

5. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya.P., Marchenko O.S., Tekushev A. Kh., Akhalaya B. Kh., Fedyunin V.V., Uyanayev Yu. Kh., Mnatsakanyan A.L. Kombinirovannyi agregat dlya podseva trav v derninu senokosov i pastbishch [Combined unit for undersowing grasses in turf of hayfields and pastures: Patent for an invention RUS261460727.11.2015].

6. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya.P., Marchenko O.S., Tekushev A. Kh., Akhalaya B. Kh., Fedyunin V.V. Kombinirovannyi agregat polosnogo poseva trav [Combined unit of strip grass undersowing]: Patent for a utility model RUS16954605.10.2015.

7. Izmaylov A. Yu., Marchenko O.S., Tekushev A.KH., Akhalaya B.KHh., Fedyunin V.V., Uyanayev Yu. Kh., Mnatsakanyan A.L. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya v kormoproizvodstve seriynykh blochno-modul'nykh mashin na baze universal'nogo energosredstva UES-250 [Assessment of the efficiency of utilization in forage production of serial modular machines based on the universal power unit UES-250]. In: *Intelle-*

ktual'nyye mashinnyye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva, 2015. Pp. 319-322. (in Rus.)

8. Marchenko O.S. O Rossiysko-Belorussoy programme sozdaniya unikal'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na baze vysvobozhdayemogo universal'nogo energosredstva (UES) [On the Russian-Belorussian program of developing unique agricultural machinery on the basis of the universal power unit (UPU)]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2008. No. 4. Pp. 35-44. (in Rus.)*

9. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskiy Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. *SAE Technical papers. 2015. Pp. 1-4.*

The paper was received on November 13, 2017

УДК 631.31.004.1

DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-28-34

ЛЕВШИН АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: alev200151@rambler.ru

ЕРОХИН МИХАИЛ НИКИТЬЕВИЧ, академик РАН, докт. техн. наук, профессор

E-mail: er.mihn@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОРМИРОВАННОЙ ШКАЛЫ ТВЕРДОСТИ ПОЧВЫ

Основы земледельческой механики, созданные В.П. Горячкиным, базируются на объективных характеристиках объекта исследования. Несмотря на многочисленные исследования физико-механических свойств почв, проведенные отечественными и зарубежными учеными, и созданные приборы, отличающиеся принципами силового воздействия, размерами и геометрической формой деформаторов, в настоящее время нет общепринятой методики и соответственно единой шкалы твердости почвы. Цель исследования заключается в обоснованном выборе методики оценки деформативных свойств почвы, инвариантной к средствам измерения и параметрам деформатора, позволяющей построить нормированную шкалу твердости почвы. Приведенная методика оценки твердости почвы основана на фундаментальных положениях теории упругости и теории подобия, инвариантна к средствам измерения и геометрическим размерам круглого плоского штампа. Относительная погрешность показателя твердости почвы, полученная в ходе экспериментальной проверки рассматриваемой методики, в условиях машиноиспытательных станций не превышала 3% и подтвердила большую вариативную устойчивость показателя по сравнению с действующей методикой по ГОСТ 20915-2011. Коэффициент вариации твердости находился в интервале 5,7...14,2%, что существенно меньше по сравнению с действующей методикой – 21,8...54,8%. Предлагаемая методика позволяет однозначно идентифицировать механические свойства почвы, получать сопоставимые данные и рекомендуется в качестве научно-методической основы для формирования нормированной шкалы твердости почвы.

Ключевые слова: земледельческая механика, методика оценки физико-механических свойств почвы, подобные состояния деформируемого слоя, шкала твердости почвы.

Введение. При создании теоретических основ земледельческой механики В.П. Горячкин особое внимание уделял анализу физических свойств почвы, и в частности связности почвы. В анализе он отмечал: «принятые в почвоведении способы определения связи между частицами почвы, приборы, служащие для определения связности, и, наконец, терминология, установившаяся для этой цели, крайне несовершенны». Далее отмечал необходимость при изучении связности почвы устоявшиеся в почвоведении термины заменить общепринятыми в технике. В основу считал необходимым заложить теорию О. Мора о разрушении материалов. Помимо неудачной терминологии, В.П. Горячкин акцентировал внимание на отсутствии объективных систематизированных данных о связности почвы, несмотря на обилие экспериментальных данных и большое количество различных приборов [1].

