твердость» не является его свойством, а лишь характеризует процесс погружения в его индентора.

Физический аспект твердости агропочв заключается в том, что сопротивление углублению индентора создается силами взаимодействия между элементарными минеральными частицами, а деформация проявляется в разрушении и перемещении агрегатов и отдельных частиц.

Механические свойства агропочвы зависят от его физического состояния в момент их определения, поэтому числовые значения твердости не могут в принципе характеризовать его без связи с условиями, в которых измеряемое свойство.

Ключевые слова: почва, истинная твердость, проблема, метод, деформация.

ПРОБЛЕМА

Твердість ґрунту є важливою, та суперечливою агротехнічною характеристикою поля. З одного боку тверда опорна поверхня сприяє проїзду машинно-трак-

торного агрегату, а з іншого – чинить механічний опір робочим органам землеробських знарядь, та розвитку коріння рослин [1,2,3,4,5]. Проте, незважаючи на загальне визнання практичної цінності, та

історичну давність вивчення цієї характеристики, термін «твердість» не має точного фізичного змісту, а отримувани різними методами результати непорівнянні між собою [2,3,4,5]. Зважаючи на популярність показника «твердість агрогрунту» в землеробській механіці, та ґрунтознавстві, необхідно з'ясувати його фізичний зміст, усунути невизначеність та багатозначність його трактування [1,4].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Метод вимірювання твердості матеріалів зародився 150 років тому, коли німецький фізик Генріх Герц розв'язав задачу про контакт двох пружних тіл з викривленими поверхнями. Мірою твердості він приймав граничний тиск, що відповідає початку пластичної деформації від вдавлювання твердої кулі в поверхню досліджуваного тіла [7,8]. Сьогодні, залежно від форми індентора, розрізняють декілька способів оцінювання твердості матеріалів – Роквелла, Віккерса, Брінелля, але суть їх однакова: залежність площі поверхні, або об'єму вдавненої в матеріал частини індентора від прикладеного зусилля, тобто це скоріше геометрична характеристика процесу ніж механічна властивість матеріалу. Зараз використовують метод кінетичної твердості (безперервного індентування), який ґрунтується на синхронній реєстрації сили вдавлювання індентора та його заглиблення в матеріал (діаграми «навантаження – заглиблення») [7,8]. Цей метод використовують в аграрній практиці, але інденторами служать плоскі круглі штампи діаметром 20-300 мм [1,2,3,4,5,6]. У всіх експериментах з ґрунтами виявлено, що при рівному тиску штампи більшого розміру осідають нижче, тобто проявляється масштабний ефект. Наприклад, В. Н. Буромський на торф'яно-болотному ґрунті виявив, що в міру видовження штампа від круглого до прямокутного зі співвідношенням сторін 1:8, результати різнилися майже в два рази [2]. Велику серію дослідів з круглими штампам діаметром від 40 до 170 мм на мінеральних ґрунтах різного фізичного стану та щільності

провів С. С. Саакян. Він отримав неоднозначні залежності їх занурення від діаметра штампа [3]. Аналогічні результати отримали інші дослідники [4,5,6]. За довгий період розвитку методів кількісного оцінювання твердості в спеціалізованій літературі описано багато його методів, але у всіх випадках сповідувалася одна й та ж ідеологія зведена в ранг парадигми – залежність тиску від глибини занурення штампа. Ситуація, що склалася в аграрній сфері науки та практики вимагає розширення спектру відповідних досліджень для уточнення змісту поняття «твердість агроґрунтів».

Головним джерелом помилок у дослідженнях твердості агроґрунтів є надмірна увага, що приділяється пошуку правильної відповіді, замість того, щоб поставити правильне запитання. Дослідники зосереджені на практичному результаті, а не на суті механізмів, що лежать в основі явища. Вони шукають рівняння, не звертаючи увагу на фізичну сутність явища, та не ставлять завданням виявлення причинно-наслідкових зв'язків між вимірюваними величинами. В результаті показник твердості відображає властивість аналітичного опису процесу заглиблення штампа, але не властивість матеріалу. Ігнорування сили тертя в контакті індентора з поверхнею деталі є однією з головних причин того, що спроби узагальнень результатів дослідів виявляються безуспішними. Ще один недолік полягає в тому, що первинною інформацією експерименту є глибина занурення індентора, яка не являється силовою характеристикою, а є чисто геометричним параметром, який нічого не стверджує про матеріальний світ, а тому не може відображати фізико-механічний сенс поняття твердість. Опір вдавлюванню індентора чинить не поверхня контакту, а складне поле напружень в деякому об'ємі матеріалу, який ми не можемо визначити. Більше того, класичне поняття «твердість» для агроґрунту не має фізичного сенсу. Агроґрунти являють собою композицію декількох речовин, для яких поняття твердість не притаманне. Гумус і вода не є твердими матеріалами, а входять до складу ґрунту як доповнення, що змінюють

