

ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПУСТЫННОГО ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОГО ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА

вр.и.о доцент **А.А. АЗИЗОВ**

(Ташкентский государственный транспортный университет)

abdukhamid_azizov1961@mail.ru

Ведущий специалист **Х.А. АЗИЗОВ**

(Государственное учреждение «Узбекский национальный институт
метрологии»)

Xurwid1707@mail.ru

стар. преп., **Эргашев Нурилло Тохирбек угли**

(Ташкентский государственный транспортный университет)

ergashevnurillo657@gmail.com

***Аннотация:** В данной статье сделан анализ физико механических свойств различных категорий грунтов приведены сведения по показателю консистенции различных агрегатных состояний связных минеральных грунтов, по удельному весу твёрдых частиц различных типов грунта, по ориентировочным значениям чисел пластичности и пределов текучести для связных грунтов. Представлены формулы зависимости числа пластичности, пределов пластичности и текучести связных грунтов от процентного содержания глинистых частиц. Приведены коэффициенты для расчета угла внутреннего трения, удельного сцепления, модуля общей деформации.*

Определены диапазоны изменения факторов при проведении теоретических исследований в данной работе. Определены параметры грунта для разработки математической модели движения пустынного четырехколесного пропашного трактора.

***Ключевые слова:** Весовая влажность грунта, объем пор грунта, коэффициент пористости грунта, объем частиц грунта, удельный вес частиц грунта, число пластичности, удельный вес сухого грунта, вес воды, вес твердых частиц грунта, коэффициент водонасыщения, показатель консистенции грунта.*

Характеристикой грунта является конусный индекс, определяемый зондированием грунта непосредственно на участках работы. Экспериментально установлено, что в первом приближении характер распределения давления по длине пятна контакта описывается периодической функцией, параметры которой зависят от свойств грунта, скорости машины и внешних сил, приложенных к системе. При увеличении разности среднего и максимального давления увеличивается сопротивление движению машины и глубина колеи, что невозможно учесть в рамках получивших распространение вязкоупругих моделей грунта. Несущая способность в практике выполняемых работ принимается чаще как справочная величина, сведения о её числовых значениях не полные, а единая методика определения несущей способности, пригодная для практического использования, не разработана.

Приведем формулы для расчета основных показателей, характеризующих физическое состояние и свойства грунта.

Весовая влажность грунта представляет собой отношение веса воды к весу твердых частиц грунта и рассчитывается по формуле [1,2]:

$$W = \frac{G_w}{G_s} \cdot 100\% \quad (1)$$

где G_w - вес воды, G_s - вес твердых частиц грунта.

Коэффициент пористости грунта является отношением объема пор к объёму твердых частиц грунта [1,2]:

$$e = \frac{V_a}{V_s} \quad (2)$$

где V_a - объем пор, V_s - объем частиц грунта.

Коэффициент пористости связан с удельным весом сухого грунта следующей формулой [1,2]:

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_{sk}}{\gamma_{sk}} \quad (3)$$

где γ_s - удельный вес частиц грунта, γ_{sk} - удельный вес сухого грунта.

Удельный вес сухого грунта можно рассчитать по значению пористости и удельного веса частиц грунта [1,2]:

$$\gamma_{sk} = \frac{\gamma_s}{1 + e} \quad (4)$$

При этом удельный вес грунта связан с весовой влажностью и удельным весом склепа грунта следующей зависимостью [1,2]:

$$\gamma = \gamma_{ск} \left(1 + \frac{W}{100} \right) \quad (5)$$

С учётом (3) удельный вес грунта можно рассчитать по весовой влажности и пористости по следующему уравнению [1,2]:

$$\gamma = \frac{\gamma_u}{1+e} \left(1 + \frac{W}{100} \right) \quad (6)$$

Важнейшим показателем, характеризующим поведение грунта при увлажнении, является число пластичности [1,2]:

$$I_L = W_L + W_P \quad (7)$$

где W_L - влажность, при которой грунт переходит в текучее состояние, W_P - влажность, при которой грунт переходит в пластичное состояние.

С учетом числа пластичности определяют показатель консистенции грунта, характеризующий агрегатное состояние связного грунта [1,2]:

$$I_p = \frac{W - W_P}{I_L} \quad (8)$$

Для несвязных грунтов в качестве характеристики агрегатного состояния получил распространение коэффициент водонасыщения [1,2]:

$$I_w = \frac{W}{W_n} \quad (9)$$

где W_n - полная влагоемкость грунта.

