

խնդիրները են կուտակվել ի ՀՀԽ-ի ջրամատակարարման և ջրահեռացման ու
լորտում: Զափագանց կարևոր է, որպեսզի շուտափույթ կերպով վերացվի
աղբրեջանական հանրապետության խտրականությունը ի ՀՀԽ-ի նկատմամբ:
Մեր գիտարկած բնագավառում դա կարելի է իրականացնել՝ ստեղծելով մար-
զային ջրային տնտեսության վարչություն, որն իր ձեռքում կկենտրոնացնե
ջրօգտագործման-ջրահեռացման բոլոր հարցերը և կունենա րացարձակ ինք-
նուրույնություն՝ ենթարկվելով միայն և միմիայն մարզային համապատաս-
խան մարմիններին, իսկ ավելի ճիշտ՝ Հայկական ԽՍՀ համապատասխան
գերատեսչությանը:

S. V. MUSAYELIAN

THE NAGORNY KARABAKH AUTONOMOUS REGION WATER RESOURCES AND THEIR CONTEMPORARY UTILIZATION

A b s t r a c t

The Nagorny Karabakh autonomous region water resources calcu-
lation is brought and their utilization contemporary state is considered.
A special attention is paid to the water-consumption by the rural eco-
nomy and the population. The extremely critical situation of the region
water economy is shown and the concrete recommendations are given
for its improvement.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XLII, 1989, № 6, 39—46.

УДК: 624.131.22

В. С. САРКИСЯН, С. Е. МИСАКЯН

К ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Рассматривается метод расчета прочности глинистых грунтов на растяжение пу-
тем интегрирования прочности всех контактов между частицами грунта в плоскости
разрушения. Полученная расчетная зависимость отличается тем, что учитывает влия-
ние влажности грунта на его прочность.

При проектировании, строительстве и эксплуатации каналов, во-
дохранилищ и других гидротехнических сооружений возникает вопрос
о борьбе с фильтрацией, приводящей к подтоплению и засолению при-
легающих земель. Для борьбы с потерями воды устраиваются различ-
ные противофильтрационные мероприятия, в том числе грунтовые экра-
ны. В состав противофильтрационных грунтовых экранов в основном
входят глины и суглинки. Учитывая, что в большинстве водохранилищ
и каналов уровень воды в течение года существенно меняется, а иног-
да вода и полностью отсутствует, то происходят существенные измене-
ния влажности в противофильтрационном экране. Вследствие этого
грунт то высыхает (при снижении уровня воды), то набухает (при по-
вышении уровня воды) и соответственно возникают сжимающие и
растягивающие напряжения, часто приводящие к разрушению экрана
(образование трещин и др.). Для избежания этих отрицательных яв-
лений при устройстве грунтовых противофильтрационных экранов в
Институте водных проблем и гидротехники совместно с кафедрой ме-

ханики грунтов ЕрПИ проводятся исследования глинистых грунтов. Целью этих исследований является разработка такого рецепта (состава) для изготовления грунтового экрана, когда изменение влажности и градиента давления не приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния грунта и тем самым избежать разрушения экрана.

При проектировании и строительстве глинистых противофильтрационных экранов необходимо решать ряд вопросов, а именно:

—устойчивость глиняного тела экрана под действием фильтрационного потока;

—вид фильтрационного разрушения при различных условиях работы экрана;

—подбор материалов подстилающего слоя экрана и т. д.

Характерной особенностью глинистых грунтов, как известно, является сцепление, которое и существенно влияет на их фильтрационную прочность

Связь между частицами в глинистых грунтах при различных деформациях может проявляться в следующих видах: сцепление при сдвиге или срезе c_s , сцепление при разрыве c_p , сцепление при поверхностной пенетрации грунтов твердым телом $c_{ш}$ методом шариковой пробы (предложенным Н. А. Цытовичем) или конусом Ребиндера (c_k). Если не изменяются плотность и влажность грунта, то связь между отдельными частицами глинистых грунтов сохраняется с течением времени и при наличии фильтрационного потока.