його властивості. Зважаючи на склад агрогрунту, його тіло слід визначити як конструкцію, що складається з деталей (часток), які скріплені клейкою речовиною, а кількість їх контактів, що чинять опір вдавлюванню індентора залежить від об'єму ґрунту, що приймає участь у процесі. Процес занурення штампа супроводжується руйнуванням структури ґрунту з випиранням та ущільненням деякого об'єму. Зрозуміло, що з одного матеріалу можуть бути склеєні різні конструкції, які будуть мати різні механічні властивості. Основні види деформації твердих матеріалів тут проявляються мало, оскільки структура ґрунту руйнується крихко, без вираженої пластичної деформації. Видається очевидним, що класичний термін «твердість» для ґрунтів агрономічного призначення залишається неповно функціональним, тому основне завдання даної статті – прояснити це поняття, і дати йому визначення. Виходячи з викладеного вище аналізу, визначення фізичної сутності терміну «твердість агроґрунтів» є актуальною науковою проблемою.

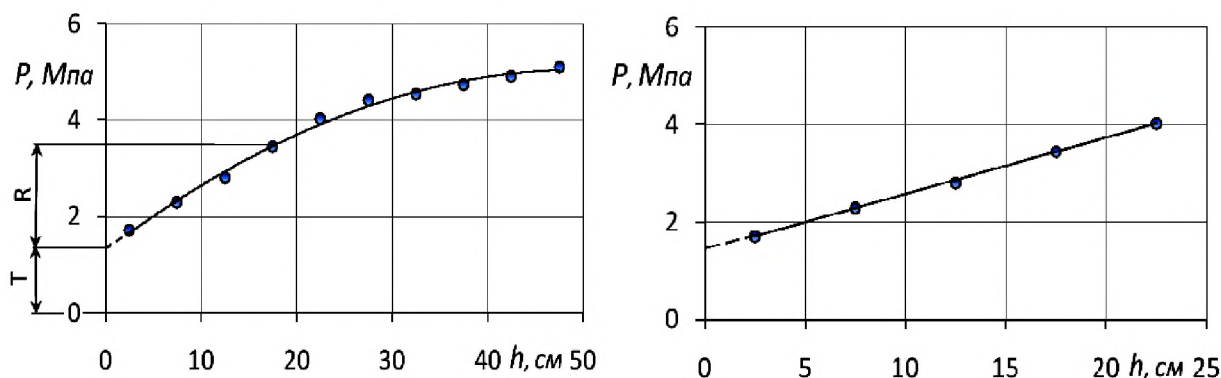
Мета статті. Уточнення фізичного змісту поняття «твердість» для ґрунтів агрономічного призначення за оперативного моніторингу їх стану.

Результати досліджень та їх обговорення. Центральну роль в організації наукових досліджень відіграє процес формування наукового поняття, яке визначається спеціальними словами – термінами, які повинні чітко та однозначно відображати професійну наукову інформацію [9,10]. Тому першим кроком до більш досконалої організації досліджень, та наукового розв'язання проблеми твердості агроґрунту повинно стати визначення терміну, який має точно відображати його зміст [9]. На рівні повсякденного, буденного пізнання предметів твердість матеріалу означає його стійкість проти деформування: пластилін легко деформується під натиском пальця руки, а тому називається м'яким, а камінь твердий тому, що деформувати пальцем його неможливо. У сучасних тлумачних словниках етимологія терміну «твердість» базується на постійності стану, сталості певних параметрів і трак-

тується як стійкість проти чогось. Отже, «твердість» – характеристика, що характеризує міцність. Відгук матеріалу на зовнішню дію після подолання межі твердості відображає здатність ґрунту чинити опір руйнуванню, тому більш об'єктивними термінами для процесу будуть «пенетрація», або «зондування». Кінетична твердість ґрунту фізично подібна опору зондуванню, який відображає деяку усереднену здатність матеріалу чинити опір руйнуванню, та дозволяє оцінювати їх оброблюваність, але не може вважатися способом визначення твердості. Звідси виходить, що визначення твердості Г. Герца – «граничне напруження в момент переходу від пружних деформацій до пластичних», є найбільш точним і таким, що повною мірою розкриває сутність поняття «твердість» і повинно бути звільнено від додаткових явищ.

