

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 631.431 (470.331)

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-27-33

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ ПОЧВЫ НА СЖАТИЕ И РАСТЯЖЕНИЕ

АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: naldoshin@yandex.ru

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ, канд. с.-х. наук, доцент²

E-mail: vasilvtgsha@mail.ru

ГОЛУБЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВИКТОРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор²

E-mail: slavasddg@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

² Тверская государственная сельскохозяйственная академия; 170904, Российская Федерация, г. Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

Важнейшим элементом конструирования почвообрабатывающих машин является оценка прочностных характеристик почв ненарушенного строения в полевых условиях. Исследованы значения пределов прочности дерново-подзолистой почвы разного гранулометрического состава на сжатие и растяжение в зависимости от абсолютной влажности и количества растительных остатков. Комплексные исследования выполнялись на базе Тверской ГСХА с помощью авторского экспериментального оборудования (патент № 46361 РФ). Установлено, что наибольшим сопротивлением к сжатию по всем категориям сельскохозяйственных угодий характеризовались почвы супесчаного гранулометрического состава, где величина прилагаемого усилия в среднем была выше относительно легкосуглинистых на 4,0...4,5 кПа (4,7...6,4%). В то же время прочность на растяжение, напротив, была выше у легкосуглинистых почв – на 0,4...0,7 кПа (5,6...11,9%). Диапазон абсолютной влажности, обеспечивающий максимальный уровень разрушающих усилий на сжатие, у легкосуглинистой почвы для пашни составил 17...21%, для многолетних трав 20...22%, для сенокоса 18...22%; у супесчаной – соответственно 17...19, 19...20, 18...21%. Диапазон абсолютной влажности, обеспечивающий максимум усилий на растяжение на легкосуглинистой почве составил для пашни 15...17, для многолетних трав 17...18, для сенокоса 18...20%; у супесчаной почвы соответственно 14...16, 17...19, 18...20%. Увеличение растягивающих сил для легкосуглинистых почв относительно пашни составляло у многолетнего травостоя 1,3 кПа (21,5%), у сенокоса 2,0 кПа (32,9%), сжимающих сил – 8,2 кПа (12,2%), 15,9 кПа (23,6%), для супесчаных соответственно – 1,4 кПа (26,5%), 2,2 кПа (40,3%) и 8,4 кПа (11,8%), 15,5 кПа (21,8%). Увеличение диапазона исходных данных по сдвиговым деформациям почвы необходимо для эффективного проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин и агрегатов.

Ключевые слова: прочность почвы на сжатие и растяжение, корневые остатки, влажность почвы, пашня, многолетние травы, сенокос, разработка почвообрабатывающих машин.

Формат цитирования: Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Исследование пределов прочности почвы на сжатие и растяжение // Агроинженерия. 2020. № 3(97). С. 27-33. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-27-33.

STUDIES ON COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF THE SOD-PODZOLIC SOIL

NIKOLAY V. ALDOSHIN, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: naldoshin@yandex.ru

ALEKSANDR S. VASILIEV, PhD (Ag), Associate Professor²

E-mail: vasilvtgsha@mail.ru

VYACHESLAV V. GOLUBEV, DSc (Eng), Professor²

E-mail: slavasddg@mail.ru

¹ Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

² Tver State Agricultural Academy; 170904, Russian Federation, Tver, Marshala Vasilevskogo Str., 7

The most important element in the design of tillage machines is the assessment of the strength characteristics of undisturbed soils in the field. The aim of the reported study was to analyze the features of forming the strength limits of sod-podzolic soil

