

DOI:10.26104/NTTIK.2023.55.73.007

Тургунбаев М.С.

ТАШТУУ ДИСПЕРСТИК ТОПУРАКТЫН
СТРУКТУРАЛЫК ЭФФЕКТИСИ

Тургунбаев М.С.

СТРУКТУРНЫЙ ЭФФЕКТ ДИСПЕРСНОГО ГРУНТА
С КАМЕНИСТЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

М. Turgunbajev

STRUCTURAL EFFECT OF DISPERSED
SOIL WITH STONY INCLUSIONS

УДК: 624.131.533

Таш камтыган топурактын структуралык өзгөчөлүктөрү аныкталды. Микроагрегаттар, топурактын минералдык бөлүкчөлөрү кокустук чоңдук болуп саналары жана алардын бөлүштүрүлүшү Пуассондун бөлүштүрүлүшүнө карама-каршы келбей тургандыгы белгиленет. Өлчөмү 2 мм ден аз жана 2 мм ден чоң минералдык бөлүкчөлөрдүн Пуассондун бөлүштүрүлүшүнүн негизинде топурактын структурасы моделдештирилген. Дисперстүү топурактын түзүлүшүнүн өзгөчөлүгү болуп анын структурасы толтургучтун (бөлүкчөлөр 2 ммден аз), ири бүртүкчөлүү минералдык бөлүкчөлөрдүн (бөлүкчөлөр 2 ммден чоң) жана айрым ири катуу таштардын механикалык аралашмасы экендиги саналат. Ири таштар кыртыштын структуралык тектеш эместигин байкаларлык күчөтөт, деформация убагында күч сызыктарын катуу ийилтет жана чыңалуунун концентраторлору болуп саналат. Ири таштардын санына жараша кыртыштын ар кандай түрлөрүнүн талкаланууга каршылык күчүнүн өзгөрүүсүнүнө эсептөө анализи жүргүзүлдү. Айрым таштар топурактын кесүүгө каршылык көрсөтүү күчүнүн жергиликтүү көбөйүшүнүн булактары болуп саналат, күч сызыктарынын түздүгүнүн бузулушу жана чоң таштардын тегерегинде чыңалуунун концентрация болду гипотезасын тастыктайт. Таштак кошулмаларды камтыган дисперстүү кыртыштын айрым структуралык эффектиси ушул көрүнүш менен ырасталат.

Негизги сөздөр: дисперстүү топурак, топурактын түзүлүшү, таштын камтылышы, Пуассон бөлүштүрүлүшү, структураны моделдөө, каршылык күчү, күч сызыктары, чыңалуу концентрациясы, структуралык эффект.

Определены особенности структуры грунта, содержащего каменные включения. Отмечается что микроагрегаты, минеральные частицы грунта являются случайной величиной и их распределение не противоречит распределению Пуассона. Моделирована структура грунта на основе закона Пуассона в зависимости от содержания минеральных частиц размерами менее 2 мм, и крупнее 2 мм. Особенностью структуры дисперсного грунта является то, что его структура представляет собой механическую смесь заполнителя (частицы менее 2 мм), крупнозернистых минеральных частиц (частицы крупнее 2 мм) и отдельных крупных твердых горных обломков в виде каменных включений. Крупные каменные включения заметно усиливают структурную неоднородность грунта, сильно искривляют силовые линии при деформировании и являются концентраторами напряжений. Выполнен вычислительный анализ изменения величины силы сопротивления различных видов грунта разрушению в зависимости от содержания крупных каменных включений. Отдельные каменные включения грунта являются очагами локального увеличения силы сопротивления грунта резанию, подтверждают гипотезу о нарушении прямолинейности силовых линий и concentra-

ции напряжений вокруг крупного обломка. Одной из сторон проявления структурного эффекта дисперсного грунта, содержащего каменные включения, подтверждается этим положением.

Ключевые слова: дисперсный грунт, структура грунта, каменное включение, распределение Пуассона, моделирование структуры, сила сопротивления, силовые линии, концентрация напряжений, структурный эффект.

