

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ГРУНТА

Л.М. Борозенец

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Приведены результаты ретроспективных исследований физической сущности угла внутреннего трения грунта. Определена триединая сущность угла внутреннего трения грунта: физическая, механическая и математическая. Анализом исходных данных нормативных прочностных характеристик различных видов грунтов и их теоретическим исследованием выявлены факторы, представляющие физическую сущность угла внутреннего трения грунта φ ; открыты новые разновидности классификации пылевато-глинистых грунтов: суглинопесь и супылепесь; впервые обнаружены значения показателей степени функции тангенса угла внутреннего трения грунта, определяющих значения сил сопротивления зацепляемости при сдвиге суглинопесей, супесей, супылепесей и песков. С использованием моделей наклонно-плоскостных механизмов определены факторы механической сущности угла внутреннего трения грунта. Математическая сущность угла внутреннего трения грунта представляется тем, что он определяется обратной степенной функцией тангенса с аргументом отношения предельного касательного напряжения сдвига грунта к постоянному нормальному напряжению его сжатия при сдвиге. Сделаны выводы по содержанию результатов исследования.

Ключевые слова: механика, угол, сущность, трение, степень, функция, информация, равновесие, связность, сцепление, зацепляемость, площадка, скольжение, сила, грунт, глина, суглинок, супесь, песок, напряжение.

1. Результаты ретроспективных исследований физической сущности угла внутреннего трения грунта

Механика грунтов изучает напряжение и деформацию в грунтах при приложении к ним силовых воздействий. Модели механики грунтов базируются на теоретических положениях физики. Каждому методу принадлежит соответствующая механическая модель. Механические модели описываются с помощью математики. Показатели механических характеристик грунтов в математических уравнениях имеют определяющее значение для разработки объективных методов расчета. Поэтому исследование сдвиговых прочностных характеристик грунта является важнейшей проблемой.

Известные прочностные параметры φ – угол внутреннего трения и c – удельное сцепление грунта применяются с 1773 года, со времени введения этих характеристик французским ученым Ш. Кулоном. Несмотря на то, что проблемой раскрытия физической сущности занимались как сам Кулон, так и его многочисленные последователи, она до сих пор остается нерешенной. Наибольшее распространение в мировой практике имеет метод определения сдвиговых прочностных характеристик Кулона – Терцаги, называемый методом консолидированно-дренированных испытаний. Параметры φ и c зависимости предельных касательных напряжений от постоянных нормальных в этом случае определяются из графического построения и называются авторами «кажущимися» углом трения и сцеплением. Как отмечают многие исследо-

ватели по данным В.Д. Казарновского [1] в кажущиеся показатели φ и c нельзя вкладывать физический смысл угла внутреннего трения и сцепления. Другой метод консолидированно-недренированных испытаний используется для определения «истинных» угла трения и сцепления. Идея заключается в том, чтобы приблизить характеристики φ и c к параметрам, которым можно придать физический смысл.

Построения по методам М. Хворслева [2] и К. Терцаги [3] для определения угла внутреннего трения по мнению И. Одэ [4] имеют чисто геометрическую природу и не несут его физической сущности.

По мнению В.Д. Казарновского, параметру φ нельзя придать определенного смысла с точки зрения положений теории трения. По результатам исследования Н.Н. Маслов [5] считает, что угол φ следует называть «углом трения и связности». По заключению Е.М. Сергеева [6], угол внутреннего трения с шероховатыми поверхностями скальных грунтов включает две компоненты, а несвязанных грунтов – три составляющие. Кроме рассмотренных мнений, определением физической сущности угла внутреннего трения занимались и многие другие известные исследователи.

Результаты заключения получились весьма противоречивыми: с одной стороны, утверждение в отсутствии физического смысла в сдвиговых прочностных характеристиках грунта; с другой стороны – его наличие. В связи с этим установление истины является одной из главных целей данной научно-исследовательской работы.

Теория расчета строительных конструкций

2. Физическая сущность угла внутреннего трения грунта

В практике для определения касательных напряжений сопротивления песчаных грунтов сдвигу используется равенство Кулона

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где σ – постоянное нормальное напряжение сжатия исследуемого образца грунта, φ – угол внутреннего трения грунта.

Для пылевато-глинистых грунтов для этой цели применяется равенство Кулона – Навье

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (2)$$

где c – удельное сцепление грунта.