of different granulometric composition for compression and stretching, depending on the absolute moisture content and the amount of plant residues. Complex research was carried out on the basis of Tver State Agricultural Academy using the author's experimental equipment (Patent No 46361 of the Russian Federation). It was found that the greatest resistance to compression in all categories of farmland was characterized by sandy loam soils, where the value of the applied force was on average higher than that on relatively light loamy soils by 4.0...4.5 kPa (4.7...6.4%). At the same time, the tensile strength, on the contrary, was higher in light loamy soils-by 0.4...0.7 kPa (5.6...11.9%). The ranges of absolute moisture content that provide the maximum destructive compressing forces amounted to 17...21% for light loamy soil for arable land; 20...22% for perennial grasses; 18...22% for hayfields; while for sandy loams these figures accounted for 17...19, 19...20, and 18...21%. The range of absolute moisture content, providing maximum tensile forces on loamy soil, amounted to 15...17% for arable land, 17...18% for perennial grasses, 18...20% for hayfields; in sandy loam soil, respectively, 14...16, 17...19, 18...20%, respectively. The increase in tensile forces for light loamy soils as compared to arable land was 1.3 kPa (21.5%) for perennial grass, 2.0 kPa (32.9%) for hayfield, 8.2 kPa (12.2%), 15.9 kPa (23.6%) for compressive forces, 1.4 kPa (26.5%), 2.2 kPa (40.3%) and 8.4 kPa (11.8%), 15.5 kPa (21.8%) for sandy loam, respectively. The identification of these patterns aims at expanding the original data on soil shear deformations necessary for the effective designing of working tools of tillage machines and units.

Key words: compressive and tensile strength of the soil, root residues, soil moisture, arable land, perennial grasses, hayfield, development of tillage machines.

For citation: Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Golubev V.V. Studies on compressive and tensile strength of the sod-podzolic soil // *Agricultural Engineering*, 2020; 3 (97): 27-33. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-3-27-33.

Введение. Важнейшей задачей обработки почвы является создание оптимальных условий для жизнедеятельности культурных растений [1, 2]. При этом высокую значимость имеет снижение энерго- и трудоёмкости почвообрабатывающих операций, осуществляемых в периоды наиболее рационального сочетания характеристик почвы с климатическими и технологическими факторами, при разработке новых рабочих органов сельскохозяйственных машин [3-5]. Оба из рассматриваемых путей повышения эффективности почвообработки базируются на механизме взаимодействия в системе «почва-средство воздействия». Следует учитывать, что почва представляет собой сложный комплекс структурированных агрегатов разнообразных форм, обладающих различной площадью контакта между собой, что образует когезионные свойства почвенных частиц, определяющих их связность [2-11]. Данным условием обуславливается образование в межагрегатных пространствах почвенной структуры различных пустотных вкраплений, концентрирующих в себе разные по природе напряжения и приводящих к разрушающим деформациям, выраженность которых определяется исходными свойствами почв [5, 7-13]. Наибольшим влиянием на формирование устойчивости почвы к разрушениям характеризуются влага и корневые остатки, насыщенность которыми обуславливает связность почвенных агрегатов и ограничивает предельные уровни деформирующих усилий [14]. Современное состояние научного освещения указанных вопросов выражается, как правило, в теоретическом обосновании и избирательном изучении – без использования комплексных подходов, что определяет актуальность практико-ориентированных исследований в данной области.

Цель исследований – определить значения пределов прочности дерново-подзолистой почвы разного гранулометрического состава на сжатие и растяжение в зависимости от абсолютной влажности и количества растительных остатков.

Материал и методы. Важнейшим элементом конструирования почвообрабатывающих машин является оценка прочностных характеристик почв ненарушенного строения в полевых условиях. Ценность данного условия

определяется созданием напряжённых зон в процессе взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин с почвой, при этом одна часть усилий имеет характер сжатия, а другая растяжения, кроме этого, возможно возникновение промежуточных зон, уравновешенных сжимающими и растягивающими силами. Выявление указанных показателей требует создания высокоточного приборного обеспечения и методик его использования, а также широкого натурального применения. С этой целью специалистами Тверской ГСХА было разработано устройство, позволяющее формировать образец без нарушения его естественной структуры в полевых условиях, прикладывать к нему нагрузку, фиксировать деформации и усилия с дальнейшим расчётом пределов прочности образца на сжатие и растяжение [15].

Формирование образца проводится на ненарушенном слое почвы с помощью отрезного и рабочего цилиндров. Конструкция рабочего цилиндра состоит из верхней, средней и нижней частей, что позволяет оценить как сжимающие, так и растягивающие усилия, прилагаемые к испытываемому образцу почвы.