The features of the structure of the soil containing rocky inclusions are determined. It is noted that micro aggregates, mineral soil particles are a random variable and their distribution does not contradict the Poisson distribution. The soil structure is modeled based on Poisson's law depending on the content of mineral particles smaller than 2 mm and larger than 2 mm. A feature of the structure of dispersed soil is that its structure is a mechanical mixture of aggregate (particles less than 2 mm), coarse-grained mineral particles (particles larger than 2 mm) and individual large solid rock fragments in the form of stony inclusions. Large stony inclusions noticeably enhance the structural heterogeneity of the soil, strongly bend the force lines during deformation and are stress concentrators. A computational analysis of the change in the magnitude of the resistance force of various types of soil to destruction, depending on the content of large stony inclusions, is performed. Individual rocky inclusions of the soil are foci of a local increase in the strength of the resistance of the soil to cutting, confirm the hypothesis of violation of the straightness of the lines of force and stress concentration around a large fragment. One of the sides of the manifestation of the structural effect of dispersed soil containing rocky inclusions is confirmed by this provision.

Key words: dispersed soil, soil structure, rocky inclusion, Poisson distribution, structure modeling, resistance force, force lines, stress concentration, structural effect.

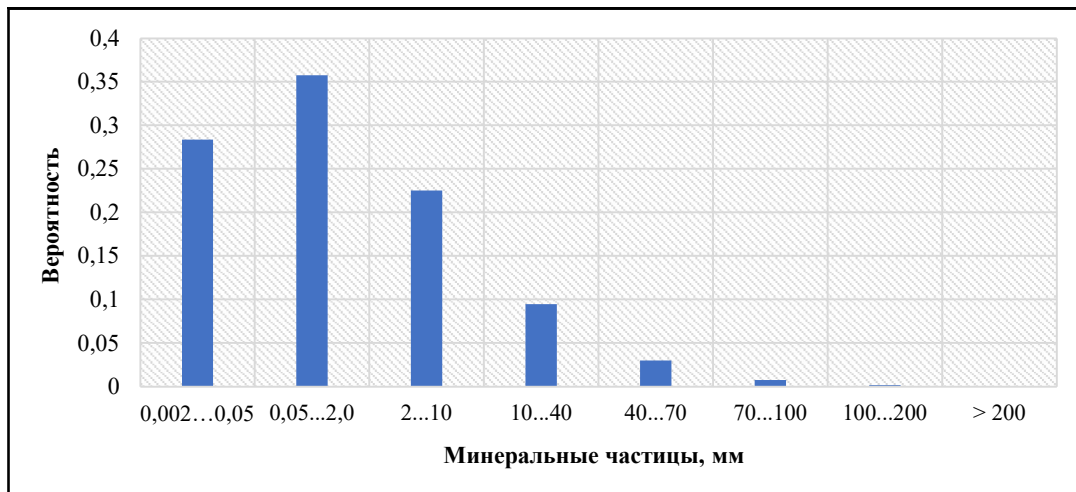
Прочностные и деформационные характеристики грунтов с каменными включениями зависят от структурного состояния: в первую очередь от количества [1], формы и расположения каменных включений [2], цементации блочных камней и пористости [3]. Гранулометрический состав грунта – это совокупность относительного содержания по массе микроагрегатов и минеральных частиц грунта, разделенных по крупности на зерна [4]. Появление зерен и микроагрегатов в структуре грунта является случайной величиной. В [5] установлен закон распределения зерен (фракций) и микроагрегатов грунтов, который не противоречит распределению Пуассона:

$$p(f) = \frac{\lambda^f}{f!} e^{-\lambda} \quad (1)$$

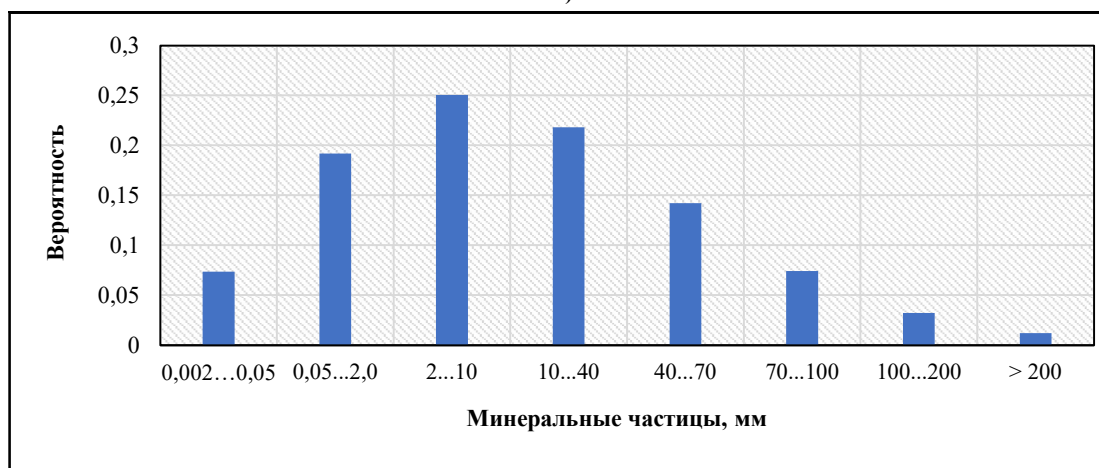
где f – зерно или микроагрегат, λ – математическое ожидание зерен и микроагрегатов грунта.

На рисунке 1 показано распределение вероятнос-

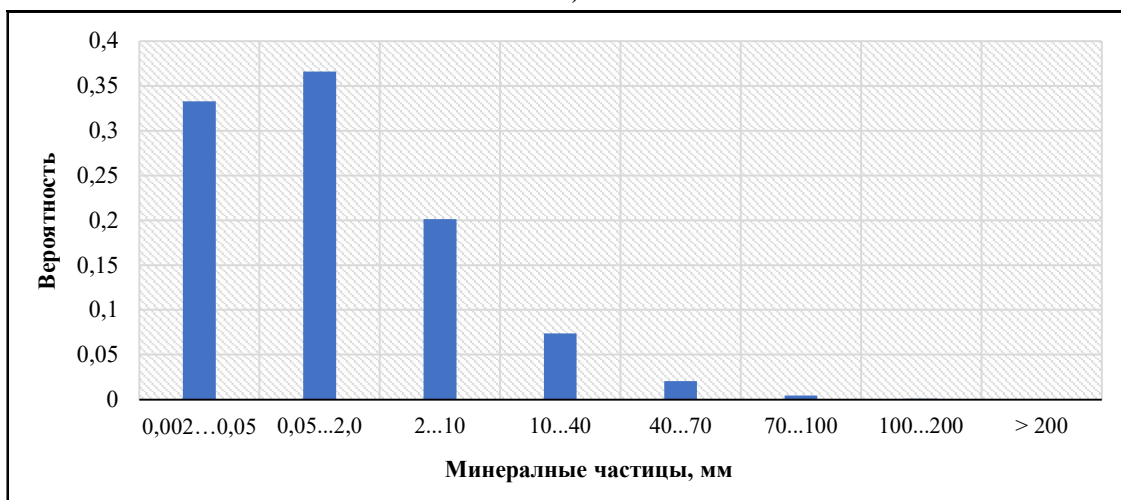
ти микроагрегатов, зерен модельного грунта в зависимости от вида грунта и содержания минеральных частиц крупнее 2 мм.