Во всех научных работах В.П. Горячкин отмечал необходимость получения достоверных («заслуживающих доверия») фактов с помощью простейших, но основанных на строгом соблюдении принципов механики средств эксперимента. Для объективной оценки машин им создано более 30 оригинальных приборов и приспособлений, предназначенных для испытаний разных видов сельскохозяйственной техники [2].

По аналогии с оценкой твердости металла В.П. Горячкин для оценки связности (в смысле твердости) предложил использовать метод штамповых испытаний, который был заложен в конструкцию созданного твердомера.

За прошедшие 100 лет, несмотря на многочисленные исследования физико-механических свойств почвы и большое количество разработанных приборов, отличающиеся методами приложения энергии: динамические (ударные, пинеметрические), статические, сдвиговые, а также различными размерами и геометрическими формами наконечников, проблема оценки и сопоставимости данных по твердости остается нерешенной [3-6, 8, 10].

В монографии В.В. Медведева, изданной в 2009 г. по рекомендации ученого совета ИНЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского», отмечается то, что «твердость почвы (грунта) нашла широкое применение в строительном деле для контроля прочности дорог, дамб, аэродромных полос, других земляных сооружений, в инженерной геологии, но, конечно, более всего в агрономии, почвоведении и земледельческой механике. Однако до сих пор, несмотря на существенно возросший уровень измерений, определение твердости не получило широкого применения ни в агрономической практике, ни в конструировании почвообрабатывающих орудий» [4].

Цель исследования заключается в обоснованном выборе методики оценки деформативных свойств почвы, инвариантной к средствам измерения и параметрам деформатора, позволяющей построить нормированную шкалу твердости почвы.

Используемые в приборах для оценки деформативных свойств почвы наконечники разной фор-

мы (рис. 1) дают различные результаты твердости для одного и того же почвенного массива [4].

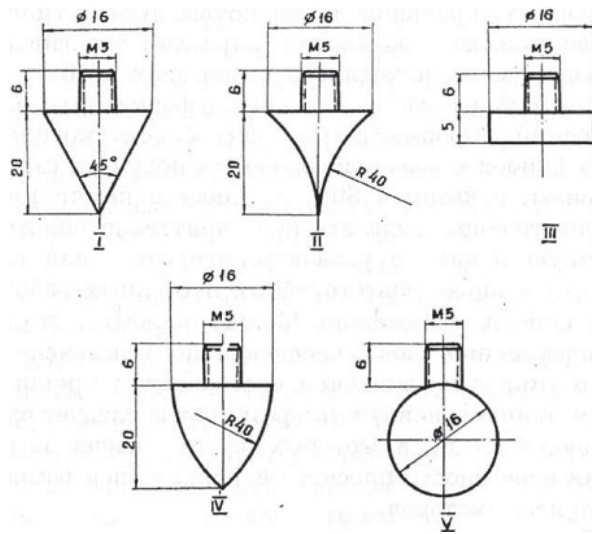


Рис. 1. Типы деформаторов: I – клиновидный; II – клиновидный вогнутый; III – плоский; IV – клиновидный выпуклый; V – шаровидный

Значения твердости, определяемые по штамповым диаграммам в соответствии с ГОСТ 20915-2011, для одного и того же фона могут быть различными при использовании круглых плоских наконечников разных диаметров для разных типов машин, требующих оценки твердости по разным почвенным горизонтам (0...5 см, 0...10 см) [11].

Закономерность физических процессов, сопровождающих резание почвы клинообразным рабочим органом, во многом аналогична картине деформации при вдавливании в почву твердого штампа. Диаграмма изменения давления и осадки грунта под штампом представлена на рисунке 2. Авторы отмечают, что при вертикальном вдавливании штампа в грунт усилие вдавливания зависит в основном от объемной деформации сжатия [5, 10].