Для ілюстрації пропонованого підходу до вирішення даної проблеми в [11] запозичені результати вдавлювання конуса поперечним перерізом 1 см^2 . Досліди проводилися на 100 дотичних ділянках розміром $2 \times 2 \text{ м}$. У межах кожної ділянки досліди проводилися в одноразовій повторності. Таким чином 100 вимірів твердості цілком засвідчують репрезентативність показника твердості. Автори відмічають, що в горизонті 5-10 см спостерігається достовірна відмінність його значень від нормальності, а в нижніх розподіл в межах вивченого полігону описується нормальним законом. На рис. 1 показані графічні залежності опору ґрунту від глибини занурення конуса: зліва показана повна діаграма, а справа – її лінійна частина. Графік описується рівнянням: $T = -0,001 \cdot h^2 + 0,15 \cdot h + 1,29$, $R^2 = 0,99$. Звідси $T = 1,29 \text{ МПа}$.

Опір ґрунту до початку занурення штампа відображає властивість матеріалу відносно даного виду та способу дії на нього, тому ми називаємо його істинною твердістю T . Опір зондуванню R відображає ефекти в матеріалі, які виникають в ньому, наприклад – міцність, та фрикційні характеристики, та зростає в міру заглиблення індентора. Цей показник характеризує придатність матеріалу до технологічних дій, і може бути використаний для проектування технологічних процесів обробітку ґрунту.



Залежність опору ґрунту від глибини занурення конуса: Зліва – повна діаграма, справа – лінійна частина діаграми

The dependence of the resistance of soil depth immersion cone Left - complete diagram, right - the linear part of the chart

Висновки

Агроґрунт, як об'єкт фізико-механічних трансформацій під дією навантажень, в багатьох аспектах не схожий на конструкційні матеріали, тому класичний термін «твердість» не є його властивістю, а лише характеризує процес занурення в його індентора.

Фізичний аспект твердості агроґрунтів полягає в тому, що опір заглибленню інден-

тора створюється силами взаємодії між елементарними мінеральними частками, а деформація проявляється в руйнуванні та переміщенні агрегатів і окремих часток.

Механічні властивості агроґрунту залежать від його фізичного стану в момент їх визначення, тому числові значення твердості не можуть в принципі характеризувати його без зв'язку з умовами, у яких вимірюється властивість.

Бібліографія

1. Медведєв В.В. Твердость почв / В.В. Медведєв. - Харків: КП «Друкарня №13», 2009. - 152 с.
2. Буромский В. Н. Снятие и обработка плотномерных диаграмм / В.Н. Буромский. // Земледельческая механика. Изд. с-х литер. и плакатов. - 1961. - С. 61-70.
3. Саакян С. С. Взаимодействие ведомого колеса и почвы / С.С. Саакян. - Ереван: изд. МСХ Арм. ССР, 1959. - 240 с.
4. Шаров Н. М. Анализ характеристик почвы, получаемых с помощью плотномера при полевых испытаниях сельскохозяйственных агрегатов / Н.М. Шаров. // Доклады МИИСП. - 1971. - С. 289-298.
5. Горохов П. В. Некоторые аспекты понятия «твердость почвы» применительно к исследованию процесса рыхления / П.В.Горохов. // Почвоведение. - 1990. - С. 56-66.
6. Мацепуро В. М. О понятии «твёрдость почвы» / В.М. Мацепуро. // Научно-технический бюллетень ВИМ. - 1982. - С. 21-24.
7. Григорович В. К. Твердость и микро-твердость / В. К. Григорович. - Москва: Наука, 1970. - 230 с.
8. Мощенко В.И. Современная классификация методов определения твердости / В. И. Мощенко // Автомобильный транспорт. вып. 26. - 2010. - С. 129-132.
9. Ліпінська А. В. Науково-технічна термінологія. Навч. посіб. для дистанційного навчання / А. В. Ліпінська. - Київ: Університет «Україна», 2007. - 219 с.
10. Полтавська О. М. Вивчення української мови (за професійним спрямуванням): теоретичний і практичний аспекти: Навч. посібн. / О. М. Полтавська. - Алчевськ: - ДонДТУ, 2009. - 189 с.
11. Кунах А. Н. Экологический аспект твердости почвы в пристенной дубраве / А. Н. Кунах, А. А. Балдин // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. - 2011. - Вип. 19, т. 1. - С. 65-74.