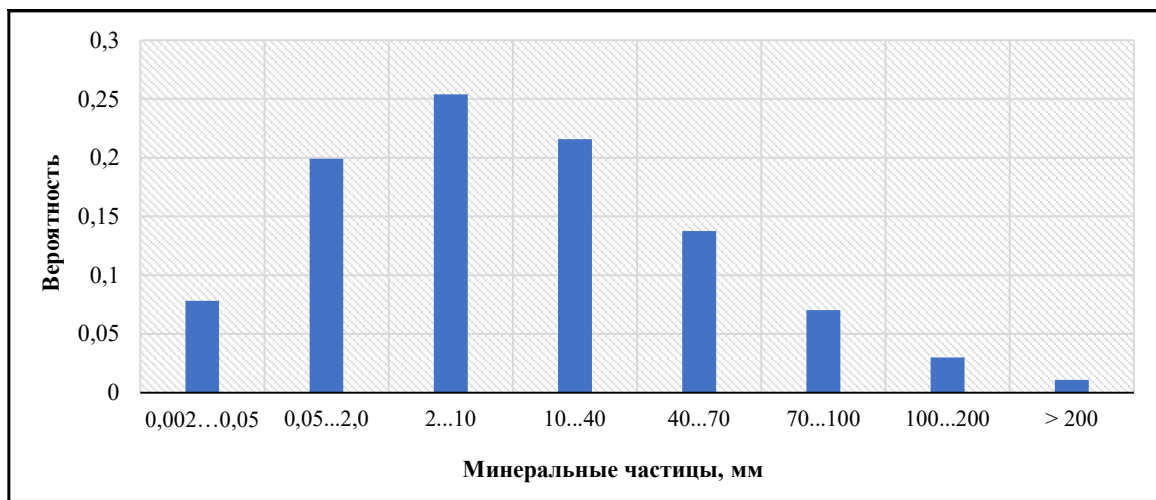
а)



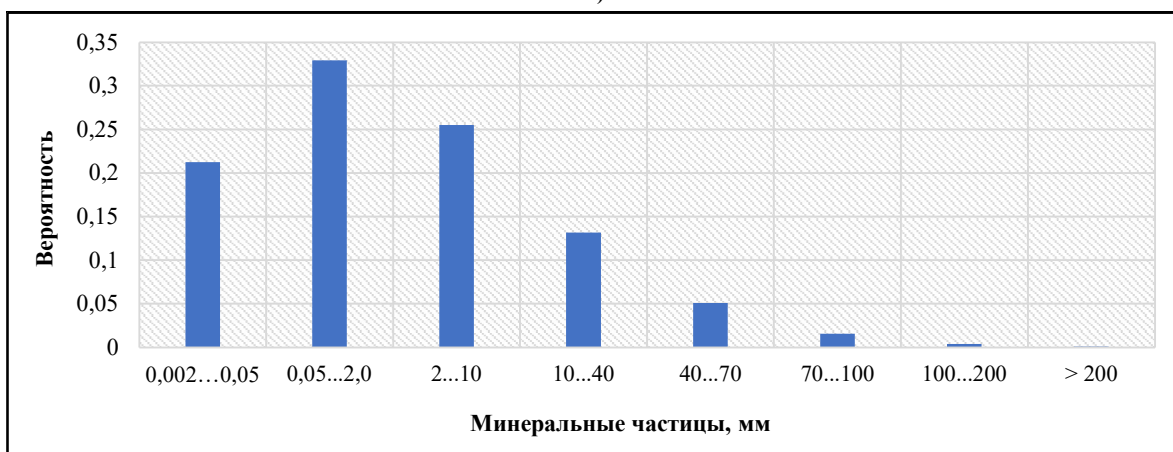
б)