Результаты некоторых определений сцепления при разрыве c_p и пенетрации c_k при различных влажностях бентонитовых глин Саригюхского месторождения приводятся ниже.

Влажность образца ω%	Сцепление при разрыве. c_p , г/см ²	Сцепление при пенетрации конусом Ребиндера c_k , г/см ²
100	150	190
140	125	150
180	85	90
220	45	65
260	18	2

Для решения вопроса о разрушениях глинистых грунтов фильтрационным потоком, необходимо также оценить сопротивляемость отрыву отдельных частиц глинистых грунтов или агрегатов, т. е. молекулярное сцепление между ними. В настоящее время природа сил связи между частицами глинистых грунтов еще не установлена до конца.

Для выражения молекулярного притяжения (прилипания) единой частицы шаровидной формы к другой. В. В. Дерягиным получена следующая формула [1]:

$$N_0 = 2\pi \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} f(0), \quad (1)$$

где r_1 и r_2 — соответственно радиусы этих частиц; $f(0)$ — поверхностная энергия прилипания частиц. Для кварца „получено“ $f(0) = 70 \text{ эрг/см}^2$.

Как показывают результаты электронно-микроскопических исследований М. Ф. Викуловой [1], кварц часто наблюдается не только в крупнозернистых частицах глин, но и в мелкозернистых фракциях $d < 1 \text{ мкм}$. В рентгеноскопических и термических исследованиях П. Ф. Мельникова [1] получен и количественный состав мелкозернистой части грунтов. Этими исследованиями было обнаружено практически постоянное присутствие кварца в количестве 49—51% во фракциях $d < 1 \text{ мкм}$ самых разнообразных грунтов, содержащих как лишь минеральные частицы (глины и суглинки), так и органические вещества (различные почвы). Учитывая это обстоятельство, в формуле (1) значение $f(0)$ можно принимать равным 70 эрг/см^2 .

В работе [1] для определения сцепления глинистых грунтов при разрыве c_p получена зависимость:

$$c_p = 0,14 \cdot 10^{-2} \frac{1}{d_{80}},$$

где d_{80} — диаметр частиц в мм, который соответствует размерам частиц, меньше которых в грунте 80% по массе.

На основании экспериментальных исследований Б. В. Дерягина [1] установлено, что вода в тонких слоях толщиной около $H < 0,15$ мкм обладает упругими свойствами, а при $H > 15$ мкм величина $G_{cav} = 0$. Для исключения влияния упругости прослоек воды между частицами глинистого грунта на его прочность, было выбрано состояние грунта на границе текучести при $\omega = \omega_l$, когда $d = d_{80}$. При иных состояниях грунта (ω , ρ_d , G_{cav}) надо подобрать другие диаметры частиц, т. е. найти определенный диаметр агрегатов частиц.

Для исключения этих недостатков нами была сделана попытка определения c_p глинистых грунтов. Сделаем несколько допущений, которые необходимы для дальнейших расчетов.

Допустим, что грунт состоит из шаровидных частиц, а влажность грунта находится в таких пределах, при которых толщина водных оболочек незначительна по сравнению с диаметром частицы.

Как в работе [2] нами тоже принимается, что модель грунта состоит из плотных шаров разного диаметра. Число частиц z , радиус которых находится в пределах $(r - dr) < r < (r + dr)$, представим в виде функции от радиуса

$$dz = z_1 \cdot \varphi(R) \cdot dR; \quad R = r/r_m, \quad (2)$$

где z_1 — число всех частиц в единице объема материала; r — радиус частицы; r_m — максимальный радиус частиц; $\varphi(R)$ — функция распределения.