В равенствах (1) и (2) функция тангенса имеет первую степень для всех видов грунтов. Расчетными исследованиями, базирующимися на экспериментальных данных, автором получено равенство для определения значений коэффици-

ентов внутреннего трения грунта по значениям их углов [7].

$$k = \operatorname{tg}^n \varphi_i, \quad (3)$$

где n – показатель степени функции тангенса, изменяющейся от единицы до двух, в зависимости от вида грунта, $i = 1 \dots 5$ – номер состояния предельного равновесия грунта.

С целью определения значений показателей степени n на рис. 1 выполняется построение графика зависимости его значений от удельного сцепления c и угла внутреннего трения φ . При построении графика используются максимальные значения φ и c , и значения e , взятые из нормативного источника [8], см. табл. 1.

Показатели степени n коэффициентов внутреннего трения грунта определены графо-аналитическим методом для единичных значений c от 29 до 2 кПа.

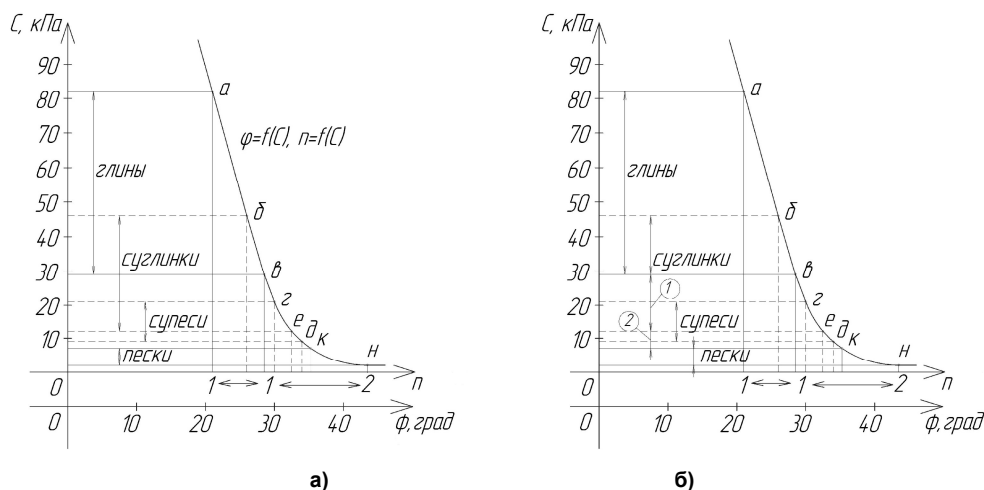


Рис. 1. Графики зависимости показателя степени n коэффициентов внутреннего трения грунта от удельного сцепления c и угла внутреннего трения φ по классификации грунтов: а – традиционной, б – новационной, 1 – суглинопеси, 2 – супылепеси

Таблица 1

Нормативные значения удельного сцепления c и угла внутреннего трения грунта φ

Вид грунта	Значения max min	Показатель консистенции J_L	Коэффициент пористости e	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения φ , град
Глина	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,55	81	21
	min	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	1,05	29	7
Суглинок	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,45	47	26
	min	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	1,05	12	12
Супесь	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,45	21	30
	min	$0,25 \leq J_L \leq 0,75$	0,85	9	18
Пески пылеватые	max	–	0,45	8	36
	min	–	0,75	2	26
Пески мелкие	max	–	0,45	6	38
	min	–	0,75	0	28
Пески средней крупности	max	–	0,45	3	40
	min	–	0,65	1	35
Гравелистые и крупные пески	max	–	0,45	2	43
	min	–	0,65	0	38

Участок графика *a–в* является линейным и определяет показатель степени для глин и суглинков $n = 1$: при c равном от 81 кПа до 29 кПа для глин и для суглинков на части участка *б–в* при c равном от 47 кПа до 29 кПа; для участка *в–е* суглинков показатель степени n изменяется от 1,0 до 1,38 при c равным от 29 до 12 кПа; для участка *з–д* супесей при c равном от 21 до 9 кПа показатель степени n изменяется от 1,133 до 1,497; на участке *к–н* для пылеватых песков при c равном от 8 до 2 кПа показатель степени n изменяется от 1,534 до 2,0; для мелких песков при c равном от 5 до 2 кПа показатель степени n изменяется от 1,680 до 2,0; для песков средней крупности при c равном от 3 до 2 кПа показатель степени изменяется от 1,820 до 2,0; для гравелистых и крупных песков при $c = 2$ кПа показатель степени $n = 2,0$.