Устройство включает основание с опорами, длина которых позволяет формировать образец высотой 70...100 мм. На основании жёстко закреплены две направляющие стойки, позволяющие строго вертикальное перемещение в начале отрезного цилиндра, а затем рабочего цилиндра. Нагрузочная плита, имеет жёстко закреплённые нажимные рукоятки, служащие для её перемещения под нагрузкой в вертикальной плоскости вниз при определении прочности почв на сжатие или вверх при определении прочности почв на растяжение, используя опорную пластину, которая фиксируется на направляющих стойках с помощью креплений.

Общий вид и схема разработанного устройства представлены на рисунке 1. Детализированный разбор в статике и динамике изложен в материалах патента на полезную модель № 46361 [15].

В устройстве применён силовой рычажно-пружинный механизм с записывающим устройством, который позволяет получить диаграмму зависимости деформации от приложенного усилия до момента разрушения образца.

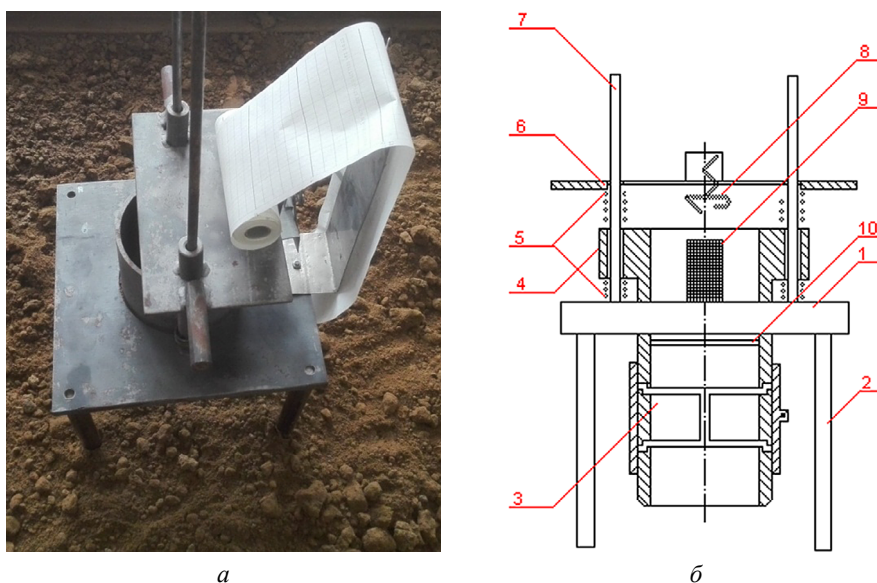


Рис. 1. Общий вид устройства (а) и схема прибора (б):
 1 – плита; 2 – вертикальные стойки; 3 – сменная форма; 4 – направляющие цилиндра;
 5 – пружины; 6 – нажимной механизм; 7 – направляющие стержни; 8 – силовой механизм;
 9 – пластина; 10 – отверстие под отрезную пластину

Fig. 1. General view of the device (a) and diagram of the device (b):
 1 – a plate; 2 – vertical racks; 3 – a replaceable form; 4 – cylinder guides; 5 – springs;
 6 – a push mechanism; 7 – guide rods; 8 – a power drive mechanism; 9 – a plate;
 10 – a hole for a cutting plate

Исследования проводились в 2016-2019 гг. на сельскохозяйственных угодьях Тверской ГСХА. Были выделены земельные участки дерново-подзолистых почв, отличающиеся по гранулометрическому составу (супесчаная и легкосуглинистая) с различными растительными покровами: 1) после уборки зерновых культур (в таблице и графиках – зерновые), 2) клеверо-тимофеечный травостой 2-го года пользования после второго укоса (многолетние травы), 3) сенокос с преобладанием малоценных видов трав и требующий поверхностного улучшения после скашивания (сенокос). Указанные категории земель были выбраны, исходя из характера землепользования Центрального Нечерноземья, где наибольшие площади заняты посевами зерновых культур, многолетних трав, кормовыми угодьями, на которых соответственно и выполняется основной комплекс почвообрабатывающих операций.