Обозначив $\psi_i = \int_0^1 R^i \cdot \varphi(R) dR$ для среднего радиуса частицы \bar{r} , суммарной поверхности частиц S и суммарного объема частиц v , получим следующие выражения:

$$\bar{r} = \frac{1}{z_1} \int_0^{r_m} r \cdot dz = r_m \psi_1; \quad (3)$$

$$S = \int_0^{r_m} 4\pi \cdot r^2 \cdot dz = 4\pi r_m^2 z_1 \psi_2; \quad (4)$$

$$v = \int_0^{r_m} \frac{4}{3} \pi r^3 dz = \frac{4}{3} \psi_3 r_m^3 z_1. \quad (5)$$

Заметим, что суммарную поверхность частиц S можно выразить через удельную поверхность S_0

$$S = v \rho_s S_0$$

где ρ_s — плотность частиц, г/см³; S_0 — удельная поверхность в см²/г.

Очевидно, поверхность разрушения должна проходить через самые слабые места системы, т. е. через контакты таких двух поверхностей $a-a$ и $b-b$, которые разделены только одним слоем частиц $c-c$ (рис. 1).

Число контактов на поверхности разрушения должно быть мини-

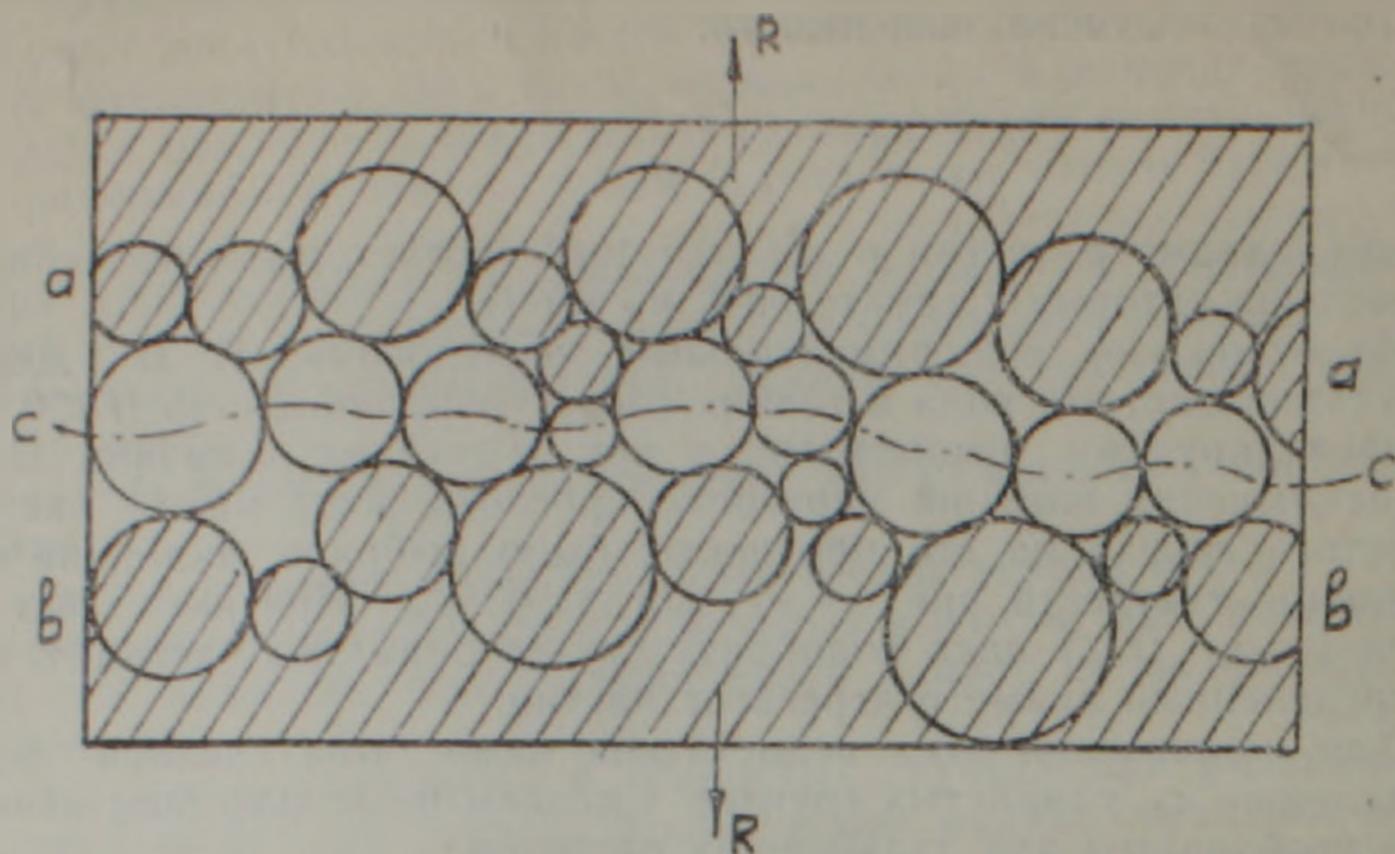


Рис. 1. Расположение частиц грунта в зоне разрушения

мальным, а минимальная сопротивляемость будет соответствовать случаю, при котором поверхность *c-c* располагается нормально к направлению растягивающих напряжений.

Число частиц одинакового радиуса r_i , лежащих в единице площади на плоскости *c-c* составит:

$$dn_i = 2r_i dz = 2r_m z_1 R_i \varphi(R_i) dR_i \quad (6)$$

Теперь, выбираем из всех частиц, лежащих между поверхностями *a-a* и *b-b* единственную частицу радиуса r_i и рассмотрим сколько частиц d_m радиусом r_j прикасаются к ней. Очевидно, что это число должно быть равным вероятному числу частиц радиусом r_j в объеме [2]

$$4 \frac{\pi}{3} [(r_i + 2r_j)^3 - r_i^3] - \pi [(r_i + 2r_j)^2 - r_i^2] 2r_j,$$

а величина d_m составит