Суглинок на участке *в–е* с показателями степени n , изменяющимися от 1,0 до 1,380 при c равном от 29 до 12 кПа, выделен в новую разновидность глинистых грунтов, в частности, для суглинков – «суглинопесь». Супесь на участке *е–д* и на участке между супесью и пылеватым песком *д–к* с показателями n изменяющимися от 1,380 до 1,534 при c равном от 12 до 8 кПа выделен в новую разновидность пылеватых глинисто-песчаных грунтов – «супылепесь», показанные в табл. 2 и на рис. 1, б.

В глинах при c равном от 81 до 29 кПа и в суглинках при c равном от 47 до 29 кПа при их сдвиге сопротивляются факторы прочности грунтов: связанность C_W и сцепление C_{S1} . Связанность C_W

физико-химической природы возникает в материалах пластического состояния контактов двух сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц грунта. Сцепление C_{S1} неразрезных структурных цементационных связей физико-химической природы из затвердевших гелей осадков проявляется при их разрушении сжатием и сдвигом минеральных частиц глинистых грунтов.

В суглинопесках при c равном от 29 до 12 кПа, в супесях при c равном от 21 до 9 кПа, в супылепесках при c равном от 12 до 8 кПа и в песках при c равном от 8 до 2 кПа в процессах их сдвига сопротивляются факторы их прочности: связанность C_W , сцепление C_{S1} , C_{S2} и зацепление C_Z . При этом в суглинопесках, супесях и супылепесках наряду с сопротивлением сцепления C_{S1} цементационных связей глинистых грунтов сопротивляется сцепление C_{S2} разрезных кристаллизационных связей из материалов смежных, сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц песка по плоскостям площадок скольжения, наклонённых под углом ϕ к главным исходным плоскостям ортогональным к направлению действия максимального главного нормального напряжения сжатия $\sigma_1 = \sigma_d$ по принципу наклонно-плоскостных механизмов. В суглинопесках, супесях и супылепесках значения показателей степени n увеличиваются от 1,0 до 2,0 пропорционально повышению содержания в их минералогических составах количества песчаных частиц и, наоборот, значения удельных сцеплений c уменьшаются от 81 до 2 кПа, а значения углов внутреннего трения ϕ увеличиваются от 12° до

Таблица 2
Дополненные и исправленные нормативные значения удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ и разновидности пылеватоглинистых грунтов

Вид грунта	Значения max min	Показатель консистенции J_L	Коэффициент пористости e	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения ϕ , град
Глина	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,55	81	21
	min	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	1,05	29	7
Суглинок	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,45	47	26
	min	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	1,05	29	12
Суглинопесь	max	$0,25 \leq J_L \leq 0,25$	0,65	29	28
	min	$0,5 \leq J_L \leq 0,75$	1,05	12	15
Супесь	max	$0 \leq J_L \leq 0,25$	0,45	21	30
	min	$0,25 \leq J_L \leq 0,75$	0,85	9	18
Супылепесь	max	$0,25 \leq J_L \leq 0,75$	0,75	12	33
	min	$0,20 \leq J_L \leq 0,70$	0,85	8	22
Пески пылеватые	max	–	0,45	8	36
	min	–	0,75	2	26
Пески мелкие	max	–	0,45	5	38
	min	–	0,75	2	28
Пески средней крупности	max	–	0,45	3	40
	min	–	0,65	2	35
Гравелистые и крупные пески	max	–	0,45	2	43
	min	–	0,65	2	38

43°. Для песков значение показателя степени коэффициента внутреннего трения, ввиду действия по наклонной плоскости скольжения двух факторов прочности: одного суммарного, связности C_W и сцепления C_{S2} , и второго, зацепления C_Z при одном значении максимального главного нормально-го напряжения сжатия σ_1 , получается суммарно увеличенным, т. е. $n = 1,534...2,0$ по количеству участвующих степенных коэффициентов внутреннего трения связности C_W при $n = 1,0$ и зацепления C_Z при $n = 0,534...1,0$.

Дополненные и измененные значения удельного сцепления c , угла внутреннего трения грунта φ и значений показателей степени n показаны в табл. 3.