Определение структурно-агрегатного состава, плотности, задренелости и абсолютной влажности почв в опытах осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 20915-2011 [16].

Измерения пределов прочности почвы на сжатие и растяжение производили в пятикратной повторности, увязывая определения с изменениями абсолютной влажности почвы.

Результаты и обсуждение. Для полноценного анализа прочностных характеристик почвы необходимо иметь информацию о её физических свойствах и характере использования. Важнейшим свойством почвы является ее структурность, определяемая способностью формирования почвенных агрегатов. Данный процесс обладает выраженной специфичностью в зависимости от условий почвообразования и механического воздействия, что было подтверждено выполненными исследованиями структурно-агрегатного состава дерново-подзолистой

почвы разного гранулометрического состава (табл.). В частности, количество агрономически ценной фракции почвы (0,25...10 мм) существенно изменялось в зависимости от характера землепользования, выстраиваясь в возрастающий ранжированный ряд в следующей последовательности: зерновые (70,6...71,6%) – многолетние травы (72,6...73,9%) – сенокос (74,8...76,4%). При этом данная закономерность была свойственна почвам, как легкосуглинистого механического состава, так и супесчаного.

Несколько лучшей структурностью отличались легкосуглинистые почвы, что связано с более высоким содержанием физической глины, способствующей повышению когезионных свойств. Этой же причиной объясняется превалирование в легкосуглинистых почвах более крупных агрегатов, в то время как выраженность агрегированности супесчаных почв вне зависимости от характера использования была более низкой.

Повышение структурности почвы с увеличением периода отсутствия воздействия почвообрабатывающих машин связано с формированием гомеостатичности средообразующих факторов, в частности, нивелированием деформационных напряжений, вызываемых рабочими органами сельскохозяйственных машин, а также изменением содержания органического вещества, оказывающего непосредственное влияние на образование почвенных агрегатов.

Указанные условия проявляют корректирующее влияние и на плотность пахотного слоя, увеличивая её на многолетнем сенокосе относительно ежегодно обрабатываемой пашни на 13,7...15,3%, многолетних трав – на 6,4...8,2%. При этом отсутствие механизированного воздействия способствует развитию процесса задренения почв, повышая их пронизываемость корневыми системами

растений. Так, рост количества корневых остатков в пахотном профиле на сенокосе по сравнению с пашней составил 143,4...165,4%, а в сравнении с бобово-мятликовым травостоем многолетних трав 71,9... 80,9%. Стоит отметить, что с увеличением объёма корневых систем

в почве, как правило, связывают разуплотняющее действие, но в действительности данное явление распространяется преимущественно на слой 0...10 см с дальнейшим нивелированием данного эффекта по мере углубления по профилю пахотного горизонта.

Структурно-агрегатный состав, плотность и задернелость пахотного слоя дерново-подзолистой почвы
Structural-aggregate composition, density and sodding of the arable layer of the sod-podzolic soil

Размер фракций, мм <i>Fraction size, mm</i>	Гранулометрический состав <i>Granulometric composition</i>					
	Легкосуглинистая почва <i>Light loamy soil</i>			Супесчаная почва <i>Sandy soil</i>		
	Характер использования <i>Type of use</i>					
	Зерновые <i>Cereals</i>	Многолетние травы <i>Perennial grasses</i>	Сенокос <i>Hayland</i>	Зерновые <i>Cereals</i>	Многолетние травы <i>Perennial grasses</i>	Сенокос <i>Hayland</i>
<0,25	4,5	5,3	5,8	10,6	9,3	8,7
0,25...1	8,6	8,7	10,0	11,2	10,4	11,9
1...3	13,8	15,9	16,7	14,6	18,1	19,5
3...5	16,6	17,5	19,5	16,3	17,7	18,6
5...7	18,2	19,8	19,1	16,7	16,0	14,7
7...10	14,4	12,0	11,1	11,8	10,4	10,1
10...20	15,6	14,1	12,7	11,4	12,8	10,7
>20	8,3	6,7	5,1	7,4	5,3	5,8
Коэффициент структурности, ед. <i>Structural coefficient, units</i>	2,52	2,83	3,24	2,40	2,65	2,97
Плотность, г/см³ <i>Density, g/cm³</i>	1,31	1,40	1,49	1,37	1,46	1,58
Количество корневых остатков, г/дм³ <i>Amount of root residues, g/dm³</i>	2,88	4,95	7,01	2,31	4,18	6,13