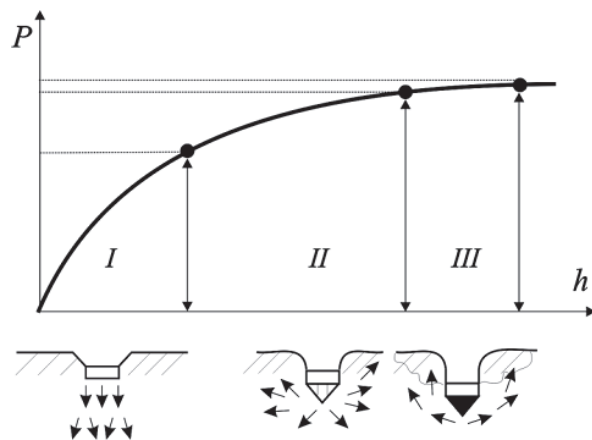


Рис. 2 Фазы давления и осадки грунта под штампом (по Н.М. Герсеванову)

В процессе погружения штампа в почву выделяют три характерных участка, соответствующих трем фазам напряженно-деформированного состояния почвогрунта. В фазе I происходит уплотнение почвогрунта: структурные агрегаты, сближаясь, опускаются вниз, вытесняя из пор водно-воздушную смесь. Происходит интенсивный рост сопротивления. В фазе I вертикальные перемещения частиц преобладают над горизонтальными. По мере дальнейшего движения штампа заканчивается формирование уплотненного ядра под штампом, которое приобретает конусообразную форму. Траектория частиц, лежащих под уплотненным ядром, все более отклоняется от вертикали: они начинают двигаться в горизонтальном направлении – наступает фаза II сдвигов почвы. При сдвиге частицы сначала выходят на свободную поверхность почвы, а затем, с увеличением глубины погружения штампа, выдавливаются в стенки массива грунта. В фазе II сопротивление вдавливанию штампа продолжает возрастать. Однако из-за возникновения сдвигов (выпирания почвы из-под штампа) интенсивность роста сопротивления падает и становится минимальной после стабилизации зоны сдвигов. После этого начинается фаза III, которая характеризуется установившимся движением частиц, при котором сопротивление растет с постоянной интенсивностью. Эта фаза соответствует образованию под штампом зоны устойчивого уплотненного ядра и области наступления предельного равновесия [3].

В многочисленных исследованиях процесса резания отмечается появление у передней грани уплотненного ядра, которое внедряется в массив и разрезает его. При углах резания, меньших 30° , у большинства грунтов ядро не образуется, и резание происходит непосредственно режущей кромкой деформатора, но при этом появляются силы трения, зависящие от свойств поверхности наконечника и самого грунта. Однако твердомеры с коническими наконечниками широко используются зарубежными учеными, что связано с оценкой возможности проникновения корней растений в почву [4], но для формирования инвариантной шкалы для оценки твердости почвы они неприемлемы.

Проведенные на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка МИИСП имени В.П. Горячкина исследования под руководством Н.М. Шарова показали, что ни один из применяемых показателей оценки механических свойств почвы не удовлетворяет метрологическим требованиям [7]. В результате исследований была обоснована методика оценки твердости почвы, инвариантная к конструкции приборов. Суть методики, предложенной Н.М. Шаровым, заключалась в следующем.

Для первой фазы упругопластической деформации почвы при малой скорости (не более $0,03 \dots 0,05$ м/с) внедрения круглого плоского штампа в почву условия подобия напряженных состояний почвы для наконечников разного диаметра, в соответствии с первой теоремой подобия, заключаются в равенстве напряжений σ и относительных деформаций ε (рис. 3) [7]:

$$\begin{aligned} \sigma_{1k} &= \sigma_{2k} = \dots = \sigma_{ik}; \\ \varepsilon_{1k} &= \varepsilon_{2k} = \dots = \varepsilon_{ik}. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом условии соблюдения геометрического подобия систем требует, чтобы отношение $\frac{h_i}{d_i}$ также оставалось постоянным [7]. Из формулы (1) следует, что для подобных состояний отношение $\delta_{ik} = \frac{\sigma_{ik}}{\varepsilon_{ik}}$ также должно быть постоянным для всего ряда значений диаметров плунжеров d_i .