Полная влагоемкость грунта, представляющая собой максимально возможную влажность грунта при заданной пористости, определяется по уравнению [1,2]:

$$W_n = e \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot 100\% \quad (10)$$

где γ_w - удельный вес воды.

Сведения об удельном весе твердых частиц различных типов грунта представлены в таблице 1, там же представлены пределы изменения коэффициента пористости.

Таблица 1. Удельный вес твёрдых частиц различных типов грунта [1]

Тип грунта	γ_d , МН/м ³	e_{min}	e_{max}
Гравий и галька	0,0265...0,0230	0,260	0,286
Пески крупнозернистые	0,0265...0,0267	0,260	0,440
Пески среднезернистые	0,0265...0,0267	0,360	0,650
Пески мелкие	0,0265...0,0267	0,400	0,773
Пески пылеватые и супеси	0,0265...0,0267	0,333	0,766
Супеси	0,0267...0,0270	0,390	1,000
Суглинки подзолистые	0,0265...0,0268	0,370	1,100
Суглинки лессовидные	0,0268...0,0270	0,750	1,250
Суглинки моренные	0,0270...0,0271	0,750	1,150

В таблице 2 приведены сведения по показателю консистенции различных агрегатных состояний связных минеральных грунтов.

Таблица 2 Индекс консистенции и агрегатного состояния связных грунтов

Состояние грунта	Глины и суглинки	Супеси
Твердое	$IL < 0$	$IL < 0$
Полутвердое	$0 < IL < 0,25$	$IL < 0$
Тугопластичное	$0,25 < IL < 0,5$	$IL < 0$
Пластичное	$0,25 < IL < 0,5$	$0 < IL < 1$
Мягкопластичное	$0,5 < IL < 0,75$	$0 < IL < 1$
Текучепластичное	$0,75 < IL < 1$	$0 < IL < 1$
Текучее	$IL > 1$	$IL > 1$

В таблице 3 приведены ориентировочные значения чисел пластичности и пределов текучести для связных грунтов.

Таблица 3 Числа пластичности и пределы текучести связных грунтов [1]

Грунт	Разновидность	Содержание песчаных частиц, %	Содержание глинистых частиц, %	IP	$WL, \%$
Супесь	Легкая крупная	>50	3...12	1...7	16...26
	Легкая	<50	3...12	1...7	16...26
	Пылеватая	50...20	12	1...7	16...26
	Тяжелая пылеватая	<20	<12	1...7	16...26
Суглинок	Легкий	>40	12.. 18	7...12	26,..42
	Легкий пылеватый	<40	12...25	7...12	26...42
	Тяжелый	>40	18...25	12...17	26...42
	Тяжелый пылеватый	<40	18...25	12...17	26...42
Глина	Песчанистая	>40	>25	17...27	>42
	Пылеватая	<40	>25	17...27	>42
	Жирная	Не норми- руется	>25	>27	>42
	Очень жирная		>25	>27	>42

Сопоставим сведения о процентном содержании глинистых частиц, числа пластичности и пределах текучести различных типов грунта. Расчетные данные по формулам (7) - (9) аппроксимируем относительно содержания глинистых частиц Q . Результаты представлены графиками на рисунке 1.

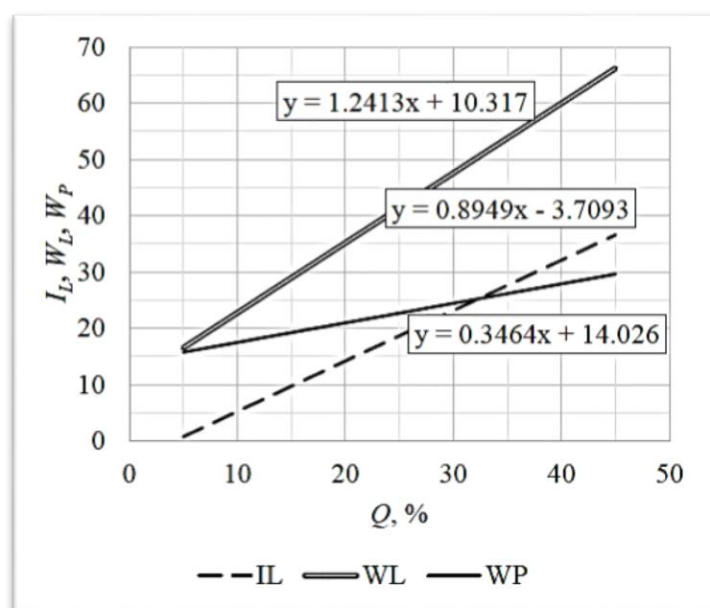


Рисунок 1. Приближенные зависимости числа пластичности, пределов пластичности и текучести связных грунтов от процентного содержания глинистых частиц

Приближенные зависимости числа пластичности, пределов пластичности и текучести связных грунтов от процентного содержания глинистых частиц представим следующими формулами:

$$I_L = 0,8949Q - 3,7093 \quad (11)$$

$$W_L = 1,2413Q + 10,317 \quad (12)$$

$$W_P = 0,3464Q + 14,026 \quad (13)$$

Формулы (11) – (12) в дальнейшем можем использовать при определении показателя консистенции связного грунта в зависимости от влажности и типа грунта вместо табличных данных, что, на наш взгляд, удобнее при проведении расчетов.