Существенное влияние на агрофизические и технологические свойства почвы оказывает ее текстура, определяемая содержанием и распределением механических частиц. Так, почвы, содержащие большое количество устойчивого к деформации физического песка, как правило, обладают меньшей пластичностью и большей аэрацией относительно почв, насыщенных физической глиной. Вместе с тем стоит отметить, что увеличение сопротивляемости почвы к механическому разрушению способствует чрезмерной изнашиваемости рабочих органов сельскохозяйственных машин, необоснованно повышая тем самым энергоёмкость и ресурсоёмкость технологических операций. В качестве определенного нивелирующего «рычага» может выступать подбор определённых сроков воздействия на почву, увязанных с её насыщенностью влагой, являющейся неким индикатором ожидаемого уровня деформирующих напряжений, которые потенциально будут созданы в процессе почвообработки.

В частности, полевыми исследованиями пределов деформации дерново-подзолистых почв на сжатие и растяжение были выявлены существенные различия в значениях максимальных зон напряжения под влиянием изменений абсолютной влажности почв

различного механического состава и характера использования (рис. 2, 3). Наибольшим сопротивлением к сжатию характеризовались по всем категориям угодий почвы супесчаного гранулометрического состава, где величина прилагаемого усилия была выше относительно легкосуглинистых в среднем на 4,0...4,5 кПа (4,7...6,4%). В то же время прочность на растяжение, напротив, была выше у легкосуглинистых почв на 0,4...0,7 кПа (5,6...11,9%). Данный факт являлся следствием процессов образования почвенной текстуры.

Для комплексной оценки возникновения деформаций почв под влиянием физического воздействия важно выявить диапазоны абсолютной влажности, обеспечивающие максимальные уровни разрушающих усилий. Так, у легкосуглинистой почвы значения абсолютной влажности пределов прочности на сжатие: для пашни – 17...21%, многолетних трав – 20...22%, сенокоса – 18...22%, у супесчаной почвы соответственно 17...19, 19...20, 18...21%. Диапазон абсолютной влажности, обеспечивающий максимум усилий на растяжение на легкосуглинистой почве составил для пашни 15...17, для многолетних трав – 17...18, для сенокоса – 18...20%, у супесчаной почвы соответственно 14...16, 17...19, 18...20%. Данное условие связано

с физико-химическими свойствами почвенных частиц, их генезисом, а также количеством органического вещества, как основной «склеивающей» субстанции, участвующей в процессе образования почвенных агрегатов и вследствие этого формирования влагоёмкости почвы.

Кроме этого, установлено значительное влияние характера использования земель на значения пределов прочности почвы. Так, увеличение растягивающих сил для легкосуглинистых почв относительно пашни составило у многолетнего травостоя – 1,3 кПа (21,5%), у сенокоса – 2,0 кПа (32,9%), сжимающих сил – 8,2 кПа (12,2%), 15,9 кПа (23,6%), для супесчаных соответственно – 1,4 кПа (26,5%), 2,2 кПа (40,3%) и 8,4 кПа (11,8%), 15,5 кПа (21,8%). Указанные значения являются следствием насыщения почвы растительными остатками, в том числе и находящимися в различной стадии минерализации, а также увеличения плотности сложения ввиду

длительного отсутствия механизированного воздействия на пахотный слой.