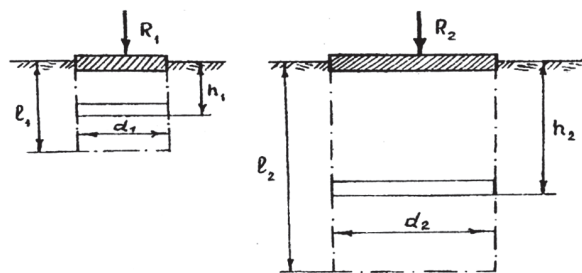


Рис. 3. Схема деформации почвы подобными штампами

Подставив в это соотношение значения напряжений σ_i и относительной деформации ε_i , с учетом обозначений, приведенных на рисунке 3, получим

$$\delta_{ik} = \frac{R_i}{\frac{\pi d_i^2}{4} \cdot \frac{h_i}{l_i}}, \quad (2)$$

где R_i – усилие, необходимое для вдавливания плунжера диаметром d_i в почву на глубину h_i .

Принимая глубину почвенного пространства, на которую воздействует штамп, пропорциональной его диаметру, т.е. $l_i = n \cdot d_i$, формула (2) примет вид

$$\delta_{ik} = \frac{R_i}{d_i h_i} \cdot \frac{4n}{\pi}. \quad (3)$$

Для всех подобных состояний системы второй сомножитель останется постоянным, и произвольное напряженное состояние будет полностью определяться значением первого сомножителя. Обозначим его буквой H :

$$H = \frac{R_i}{d_i \cdot h_i} \quad (4)$$

Для 1-й фазы погружения плунжера зависимость между R и h можно представить линейным уравнением

$$R = a_1 \cdot h \quad \text{при } 0 \leq h \leq h_1, \quad (5)$$

где a_1 – коэффициент пропорциональности, Н/см; h_1 – максимальная глубина погружения плунжера, в пределах которой наблюдается линейная зависимость.

Исследованиями Н.М. Шарова установлено, что a_1 пропорционально диаметру штампа: $a_1 = \beta \cdot d$, где β – коэффициент пропорциональности, Н/см². Тогда формула (4) примет вид

$$H = \beta \text{ при } 0 \leq h \leq h_1. \quad (6)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что для первой фазы процесса погружения плунжера величина H не зависит ни от глубины погружения, ни от диаметра плунжера. Следовательно, она однозначно оценивает процесс взаимодействия плунжера с почвой и может быть принята в качестве обобщенной шкалы механических свойств почвы. Для практического определения этого показателя достаточно замерить для начальной зоны диаграммы деформации почвы при вдавливании круглого плоского плунжера, замерить угол наклона линейного участка α (рис. 4) и значение твердости определить как отношение $\text{tg } \alpha$ к диаметру $H = \frac{\text{tg } \alpha}{d_i}$.

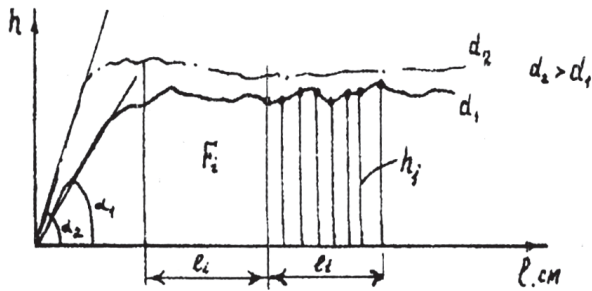


Рис. 4. Твердограмма

Для раскрытия физической сущности этого показателя автор методики рассматривал первую фазу процесса деформации с позиций теории контактных напряжений И.Я. Штаермана.

На первой фазе процесса распределение давление σ_z под основанием абсолютно жесткого круглого плоского штампа, действующего на упругое (линейнодеформируемое) полупространство, по И.Я. Штаерману описывается зависимостью [7]:

$$\sigma_z = \frac{R}{2 \cdot \pi \sqrt{a^2 - r^2}} \text{ при } 0 \leq r \leq a, \quad (7)$$

где R – усилие вдавливания плунжера; r – радиус плунжера; a – расстояние от центра до точки, в которой вычисляется давление.

На границе плунжера (при $r = a$) возникают бесконечно большие давления, однако при наличии незначительного радиуса закругления плунжера (вследствие износа или технологии изготовления) давление σ_z принимает конечную величину в зоне граничного контакта, не оказывая влияния на другие зоны пространства (рис. 5).

Перемещение плунжера h одинаково для всей поверхности. Перемещение dh элементарной площадки плунжера dH при воздействии силы dR описывается дифференциальным уравнением [7].

$$dh_0 = \frac{(1 - \mu^2) \cdot dR}{\pi \cdot E \cdot r}, \quad (8)$$

где E – модуль деформации; μ – коэффициент Пуассона; r – расстояние от точки 0 до точки приложения силы dR .