Таким образом, впервые введён показатель степени функции тангенса угла внутреннего трения грунта. Установлено, что показатель степени $n = 1$, применяемый до настоящего времени, действителен только для глин и частично для суглинков. Для остальных видов грунтов: суглинопесей, супесей, супылепесей и песков здесь определены и введены новые, ранее неизвестные показатели степеней функции тангенса угла внутреннего трения грунта $1 \leq n \leq 2$, при этом открыта новая разновидность суглинков – суглинопесь и супесей – супылепесь. Открыто, что показатели степени более единицы учитывают силу сопротивления зацепляемости C_Z в процессе сдвига грунта, о которой до сих пор все говорили, но не находили решения для её определения. Полученные результаты исследований позволили сформулировать физический смысл угла внутреннего трения грунта. Физическая сущность угла внутреннего трения грунта состоит в том, что он является носителем закодированной информации в степенной функции тангенса, или степенного коэффициента внутреннего трения грунта, скрытой информации о наступлении состояний предельных равновесий на площадках скольжения сжимаемых и сдвигаемых смежных минеральных частиц, отражающих

при этом значения сил сопротивления связности, удельного сцепления и зацепляемости, как составляющих величины силы трения сдвигаемого грунта; функционально значения удельного сцепления с различных видов грунтов уменьшаются, а значения показателей степени n увеличиваются при увеличении значений углов внутреннего трения грунтов φ .

3. Механическая и математическая сущность угла внутреннего трения грунта

Механическая сущность угла внутреннего трения грунта иллюстрируется построением схемы наклонно-плоскостных механизмов, одного, при действии сдвигающего минимального главного нормального напряжения сжатия σ_3 параллельно главной исходной плоскости 1, ортогональной к направлению действия максимального главного нормального напряжения сжатия σ_1 , показанного на рис. 2а, и другого, наклонно-плоскостного механизма при действии сдвигающего напряжения P параллельно плоскости наклона 2 под углом φ к главной исходной плоскости 1, ортогональной к направлению действия максимального главного нормального напряжения сжатия σ_1 , представленного на рис. 2, б.

При сопротивлении связности C_W по схеме а равенство напряжений имеет следующее выражение:

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_1 h}{b} = \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

Для сопротивления зацепляемости C_Z по схеме 2, б равенство напряжения подается в следующем виде:

$$P = \frac{\sigma_1 h}{l} = \sigma_1 \sin \varphi. \quad (5)$$

Минимальное главное нормальное напряжение сжатия:

$$\sigma_3 = \frac{P}{\cos \varphi}. \quad (6)$$

Таблица 3

Нормативные значения удельного сцепления c и угла внутреннего трения φ и значений показателей степени n

Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения φ , град	Показатель степени n	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения φ , град	Показатель степени n	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутр. трения φ , град	Показатель степени n
81	21	1,0	21	30,0	1,13	11	33,8	1,41
47	26,0	1,0	20	30,3	1,15	10	34,5	1,45
29	28,0	1,0	29	30,7	1,17	9	35,3	1,50
28	28,2	1,01	18	31,0	1,20	8,0	36,0	1,53
27	28,5	1,03	17	31,3	1,23	7	36,8	1,58
26	28,8	1,04	16	31,7	1,26	6	37,6	1,63
25	29,0	1,05	15	32,0	1,28	5,0	38,0	1,68
24	29,3	1,07	14	32,3	1,32	4	39,2	1,75
23	29,5	1,09	13	32,6	1,34	3,0	40,0	1,82
22	29,8	1,11	12	33,0	1,38	2,0	43,0	2,0