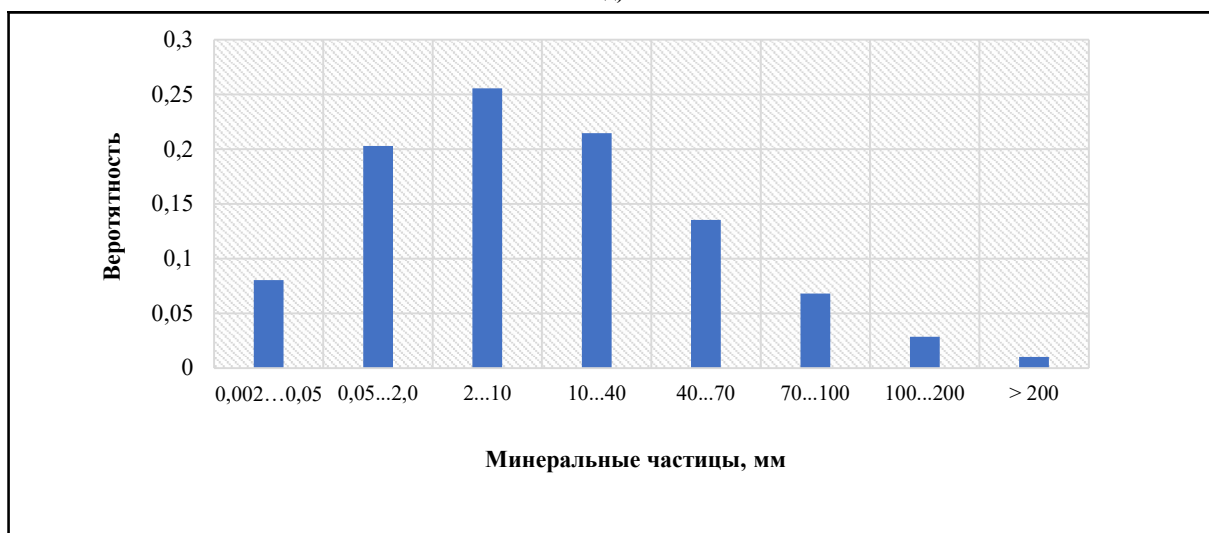
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Распределение микроагрегатов, минеральных частиц модельного грунта в зависимости от вида грунта и содержания зерен крупнее 2 мм: а) супесь – 30%, б) супесь – 70%, в) суглинок – 30%, г) суглинок – 70%, д) глина – 50%, е) глина – 70%.

С увеличением содержания минеральных частиц крупнее 2 мм математическое ожидание частиц перемещается в сторону крупнообломочных зерен (рис. 1). Это говорит о том, что с возрастанием содержания зерен крупнее 2 мм, вероятность появления в структуре грунта крупнообломочных включений растет, структура грунта становится еще более неоднородной. В работе [6] отмечается, что дисперсный грунт представляет собой механическую смесь минеральных частиц с размерами менее 2 мм, крупнее 2 мм, и крупных каменных включений, структура грунта очень неоднородная. Грунт относится к сыпучим телам, состоит из отдельных твердых макроскопических частиц, между которыми существуют физико-химические, физические, механические связи, является разновидностью сплошной среды. Грунты, с крупными включениями можно назвать грунтово-каменной смесью, бимсойлом [7], блочно-матричным грунтом или крупнозернистым грунтом [8], гранулированным грунтом [9], щебнистым грунтом [10]. Грунты с каменными включениями характеризуются выраженной структурной неоднородностью, на деформационные процессы, происходящие в грунте, влияет эффект неоднородности структуры, структурный эффект. Влияние структурного эффекта грунта выражается нару-

шением прямолинейности силовых линий, концентрации напряжений вокруг крупных каменных включений при резании грунта режущим инструментом землеройной машины. Для выявления влияния структурного эффекта на силу сопротивления разрушению грунта проведен вычислительный анализ, на основе [11]-[13]:

$$P_{dm} = P_{rh} + P_{re} + P_{gm} \quad (2)$$

где P_{rh} – сила сопротивления резанию неоднородной механической смеси грунта, P_{re} – сила сопротивления резанию каменного включения, P_{gm} – сила сопротивления выкатыванию каменного включения.

Согласно [11]-[13] поверхность каменного включения разбивается на элементарные полоски, к которым прикладываются элементарные силы сопротивления грунта резанию. Высота элементарных полосок равна:

$$\mu = \frac{c_e}{k_\mu} \quad (3)$$

где k_μ – количество элементарных полосок.