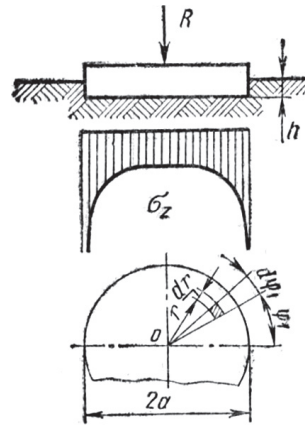


Рис. 5. Распределение давлений под плоским круглым плунжером

Подставив в (8) значение элементарной площадки (рис. 5) и выражение давления (7), в результате интегрирования было получено уравнение

$$h_0 = \frac{R(1 - \mu^2)}{2aE}. \quad (9)$$

Выделив в (9) все члены, характеризующие механические свойства почвы, в одну часть, была получена зависимость (10), соответствующая выражению (4), рекомендуемая в качестве основы для построения нормированной шкалы твердости почвы и раскрывающая физический смысл показателя:

$$\frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{R}{2ah} = H. \quad (10)$$

Данные лабораторной проверки методики показали, что относительная погрешность не превышала 3% (допустимая по ГОСТ 20915 – 5%) (табл. 1).

Экспериментальная проверка методики проводилась в Кубанском НИИ по испытанию тракторов и сельскохозяйственных машин, на Поволжской и Центральной машиноиспытательных станциях. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Приведенные данные показывают высокую устойчивость предлагаемого показателя твердости почвы по сравнению с твердостью, определяемой по ГОСТ 20915-2011. Так, коэффициент вариации по новой методике находился в диапазоне 8,7...14,2%, что существенно меньше в сравнении с показателем по ГОСТ 20915 – 21...54%.

При испытании пахотного агрегата на ПНИИС НАТИ обнаружено различие характеристик твердости для одноименных агротехнических фонов (Крастин Е.Н., табл. 3)

Таблица 1

Результаты экспериментов по определению твердости почвы плунжерами различных диаметров

Состояние почвы	Диаметр плунжера, мм	Твердость почвы, МПа	Относительная погрешность, %
Двухкратное прикатывание	14,9	0,413	1,20
	24,9	0,398	2,40
	29,9	0,415	1,43
Четырехкратное прикатывание	11,9	0,547	0,72
	14,9	0,532	1,98
	20,0	0,550	1,26
	24,9	0,543	0,00

Таблица 2

Значения твердости почвы для различных почвенно-климатических зон (для слоя 0...5 см)

Зона испытания, почвенный фон	Среднее значение твердости, МПа		Среднее квадратическое отклонение, МПа		Коэффициент вариации, %	
	по ГОСТ 20915	по новой методике	по ГОСТ 20915	по новой методике	по ГОСТ 20915	по новой методике
Центральная МИС						
1. Стерня озимой пшеницы	1,41	1,86	0,77	0,15	54,8	7,8
2. Поле, подготовленное под посев	0,10	1,24	0,03	0,18	31,3	14,2
Поволжская МИС						
Стерня озимой пшеницы	0,79	1,21	0,17	0,13	21,8	10,8
КубНИИТиМ						
1. Стерня озимой пшеницы	0,37	1,15	0,14	0,07	38,6	5,7
2. Стерня кукурузы	0,32	1,21	0,14	0,08	44,8	6,3
3. Сахарная свекла	0,47	1,31	0,20	0,10	42,9	7,9

Таблица 3

Характеристика почвенных условий при проведении экспериментов с навесным плугом ПЛН-4-35 (ПНИИС НАТИ)

Агротехнический фон	Плотность почвы, кг/см ³	Твердость почвы, МПа
1. Пар (поле 1)	1,35	0,72
2. Пар (поле 2)	1,44	0,99
3. Стерня (поле 1)	1,41	1,23
4. Стерня (поле 2)	1,40	1,66
5. Залежь	1,50	3,11

Выводы

Предлагаемая методика оценки деформативных свойств почвы инвариантна к средствам измерения и параметрам круглого плоского плунжера, дает возможность однозначно идентифицировать твердость почвы и может быть принята в качестве

научно-методической основы для построения нормированной шкалы твердости почвы, что позволит получить сопоставимые данные при исследованиях различных рабочих органов, проводимых в разных почвенно-климатических зонах и почвенных массивах.