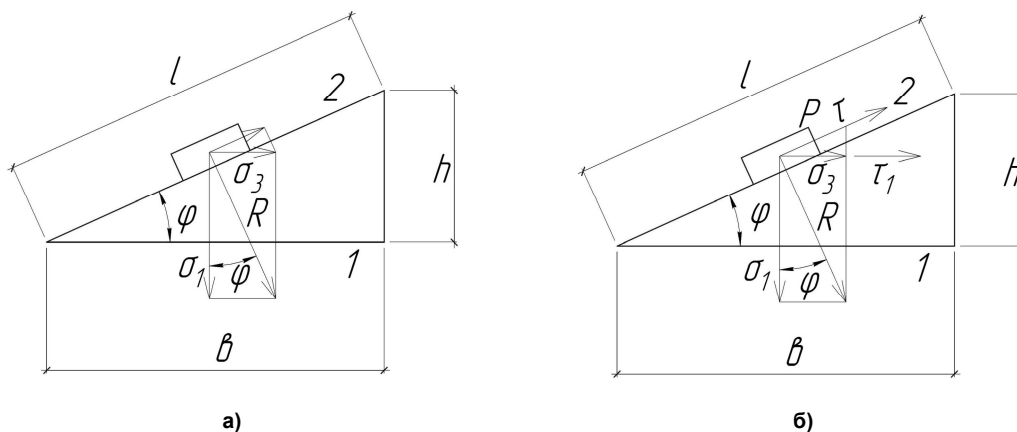


Рис. 2. Схемы наклонно-плоскостных механизмов с главными нормальными напряжениями σ_1 и σ_3 , действующими по наклонным плоскостям 2: на схеме а – при сопротивлении связности C_w и C_z от действия σ_3 параллельно главной исходной плоскости 1 и на схеме б – при сопротивлении зацепления C_z от перемещения вдоль плоскости наклона 2: R – равнодействующая составляющих напряжений σ_1 и $\sigma_3 = \tau_1$

С учетом формулы (5)

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_1 \sin \varphi}{\cos \varphi} = \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

При этом

$$\sigma_3 = \tau_1 = \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где τ_1 – составляющая касательного напряжения τ , действующего по плоскости площадки скольжения 2.

Следовательно, механическая сущность угла внутреннего трения грунта заключается в том, что он является углом наклона плоскости площадки скольжения 2 двух минеральных частиц к главной исходной плоскости 1, перпендикулярно направленного к ней максимального главного нормального напряжения сжатия, при состоянии их предельного равновесия на плоскости площадки скольжения 2, и одновременно является углом отклонения равнодействующей R от максимального главного нормального напряжения сжатия σ_1 .

Математическая сущность угла внутреннего трения грунта заключается в том что он определяется степенной функцией arctg^n с аргументом отношения предельного касательного напряжения сдвига грунта к постоянному нормальному напряжению его сжатия при сдвиге:

$$\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg}^n (\tau / \sigma). \quad (9)$$

Выводы

1. По результатам ретроспективных исследований физической сущности угла внутреннего трения грунта получены весьма противоречивые заключения. С одной стороны, утверждение в отсутствие физического смысла в прочностных характеристиках грунта, с другой стороны, его наличие без раскрытия физической сущности.

2. Впервые открыто и обосновано, что угол внутреннего трения грунта имеет физическую

сущность как носитель, закодированный в степенной функции тангенса, или степенном коэффициенте внутреннего трения грунта, скрытой информации о наступлении состояния предельного равновесия на плоскостях площадок скольжения между смежными сжимаемыми и сдвигаемыми минеральными частицами грунта, отражающей при этом значения сил сопротивления, связности, удельного сцепления и зацепляемости, составляющих значение единой силы трения сдвигаемого грунта; функционально значения удельного сцепления c различных видов грунтов уменьшаются, а значения показателей степени n увеличиваются при увеличении значений углов внутреннего трения грунтов φ .

3. Впервые определена механическая сущность угла внутреннего трения грунта в том, что он является углом наклона площадки скольжения двух сжимаемых и сдвигаемых минеральных частиц грунта к главной исходной плоскости, ортогонально действующего максимального главного нормального напряжения сжатия; одновременно он является углом отклонения от направления максимального главного нормального напряжения сжатия равнодействующей данного максимального и минимального главных нормальных напряжений сжатия: нормального и касательного, действующей в перпендикулярном направлении к плоскости площадки скольжения при состоянии предельного равновесия на ней.

4. Математическая сущность угла внутреннего трения грунта состоит в том, что он представляется степенной функцией arctg^n с аргументом отношения предельного касательного напряжения сдвига грунта к постоянному нормальному напряжению его сжатия при сдвиге.

5. Раскрыты и введены новые разновидности классификации грунтов: суглинопесь и супылепесь, которые необходимо включить в норматив-

Теория расчета строительных конструкций

ные положения [8] и внести в соответствующие разделы инженерной геологии, грунтоведения, механики грунтов, оснований и фундаментов.