В работе проф. В.В. Ларина [1 2 3] выполнен анализ справочных данных и получены важнейшие зависимости, позволяющие рассчитать механические свойства связных и несвязных минеральных грунтов, к которым относятся модуль деформации E [МПа], удельное сцепление C [кПа] и угол внутреннего трения φ [о], по физическим:

- для связных грунтов [1 4 5]:

$$E = (A_{E1} + B_{E1}I_L)e^{(A_{E2}+B_{E2}I_L)} \quad (14)$$

$$C = (A_{C1} + B_{C1}I_L)e^{(A_{C2}+B_{C2}I_L)} \quad (15)$$

$$\varphi = (A_{\varphi1} + B_{\varphi1}I_L)e^{(A_{\varphi2}+B_{\varphi2}I_L)} \quad (16)$$

- для несвязных грунтов [1]:

$$E = (A_{E1} + B_{E1}I_w)e^{(A_{E2}+B_{E2}I_w)} \quad (17)$$

$$C = (A_{C1} + B_{C1}I_w)e^{(A_{C2}+B_{C2}I_w)} \quad (18)$$

$$\varphi = (A_{\varphi1} + B_{\varphi1} \cdot I_w) \cdot e^{(A_{\varphi2}+B_{\varphi2} \cdot I_w)} \quad (19)$$

Значения коэффициентов к формулам (14) – (15) представлены в таблицах 4–5.

Таблица 4 Коэффициенты для расчета угла внутреннего трения [1 6 7]

Тип грунта	$A_{\varphi1}$	$B_{\varphi1}$	$A_{\varphi2}$	$B_{\varphi2}$
Песок крупнозернистый	32,535	0	-0,33	0
Песок среднезернистый	24,746	0	-0,978	0
Песок мелкозернистый	24,819	-0,042	-0,565	0,012
Песок пылеватый	29,578	-2,832	-0,544	0,062
Супесь	22,496	-7,808	-0,39	-0,25
Суглинок	21,128	-11,79	-0,315	-0,722
Глина	16,887	-11,98	-0,204	-2,506

Таблица 5 Коэффициенты для расчета удельного сцепления [1]

Тип грунта	AC1	BC1	AC2	BC2
Песок крупнозернистый	0,264	0	-2,784	0
Песок среднезернистый	0,595	0	-2,126	0
Песок мелкозернистый	0,707	0,00095	-2,46	-0,123
Песок пылеватый	1,951	-1,302	-1,788	-0,82
Супесь	4,586	-3,775	-1,475	-1,118
Суглинок	19,239	-14,366	-1,204	-0,647
Глина	42,573	-19,656	-1,136	-0,22

Таблица 6 Коэффициенты для расчета модуля общей деформации [1]

Тип грунта	AE1	BE1	AE2	BE2
Песок крупнозернистый	18,112	0	-1,288	0
Песок среднезернистый	17,851	0	-1,291	0
Песок мелкозернистый	14,746	-3,694	-1,543	-0,071
Песок пылеватый	8,332	-2,282	-2,07	0,364
Супесь	10,67	-7,273	-1,524	-0,974
Суглинок	11,366	-7,575	-1,403	-1,089
Глина	15,217	-10,68	-0,969	-1,975

Как показывают результаты расчетов по формулам (14)–(19), механические свойства грунтов изменяются в пределах, указанных в таблице 7.

Таблица 7 Пределы изменения механических свойств грунтов

Тип грунта	Диапазон изменения		
	$E, \text{МПа}$	$C, \text{кПа}$	$\varphi, ^\circ$
Пески	12 - 35	0 – 1	14 – 30
Супесь	12 – 33	1 – 10	2 – 24
Суглинок	6 – 26	2 – 40	2 – 24
Глина	2 – 18	15 – 65	2 – 22

Диапазоны изменений механических свойств грунтов, указанные в таблице 7, определяют диапазоны изменения факторов при проведении теоретических исследований в нашей работе. Математические модели должны быть реализованы для грунтов с модулем деформации до 35 МПа, удельным сцеплением до 65 кПа и углом внутреннего трения до 30°. [8 9 10]:

Сведений о модуле сдвига в литературе сравнительно меньше. Известно несколько формул для его оценки.