References

1. Medvedev V.V. Tverdost pochvy / V.V. Medvedev - Kharkiv: KP «Drukarnia №13», 2009. - 152 s.
2. Buromskiy V. N. Sniatye y obrabotka plotnomernykh dyahramm / V.N. Buromskiy // Zemledelcheskaia mekhanyka. Yzd. s-kh lyter. y plakatov. - 1961. - S. 61-70.
3. Saakian S. S. Vzaymodeistviye vedomoho kolea y pochvy / S.S. Saakian. - Erevan: yzd. MSKh Arm. SSR, 1959. - 240 s.
4. Sharov N.M. Analiz kharakterystyk pochvy, poluchaemykh s pomoshchiu plotnometra pry polevykh yspytaniyakh selskokhoziaistvennykh ahreatov / N.M. Sharov // Doklady MYYSP. - 1971. - S. 289-298.
5. Horokhov P. V. Nekotorye aspekty ponyatiya «tverdost pochvy» prymenytelno k yssledovaniyu protsessa rykhleniya / P.V. Horokhov // Pochvovedeniye. - 1990. - S. 56-66.
6. Matsepuro V. M. O ponyatiy «tverdost pochvy» / V.M. Matsepuro. // Nauchno-tekhnycheskiy biulleten VYM. - 1982. - S. 21-24.
7. Hryhorovych V. K. Tverdost y mykrotverdost / V.K. Hryhorovych. - Moskva: Nauka, 1970. - 230 s.
8. Moshchenok V.Y. Sovremennaya klassyfykatsiya metodov opredeleniya tverdosti / V. Y. Moshchenok // Avtomobylnyi transport. vyp. 26. - 2010. - S. 129-132.
9. Lipinska A. V. Naukovo-tekhnichna terminolohiia. Navch. posib. dlia dystantsiinoho navchannia / A. V. Lipinska. - Kyiv: Universytet «Ukraina», 2007. - 219 s.
10. Poltavska O. M. Vyvchennia ukrainskoi movy (za profesiinym spriamuvanniam): teoretychnyi i praktychnyi aspekty: Navch. posibn. / O. M. Poltavska. - Alchevsk: - DonDTU, 2009. - 189 s.
11. Kunakh A. N. Ekolohycheskyi aspekt tverdosti pochvy v prystennoi dubrave / A. N. Kunakh, A. A. Baldyn // Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia. - 2011. - Vyp. 19, T. 1. - S. 65-74.

References

1. Medvedev V.V. The hardness of the soil / V.V. Medvedev - Kharkiv: KP "Drukarnya №13», 2009. - 152 p.
2. Buromskiy V. N. Removal and treatment of tight dimensional diagrams / V.N. Buromskiy // Agricultural Mechanics. Ed. with x-liter. and posters. - 1961. - P. 61-70.
3. Saakian S.S. Driven wheel interaction and soil / S.S. Saakian. - Yerevan: Vol. MA Arm. SSR, 1959. - 240 p.
4. Sharov N.M. Analysis of soil characteristics, obtained by the densitometer in field trials of agricultural machines / N.M. Sharov // Reports MIISP. - 1971. - P. 289-298.
5. Horokhov P.V. Some aspects of the concept of "the hardness of the soil" in relation to the investigation of loosening / P.V. Horokhov // Soil science. - 1990. - P. 56-66.
6. Matsepuro V.M. On the concept of "soil hardness" / V.M. Matsepuro // Scientific and technical bulletin VIM. - 1982. - P. 21-24.
7. Hryhorovych V.K. Hardness and micro-hardness / V.K. Hryhorovych. - Moscow: Science, 1970. - 230 p.
8. Moshchenok V.Y. Modern classification methods for determining hardness / V.Y. Moshchenok // Road Transport. Vol. 26. - 2010. - P. 129-132.
9. Lipinska A.V. Scientific and technical terminology. Teach. guidances. distance learning / A.V. Lipinska. - Kyiv University "Ukraine", 2007. - 219 p.
10. Poltavska O.M. Ukrainian language (for professional purposes): theoretical and practical aspects: Training. book / O.M. Poltavska.. - Alchevsk: - DonNTU, 2009. - 189 p.
11. Kunakh A.N. Environmental aspect of the hardness of the soil in the wall oak/A.N. Kunakh, A.A. Baldyn // Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology. - 2011. - Vol. 19, V. 1. - P. 65-74.