Литература

1. Казарновский, В.Д. Оценка сдвигоустойчивости связных грунтов в дорожном строительстве / В.Д. Казарновский // Теоретические основы и практические методы. – М.: Транспорт, 1985. – 168 с.
2. Hvorslev, M. Über die Festigkeit – seingenschaften gestörter bindiger Böden / M. Hvorslev. – У.Е.С. Уад Виммелскафлет, 32, Копенгаген, 1937.
3. Terzaghi, K. Theoretical soil mechanics / K. Terzaghi. – New-York, 1943. – P. 510.
4. Ohde, J. Über den gleitwiderstand der Erdstoffe. Veröffentlichungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt. Wasser und Grundbau / J. Ohde. – Academic-verlag, Berlin, 1956.
5. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. – М., 1982.
6. Грунтоведение / под ред. акад. Е.М. Сергеева. – Изд. 5-е пераб. и доп. – М.: МГУ, 1983. – 395 с.
7. Борозенец, Л.М. Геотехника фундаментостроения и грунтоустойчивости: моногр. / Л.М. Борозенец. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 588 с.
8. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2005. – 130 с.

Борозенец Леонид Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Архитектурно-строительный институт, Тольяттинский государственный университет (Тольятти), tsp@tltu.ru

Поступила в редакцию 8 февраля 2017 г.

DOI: 10.14529/build170204

SCIENTIFIC BASIS OF PHYSICAL, MECHANICAL AND MATHEMATICAL NATURE OF SOIL INTERNAL FRICTION ANGLE

L.M. Borozenets, tsp@tltu.ru
Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The results of retrospective studies of the physical nature of soil internal friction angle are given in the paper. The true nature of the soil internal friction angle is determined: physical, mechanical and mathematical. With the help of the analysis of the initial data of normative strength characteristics of different types of soils and their theoretical study, the factors representing the physical nature of the soil internal friction angle φ are identified; new types of classification of silty-clayed soils are discovered: loamy clayed sand and loamy dusty sand; the values of the degree of tangent function of the soil internal friction angle, determining the values of resistance power of adhesive bond in the shear of loamy clayed sand, loamy sand, loamy dusty sand and sand are discovered for the first time. Using the models of inclined plane mechanisms, the factors of mechanical nature of the soil internal friction angle are defined. Mathematical nature of the soil internal friction angle is represented by the fact that it is determined by the reverse tangent power function with the ratio argument of critical shear stress of soil to a constant normal stress of its compression in shear. The conclusions on the study results are made.

Keywords: mechanics, angle, nature, friction, degree, function, information, balance, cohesion, adhesive bond, site, slip, power, soil, clay, loam, loamy sand, sand, stress.

References

1. Kazarnovskij V.D. *Ocenka sdvigoustojchivosti svjaznyh gruntov v dorozhnom stroitel'stve (Teoreticheskie osnovy i prakticheskie metody)* [Estimation of Shear Stability of Cohesive Soils in Road Construction (Theoretical Foundations and Practical Methods)]. Moscow, Transport Publ., 1985. 168 p.
2. Hvorslev M. J. [Über die Festigkeitseigenschaften Gestörter Bindiger Böden]. Samfund, Ingenirvidenskabelige Skrifter. Copenhagen, Ser. A, no. 45. 1937.
3. Terzaghi K. [Theoretical Soil Mechanics]. New-York, 1943. 510 p.
4. Ohde J. [Über den gleitwiderstand der Erdstoffe. Veröffentlichungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt. Wasser und Grundban]. Berlin, Academic-verlag, 1956.
5. Maslov N.N. *Osnovy inzhenernoj geologii i mehaniki gruntov* [Fundamentals of Engineering Geology and Soil Mechanics]. Moscow, 1982.
6. Сергеев Е. М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р. С. *Gruntovedenie* [Ground Science]. Moscow, MGU Publ., 1983. 395 p.
7. Borozenec L.M. *Geotekhnika fundamentostroenija i gruntoustojchivosti* [Geotechnics of Foundation Engineering and Primer Stability]. Tol'jatti, TGU Publ., 2015. 588 p.
8. SP 50-101-2004. *Proektirovanie i ustrojstvo osnovanij i fundamentov zdaniij i sooruzhenij* [Design and Construction of Footings and Foundations of Buildings and Structures]. Moscow, NIIOSP im. N.M. Gersevanova Publ., 2005. 130 p.

Received 8 February 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Борозенец, Л.М. Научное обоснование физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта / Л.М. Борозенец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 27–33. DOI: 10.14529/build170204

FOR CITATION

Borozenets L.M. Scientific Basis of Physical, Mechanical and Mathematical Nature of Soil Internal Friction Angle. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 27–33. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170204