Согласно проф. Я.С. Агейкину [3 4 11] G [МПа] связан с C [кПа]:

$$G = 0,0225C + 0,25 \quad (20)$$

В работе [5 12 13] используется зависимость:

$$G = \frac{E_0}{2(1+\nu)} \approx 2,5 \frac{E_0}{1+\nu} \quad (21)$$

где E_0 – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона.

Согласно [6 7 14] модуль сдвига оценивается по формуле:

$$G = V_s^2 \frac{\gamma}{g} \approx 290\gamma \quad (22)$$

где V_s – скорость распространения деформации сдвига в среде ($\approx 53,34$ м/с [7 15]), g – ускорение свободного падения.

Таким образом при исследовании, направленные на уточнение научного описания взаимодействия гусеничных машин с опорными поверхностями, будут актуальны как для теории, так и для практики использования расчетов физические и механические свойства поверхностей, поскольку дадут возможность обоснованно подходить к выбору пропашных тракторов с учетом их проходимости исходя из природно-производственных условий. [8 16]:

Литература:

1. Ларин В.В. Методы прогнозирования опорной проходимости многоос-ных колесных машин на местности: дисс. докт. техн. наук: 05.05.03.-М., 2007.530 с.
2. Цытович Н. А. Механика грунтов-М.: высшая школа, 1986, 318 с.
3. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. Теория и расчет. - М.: Машиностроение, 1972. - 184 с.
4. Агейкин Я. С., Вольская Н. С., Чичекин И. В. Проходимость автомобиля. Москва: МГИУ, 2010. – 275 с.
5. Хитров Е.Г., Григорьев И.В., Хахина А.М. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта. Научное издание / Санкт-Петербург, 2015.
6. Водяник И.И. Несовершенство методик определения нормированных показателей воздействия движителей на почву. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1989. № 5. С. 18.
7. Rohani, B., Baladi, G.Y. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1981, 41 p.
8. Mechanical-mathematical model of tractor wheel propulsor interaction with bearing surfaceAA Azizov, TM Nishonov, HO Meliev ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal 10 (5), 636-644

9. Г.К.Убайдуллаев, Н.Т.Эргашев, & А.М.Рашидов. (2022). Основные закономерности и современные тенденции развития транспортных машин. *Research and education*, 1(7), 138–142. Retrieved from <https://researchedu.org/index.php/re/article/view/413>
10. Азизов, А. А., Эргашев, Н. Т., & Шадиев, С. Р. (2022, November). Изменение свойств резины в процессе старения. In *International conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century* (Vol. 1, No. 8, pp. 155-159).
11. Shermukhamedov, A. A., ugli Ergashev, N. T., & Jumaniyazov, H. J. (2022, November). Katta hajmli kuzovlari almashinuvchi traktor tirkamalari tormoz tizimi tadqiqotlari tahlili. In *International conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century* (Vol. 1, No. 8, pp. 176-180).
12. Ubaydullaev, G., Riskaliev, D., Ergashev, N., Rashidov, A., & Shadiev, S. (2021). Determination of installation bases of parts during their mechanical processing. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 05046). EDP Sciences.
13. Убайдуллаев, Г. К., Жуманиязов, Х. Ж., & угли Эргашев, Н. Т. (2022). Отклонение геометрических показателей поверхностей деталей при их обработке. *Research and education*, 1(9), 298-302.
14. Shermukhamedov, A., Azizov, A., Ergashev, N., Shermukhamedov, Y., & Abdukhamidovich, A. K. (2022, June). Substantiation of the parameters of the wheel propeller tread lugs. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2432, No. 1, p. 030089). AIP Publishing LLC.
15. Ibragimov, B. D., Ergashev, N. T., & Shoikromov, S. B. (2022). Study of the effect of a new polymeric anticorrosion coating in transport technological machines on noise and vibration. *Global Scientific Review*, 8, 75-79.
16. Shermukhamedov, A., Ergashev, N., & Azizov, A. (2021). Substantiating parameters brake system of the tractor trailer. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 04019). EDP Sciences.
17. Ибрагимов, Б. Д., Турсунов, И. С., & Эргашев, Н. Т. у. (2022). Сервис электромобилей и проблемы его организации. *International conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century*, 1(8), 171–175. Retrieved from <https://openidea.uz/index.php/conf/article/view/227>