В целом, диапазон различий между пределами прочности почв на сжатие и растяжение значительно отличался между собой с доминированием величин сжимающих сил: на легкосуглинистых почвах в 10...11 раз, на супесчаных в 11...13 раз. Выявленная закономерность подтверждается также результатами исследований других авторов и наглядно демонстрирует, что затраты энергии при использовании в схемах конструирования почвообрабатывающих машин принципа растяжения многократно ниже, чем при применении принципа сжатия [11, 14]. Отметим, что наиболее полноценно оптимизация механизма воздействия на почву с использованием различных сдвиговых деформаций может быть реализована в схемах комбинированных почвообрабатывающих агрегатов.

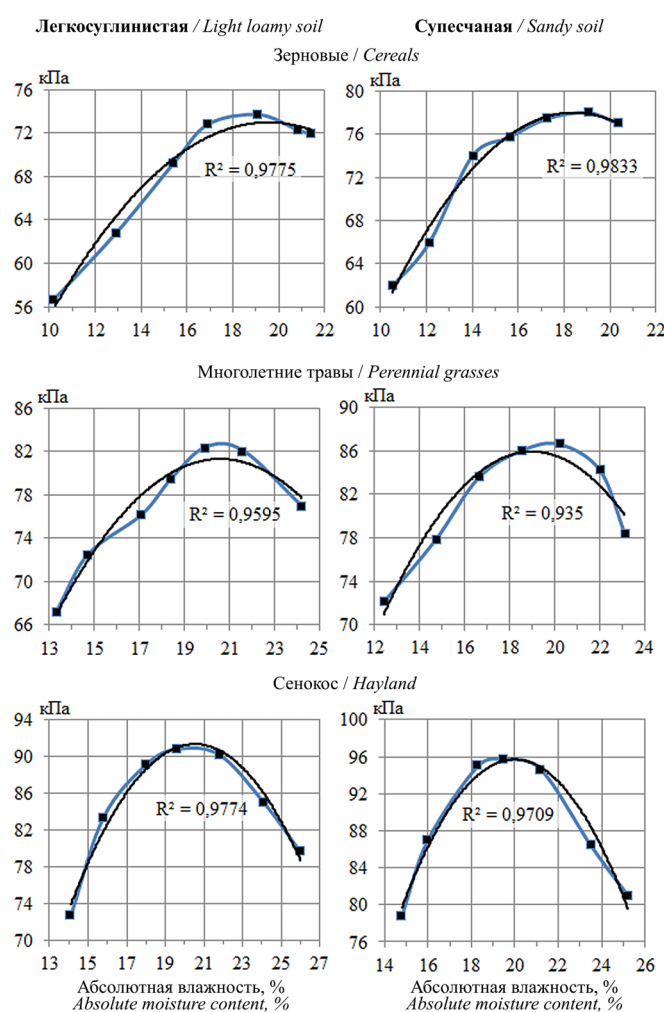


Рис. 2. Изменение пределов прочности дерново-подзолистой почвы на сжатие под влиянием влажности пахотного слоя

Fig. 2. Change in the compressive strength of the sod-podzolic soil under the influence of moisture in the topsoil

Выводы

Выявление закономерностей структурно-агрегатно-го состава почвы разного гранулометрического состава