Библиографический список

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3 томах. Т. 2. М.: Колос, 1965. 459 с.
2. Ерохин М.Н. В.П. Горячкин – выдающийся ученый, педагог (145-летию со дня рождения посвящается): Научное издание. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. 32 с.
3. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика / Пер. с англ. А.Э. Габриэляна; Под ред. и с предисл. Ю.А. Смирнова. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.
4. Медведев В.В. Твердость почв. Харьков: Изд-во КГ1 «Городская типография», 2009. 152 с.
5. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: Монография. К.: Феникс, 2008. 266 с.

6. Панов И.М., Ветохин В.И. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В.П. Горячкина // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2008. № 2. С. 9-14.

7. Шаров Н.М. Эксплуатационные свойства машинно-тракторных агрегатов. М.: Колос, 1981. 240 с.

8. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства. Мн.: Наука и техника, 1982. 272 с.

9. Левшин А.Г., Зубков В.В., Хлепотько М.Н. Организация и технология испытаний сельскохо-

зяйственной техники. Ч. 2. Оценка условий испытаний. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. 92 с.

10. Карапетян М.А. Повышение эффективности технологических процессов путем уменьшения уплотнения почв ходовыми системами сельскохозяйственных тракторов: Автореферат дис. ... докт. техн. наук. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. 50 с.

11. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094197>.

Статья поступила 14.11.2017

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL GROUNDS TO MAKE NORMALIZED SCALE OF SOIL HARDNESS

ALEKSANDER G. LEVSHIN, DSc (Eng), Professor

E-mail: alev200151@rambler.ru

MIKHAIL N. EROKHIN, Academician of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor

E-mail: er.mihn@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

Fundamentals of agricultural mechanics laid by V.P. Goryachkin are based on objective characteristics of a research object. Despite numerous studies of physical and mechanical properties of soil conducted by domestic and foreign scientists, as well as designed devices differing in the principles of force, size and geometric shape of deformers, there is currently no generally accepted methodology and accordingly a single scale of soil hardness. The purpose of the study is to substantiate the choice of a method to evaluate deformative properties of soil that is invariant to the means of measurement and the parameters of a deformer, which enables us to construct a normalized scale of soil hardness. The considered methodology for evaluating the hardness of soil is based on the fundamental principles of the theory of elasticity and the theory of similarity and is thus invariant to the means of measurement and geometric dimensions of a circular flat die. The relative error of the soil hardness index obtained during the experimental verification of the method under consideration has not exceeded 3% under the conditions of machine testing stations and confirmed the large variable stability of the indicator as compared with the current procedure carried out in accordance with GOST 20915-2011. The coefficient of hardness variation has proved to range from 5.7 to 14.2%, which is significantly less as contrasted to the current methodology, i.e. 21.8...54.8%. The proposed methodology allows unambiguous identifying the mechanical properties of soil and obtaining comparable data and is thus recommended as a scientific and methodological basis for the development of the normalized scale of soil hardness.

Key words: agricultural mechanics, methods for evaluating physical-and-mechanical properties of soil, similar conditions of the deformed layer, soil hardness scale.

References

1. Goryachkin V.P. Sobraniye sochineniy v 3 to-makh [Collected works in 3 volumes]. Vol. 2. Moscow, Kolos, 1965. 459 p. (in Rus.)

2. Yerokhin M.N. V.P. Goryachkin – vydayushchiysya uchenyy, pedagog (145-letiyu so dnya rozhdeniya posvyashchayetsya): Nauchnoye izdaniye [V.P. Goryachkin is an outstanding scientist and teacher (To the 145th anniversary of the scientist): Scientific publication]. Moscow, FGBOU VPO MGAU, 2013. 32 p. (in Rus.)

3. Kulen A., Kuipers Kh. Sovremennaya zemleled'cheskaya mekhanika [Modern agricultural mechanics]. Translated from English by A.E. Gabrielyan; Edited by and prefaced by Yu.A. Smirnov. Moscow, Agropromizdat, 1986. 349 p. (in Rus.)