$$d_m = \pi r_m^3 z_1 \left[8R_i^2 R_j + 4R_i R_j^2 + \frac{20}{3} R_j^3 \right] \varphi(R_j) dR_j. \quad (7)$$

Сила, необходимая для разрыва молекулярных связей между одной частицей радиусом r_i и соприкасающихся частиц радиусом r_j будет

$$dN_i = N_0 \cdot d_m, \quad (8)$$

где N_0 — сила притяжения между двумя частицами с радиусом r_i и r_j .

Энергию молекулярных сил притяжения в случае взаимодействия двух сфер (частиц) Визе и Хили предлагают считать по следующим формулам [3], при $0,5 < p_0 = \frac{2\pi H}{\lambda} < \infty$

$$U_m = - \frac{2Ar_i r_j}{H(r_i + r_j)} \left[- \frac{2,45}{60p_0} + \frac{2,17}{180p_0^2} - \frac{0,59}{420p_0^3} \right], \quad (9)$$

а при $0 < p_0 < 2$

$$U_m = - \frac{Ar_i r_j}{6H(r_i + r_j)} \left[\frac{1}{1 + 1,77p_0} \right],$$

где H — расстояние между поверхностями частиц; λ — характеристическая длина волны в спектре излучения $\lambda \approx 1000 \text{ \AA}$; A — постоянная молекулярных сил притяжения Гамакера. Для воды $A \approx 10^{-12} \text{ эрг}$.

Сила притяжения между частицами согласно (9) будет:

$$N_0 = -\frac{dU_m}{dH} = \frac{2Ar_i r_j}{H^2(r_i + r_j)} \left[\frac{4,9}{60\rho_0} - \frac{2,17}{60\rho_0^2} + \frac{0,59}{105\rho_0^3} \right]. \quad (10)$$

Для упрощения последующих расчетов уравнение (10) представим в виде

$$N_0 = 2B \left(\frac{r_i r_j}{r_i + r_j} \right) = 2B r_m \left(\frac{R_i R_j}{R_i + R_j} \right). \quad (11)$$

Здесь

$$B = \frac{A}{H^2} \left[\frac{4,9}{60\rho_0} - \frac{2,17}{60\rho_0^2} + \frac{0,59}{105\rho_0^3} \right].$$

Преимущество полученного уравнения по сравнению с (1) состоит в том, что силы притяжения между частицами согласно (10) определяются в зависимости от H , которая в свою очередь зависит от влажности грунта.