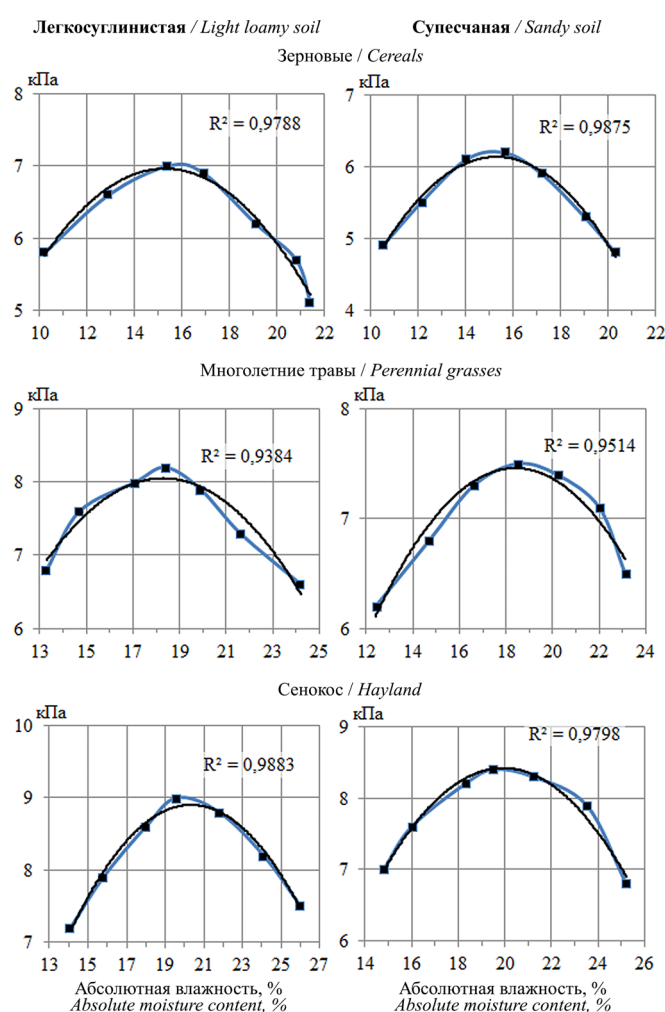


Рис. 3. Изменение пределов прочности дерново-подзолистой почвы на растяжение под влиянием влажности пахотного слоя

Fig. 3. Changes in tensile strength of sod-podzolic the soil under the influence of moisture in the topsoil

позволяет расширить исходные данные по сдвиговым деформациям почвы, необходимые для эффективного проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин и агрегатов.

Библиографический список

1. Ториков В.Е., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. О физических параметрах суглинистой почвы // Земледелие. 2016. № 8. С. 19-21.
2. 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.
3. Horton R., Horn R., Bachmann J., Peth S. Review of Essentials in Soil Physics: An introduction to Soil Processes, Functions, Structure and Mechanics. – Stuttgart, Germany. Schweizerbart Science Publishers, 2016. 391 pp.
4. Старовойтов С.И. Обоснование параметров почвообрабатывающих рабочих органов для обработки суглинистых почв: дис. ... д.т.н. наук. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2018. 305 с.
5. Ахметшин Т.Ф. Влияние геометрических параметров почвообрабатывающих деталей на степень деформации почвы // Известия Оренбургского ГАУ. 2014. № 1. С. 50-53.
6. Пигулевский М.Х. Основы и методы изучения физико-химических свойств почвы. Л.: ЛОВИУАА ВАСХНИЛ, 1936. 145 с.
7. Кленин Н.И. Исследование процесса смятия почвы твёрдыми телами: автореф. дис. ... к.т.н. М.: Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 1960. 22 с.
8. Горячкин В.П. Собрание сочинений. М.: Колос, 1968. Т. 1. 720 с.
9. McKeyes E. Agricultural Engineering Soil Mechanics. – Elsevier Science B.V., 1989. 305 p.
10. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. К.: Феникс, 2008. 266 с.
11. Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Проектирование рабочих органов для рыхления почвы с использованием деформаций растяжения // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 3(23). С. 57-62.
12. Нестяк В.С., Мамбеталин К.Т. Механико-технологические аспекты энергетики обработки почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 11(85). С. 106-110.
13. Степанык А.А. Улучшение мелиоративного состояния осушенных минеральных оглеенных почв западного Полесья Украины желобоподобным рыхлителем // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 27-30.
14. Ковалев Н.Н., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная Россия», 1998. 208 с.
15. Устройство для определения прочностных свойств почв в полевых условиях: патент № 46361 РФ / В.В. Сафонов, В.В. Голубев, А.В. Сергеев; заяв.: 2004137623/22 от 23.12.2004, опубл. 27.06.2005.
16. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с.