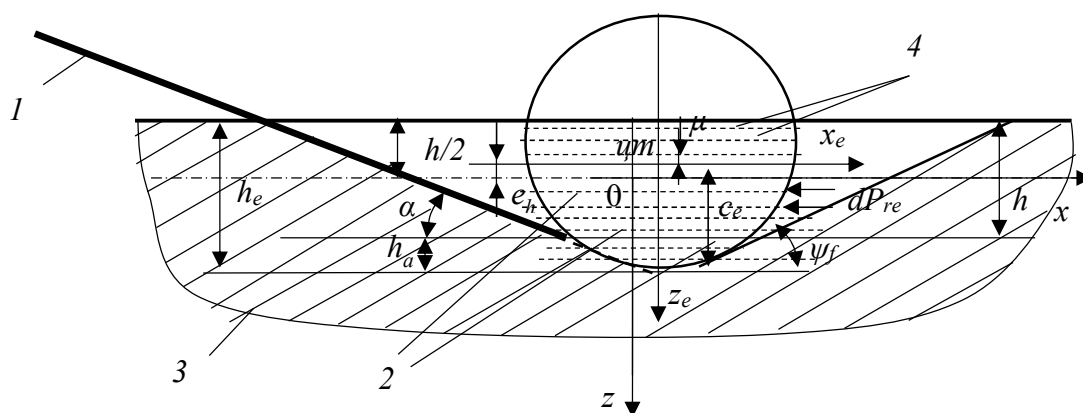


Рис. 2. Схема резания грунта, содержащего шаровидное каменное включение: 1 – режущий инструмент, 2 – каменное включение, 3 – грунт, 4 – элементарные полоски, cm – центр тяжести обломка, h – глубина резания, α – угол резания, ψ_f – угол сдвига во фронтальной части, c_e – радиус шаровидного камня, e_h – эксцентриситет по глубине резания, h_e – глубина залегания обломочного включения, h_a – высота дополнительной области, μ – высота элементарной полоски, dP_{re} – элементарные силы сопротивления грунта резанию.

В случае выполнения неравенства (рис. 2):

$$\sum_{i=1}^{i=m} \mu_i \geq \frac{h}{2} + e_h \quad (4)$$

Появляется так называемая «пассивная» часть каменного включения, которая выступает дневной поверхности грунта и не участвует в процессе резания грунта. При выполнении неравенства (4) расчет силы сопротивления грунта резанию прекращается. Параметры грунта и его резания приведены в таблице 1.

Параметры грунта и резания

Вид грунта	Частицы крупнее 2 мм, %	Показатель консистенции	Угол резания, °	Глубина резания, м	Ширина резания, м	h_a
Супесь	30, 70	пластичная	30	0,15	0,2	$0,25c_e$
Суглинок	30, 70	полутвердая	30	0,15	0,2	$0,25c_e$
Глина	50, 70	полутвердая	30	0,15	0,2	$0,25c_e$

Структура грунта характеризуется содержанием в ней микроагрегатов, минералов различной крупности, связями между ними и наличием воздуха, влаги в порах. В [14] структура и физическое состояние грунта оценивается физическим эквивалентом:

$$\mu_\tau = \frac{p_1}{p_2} I_p (1 + I_L) \quad (5)$$

где p_1 – содержание микроагрегатов и минералов размером менее 2мм, %, p_2 – содержание минералов размером более 2мм, %, I_p – число пластичности глинистого и пылеватого заполнителя, I_L – показатель консистенции глинистого и пылеватого заполнителя.

Нормативный угол внутреннего трения равен [14]:

$$\phi_n = 46k_1 k_\phi 0,3^{\mu_\tau} \quad (6)$$

где k_1 – коэффициент окатанности крупных обломочных включений для угла внутреннего трения, k_ϕ – коэффициент прочности крупных обломочных включений, μ_τ – физический эквивалент грунта.