4. Medvedev V.V. Tverdost' pochv [Soil hardness]. Khar'kov: Izd-vo KG1 "Gorodskaya tipografiya", 2009. 152 p. (in Rus.)

5. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv [Physical basics of soil mechanics]: Monograph. K.: Feniks, 2008. 266 p. (in Rus.)

6. Panov I.M., Vetokhin V.I. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya zemledel'cheskoy mekhaniki v svete trudov V.P. Goryachkina [The current state and prospects for the development of agricultural mechanics in the light of V.P. Goryachkin's works]. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2008. No. 2. Pp. 9-14. (in Rus.)

7. Sharov N.M. Ekspluatatsionnyye svoystva mashino-traktornykh agregatov [Operational properties of machine-tractor units]. Moscow, Kolos, 1981. 240 p. (in Rus.)

8. Perspektivnyye mobil'nyye energeticheskiye sredstva (MES) dlya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Perspective mobile power units (MPU) for agricultural production]. Mn., Nauka i tekhnika, 1982. 272 p. (in Rus.)

9. Levshin A.G., Zubkov V.V., Khlepit'ko M.N. Organizatsiya i tekhnologiya ispytaniy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Organization and technology testing

of agricultural machinery]. Part 2. Otsenka usloviy ispytaniy [Evaluation of test conditions]. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2004. 92 p. (in Rus.)

10. Karapetyan M.A. Povysheniye effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov putem umen'sheniya uplotneniya pochv khodovymi sistemami sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Increasing the efficiency of technological processes by reducing soil compaction from running systems of agricultural tractors]: Self-review of DSc (Eng) thesis. Moscow, FGOU VPO MGUP, 2010. 50 p. (in Rus.)

11. GOST 20915-2011 Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Metody opredeleniya usloviy ispytaniy [Tests of agricultural machinery. Methods for determining test conditions]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094197> (in Rus.)

The paper was received on November 14, 2017

УДК 631.354.2

DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-34-42

ЛОМАКИН СЕРГЕЙ ГЕРАСИМОВИЧ, канд. техн. наук, профессор

БЕРДЫШЕВ ВИКТОР ЕГОРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: v.berdishev@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ «РОСТСЕЛЬМАШ»

Рассмотрены отдельные показатели технического уровня двигателей зерноуборочных комбайнов, качество комплектующих изделий, универсальность, условия труда комбайнера и дизайн комбайнов, автоматизация контроля и управления, экологические показатели, в том числе параметры и нагрузки на ведущие колеса ходовой части, показатели надежности, а также экономические показатели работы зерноуборочных комбайнов. «Ростсельмаш» отдает предпочтение разработке и выпуску комбайнов III, V, VI классов. Наиболее массовый III класс представлен комбайном «Нива», созданным на его базе комбайном «Nova» и не в полной мере соответствующими этому классу по ряду технических и эксплуатационных показателей комбайнами Vector 410, 420 и 450. Комбайнов I класса, необходимых в небольших фермерских хозяйствах, а также используемых в селекции и семеноводстве, нет в семействе выпускаемых. Высокие показатели комфортности условий труда и качества комплектующих соседствуют с постепенно ухудшающимися показателями универсальности и экологичности (особенно по воздействию движителей на почву). Предлагаемые уровни комфортности на рабочем месте, а также автоматизации и компьютеризации чрезвычайно затратны и превышают необходимые потребности и возможности оператора. Повышение показателей надежности сверх обоснованного в Российской Федерации уровня (наработка на один технический отказ более 25 ч, коэффициент готовности, равный 0,95) вызывает значительный рост затрат при производстве и техническом сервисе зерноуборочных комбайнов без заметного влияния на их часовую и сезонную производительность. В соотношении цена – качество приоритет все в большей мере отдается цене («Нива» – до 3,5 млн руб.; Vector – 6,1...10,5 млн руб.; Acros – 7,6...9,2 млн руб.; Togum – 13,1...19,4 млн руб.). Дальнейшее наращивание энергонасыщенности и металлоемкости, компьютерных и электронных систем будет постоянно ухудшать экономические показатели применения зерноуборочных комбайнов и рентабельность зернопроизводства в целом.

Ключевые слова: уборка зерновых культур, зерноуборочный комбайн, пропускная способность, производительность, энергонасыщенность, материалоёмкость, надежность.