References

1. Torikov V.Ye., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. O fizicheskikh parametrah suglinistoy pochvy [On the physical parameters of loamy soil]. *Zemledeliye*, 2016; 8; 19-21. (In Rus.)
2. Panov I.M., Vetokhin V.I. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya zemledel'cheskoy mekhaniki v svete trudov V.P. Goryachkina [Current state and development prospects of agricultural mechanics in the light of the works of V.P. Goryachkin]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2008; 2: 9-14. (In Rus.)
3. Horton R., Horn R., Bachmann J., Peth S. Review of Essentials in Soil Physics: An introduction to Soil Processes, Functions, Structure and Mechanics. – Stuttgart, Germany. Schweizerbart Science Publishers, 2016: 391. (In English)
4. Starovoytov S.I. Obosnovaniye parametrov pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov dlya obrabotki suglinistykh pochv: dis. ... d.t.n. nauk [Rationale for the parameters of tillage working tools for loamy soils: DSc (Eng) thesis]. Moscow, RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2018: 305. (In Rus.)
5. Akhmetshin T.F. Vliyaniye geometricheskikh parametrov pochvoobrabatyvayushchikh detaley na stepen' deformatsii pochvy [Effect of the geometric parameters of tillage parts on the degree of soil deformation]. *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, 2014; 1: 50-53. (In Rus.)
6. Pigulevskiy M.Kh. Osnovy i metody izucheniya fiziko-khimicheskikh svoystv pochvy [Fundamentals and methods of studying the physicochemical properties of the soil]. L.: LOVIUAA VASKHNIL, 1936: 145. (In Rus.)
7. Klenin N.I. Issledovaniye protsessy smyatiya pochvy tverdymi telami: avtoref. dis. ... k.t.n [Study of the process of soil crushing by solids: Self-review of PhD (Eng) thesis]. Moscow, Moskovskiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva, 1960: 22. (In Rus.)
8. Goryachkin V.P. Sobraniye sochineniy [Collected works]. Moscow, Kolos, 1968; 1: 720. (In Rus.)
9. McKeyes E. Agricultural Engineering Soil Mechanics. – Elsevier Science B.V., 1989: 305. (In Rus.)
10. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv [Physical foundations of soil mechanics]. K.: Feniks, 2008: 266. (In Rus.)
11. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Proyektirovaniye rabochikh organov dlya rykhleniya pochvy s ispol'zovaniyem deformatsiy rastyazheniya [Design of working tools for soil loosening based on tensile deformations]. *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2016; 3(23): 57-62. (In Rus.)
12. Nestyak V.S., Mambetalin K.T. Mekhaniko-tekhnologicheskiye aspekty energetiki obrabotki pochvy [Mechano-technological aspects of the energy component of soil cultivation]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011; 11(85): 106-110. (In Rus.)
13. Stepanyuk A.A. Uluchsheniye meliorativnogo sostoyaniya osushennykh mineral'nykh ogleynnykh pochv zapadnogo Poles'ya Ukrainy zhelobopodobnym rykhlytelem [Improving the reclamation state of drained mineral gleyed soils of Western Poles'ye of Ukraine with a groove-like cultivator]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013; 2: 27-30. (In Rus.)
14. Kovalev N.N., Khaylis G.A., Kovalev M.M. Sel'skokhozyaystvennyye materialy (vidy, sostav, svoystva)

Agricultural materials (types, composition, properties)]. Moscow, IK "Rodnik", zhurnal "Agrarnaya Rossiya", 1998: 208. (In Rus.)

15. Safonov V.V., Golubev V.V., Sergeev A.V. Ustroystvo dlya opredeleniya prochnostnykh svoystv pochv v polevykh usloviyakh: Patent 46361 RF. [Device for determining the strength properties of soils in the field: Patent 46361 RF.], 2005. (In Rus.)

16. GOST 20915-2011 Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Metody opredeleniya usloviy ispytaniy [Tests of agricultural machinery. Methods for determining test conditions]. Moscow, Standartinform, 2013: 27. (In Rus.)

Критерии авторства

Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. выполнили теоретические исследования, на их основании провели эксперимент. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 17.04.2020

Опубликована 29.06.2020

Contribution

N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, V.V. Golubev carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, V.V. Golubev have equal author's rights and bearequal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on April 17, 2020

Published 29.06.2020