Нормативное удельное сцепление равно [14]:

$$c_n = \frac{79k_2 k_\rho \mu_\tau^{0,32}}{(1+I_L)^{3,62}} \quad (7)$$

где k_2 – коэффициент окатанности крупных обломочных включений для удельного сцепления, k_ρ – коэффициент плотности грунта.

Анализ выражений (5)-(7) показывает, что на прочностные характеристики грунта влияют плотность, содержание глинистых частиц, минеральных частиц менее и крупнее 2мм, естественная влажность, прочность и окатанность крупных минералов.

Выводы. Дисперсный грунт с каменистыми включениями можно представить, как механическую неоднородную смесь минеральных частиц менее и крупнее 2 мм сильно отличающиеся по своим физическим и механическим свойствами, а наличие отдельного крупного каменистого включения еще более усиливает структурную неоднородность грунта. Крупное каменистое включение нарушает прямолинейность силовых линий, является концентратором силы, напряжений в структуре грунта при резании грунта режущим инструментом землеройной машины, вызывает локальное увеличение силы сопротивления грунта разрушению.

Литература:

1. Kokusho T., Hara T. Hiraoka R. Undrained shear strength of granular soils with different particle gradations. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 2004, 130, 621-629. [CrossRef] (in Eng).
2. Chen H., Wan J.P. (2004) The effect of orientation and shape distribution of gravel on slope angles in central Taiwan. Eng. Geol. 2004, 72, 19-31. [CrossRef] (in Eng).
3. Vallejo L.E., Mawby R. (2000) Porosity influence on the shear strength of granular material-clay mixtures. Eng. Geol. 2000, 58, 125-136. [CrossRef] (in Eng).
4. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., 2018. -45 с.
5. Тургунбаев М.С. К вопросу закона распределения минеральных частиц грунта. Высокие технологии в строительном комплексе. Научно-технический журнал. Воронежский гос. тех. унив. online – www.ttmko.ru. №1, 2020.
6. Тургунбаев М.С. Моделирование структуры дисперсного грунта с каменистыми включениями. [Текст]/Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - Б., 2023. - №4.
7. Medley E., Goodman R.E. Estimating the block volumetric proportion of melanges and similar block-in-matrix rocks (bim-rocks). In Proceeding of the 1st North American Rock Mechanics Conference (NARMS), Austin, TX, USA, 20 Febr., 1994. Balkema: Rotterdam, The Netherlands, 1994; pp. 851-858.
8. Indrawan I.G.B., Rahardjo H., Leong E.C. Effects of coarse-grained materials on properties of residual soil. Eng. Geol. 2006, 82, 154-164. [CrossRef]
9. Vallejo, L.E.; Mawby, R. Porosity influence on the shear strength of granular material-clay mixtures. Eng. Geol. 2000, 58, 125-136. [CrossRef]
10. Chang W.J., Phantachang T. Effects of gravel content on shear resistance of gravelly soils. Eng. Geol. 2016. 78-90. [CrossRef]
11. Мендекеев Р.А. К определению силы сопротивления разрушению породы, содержащей каменистое включение, рабочим органом землеройной машины. [Текст] / Р.А. Мендекеев, М.С. Тургунбаев // Механизация строительства. 2015. - №8(854). - С. 24-26.
12. Turgumbayev J.J., Turgunbayev M.S. Prediction of the cutting resistance force of the soil containing stony fractions. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Vol.5, N449 (2021).<https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X>. 86. (in Eng).
13. Тургумбаев Ж.Ж. Модель прогнозирования силу сопротивления резанию грунта, содержащего различные каменистые включения [Текст]/ Ж.Ж.Тургумбаев, М.С.Тургунбаев. / Высокие технологии в строительном комплексе. / Научно-технический журнал. – Воронеж, 2021. - №2. - С. 130-138. www.ttmko.ru ISSN 2618-9054
14. Методика оценки прочности и сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями. ДальНИИС. - М.: Стройиздат, 1989. - С. 24.