Таким образом, при расчете $\sigma_{отр} = c_p$ грунта в отличие от формулы Дерягина учитывается также влажность грунта.

Интегрируя уравнение (8) в пределах $0 < R_i < 1$, получим сумму сил, возникших между частицами всех диаметров, контактирующих с одной частицей радиусом r . Непосредственное интегрирование (8) при значениях N_0 по (11) и d_m по (7) приводит к громоздким выражениям. Между тем, если учесть, что размеры частиц монтмориллонитовых глин в основном располагаются в узком диапазоне $0,03 - 0,3 \text{ мк}$, то вместо уравнения (11) можно использовать зависимость

$$N_0 = r_m B (R_i \cdot R_j)^{1/2} \quad (12)$$

Подставляя уравнения (7) и (12) в уравнение (8), получим:

$$dN_i = 4\pi r_m^4 z_1 B \left[2R_i^2 R_j + R_i R_j^2 + \frac{5}{3} R_j^3 \right] (R_i \cdot R_j)^{1/2} \psi(R_i) dR_i. \quad (13)$$

Интегрирования (13) в пределах $0 < R_i < 1$ даст:

$$N_i = 4\pi r_m^4 z_1 B R_i^{1/2} \left[2R_i^{2,5} \psi_{1,5} + R_i \psi_{2,5} + \frac{5}{2} \psi_{3,5} \right] \quad (14)$$

Число частиц радиусом r_i , в единице площади на плоскости $c-c$ равно dn_i , поэтому сумма сил между всеми частицами радиусом r_i и всеми остальными частицами, будет

$$dN = N_i dn_i = 8\pi r_m^5 z_1^2 \cdot B \left[2R_i^{2,5} \psi_{1,5} + R_i^{1,5} \psi_{2,5} + \frac{5}{3} R_i^{0,5} \psi_{3,5} \right] R_i^2 \psi(R_i) dR_i \quad (15)$$

Интегрируя уравнение (15) в пределах $0 < R_i < 1$ и деля результат на 2 (так как каждый контакт считается в расчете дважды), получим сумму сил между частицами слоя $c-c$ и этих же частиц с частицами, расположенными в плоскостях $a-a$ и $b-b$. Имеем

$$N = 4\pi r_m^5 z_1^2 B \left[2\psi_{3,5} \psi_{1,5} + \psi_{2,5} \psi_{2,5} + \frac{5}{3} \psi_{1,5} \psi_{3,5} \right]. \quad (16)$$

В среднем, число контактов в плоскости разрушения можно принимать в три раза меньше, чем вычисленное по (16), т. е. отрывающее напряжение $\sigma_{отр}$ будет:

$$\sigma_{\text{орг}} = \frac{4}{3} \pi r_m^5 z_1^2 B \left[\psi_{2,5}^2 + \frac{11}{3} \psi_{1,5} \psi_{3,5} \right] \quad (17)$$

Объем твердых частиц в единице объема грунта будет определяться нижеприведенным уравнением

$$m = v_s = \frac{\rho}{\rho_s(1 + \omega)}, \quad (18)$$

где ρ — плотность природного грунта; ω — влажность грунта.

Приравняв правые части (18) и (5), находим z_1 и вводя ее в (17), получим

$$\sigma_{\text{орг}} = \frac{3}{4} \frac{\rho^2 B}{\pi r_m^5 (1 + \omega)^2} \cdot \frac{1}{\psi_{1,5}^2} \left[\psi_{2,5}^2 + \frac{11}{3} \psi_{1,5} \psi_{3,5} \right]. \quad (19)$$

В формулу (19) входит величина H (расстояние между поверхностными частицами), которую трудно измерить, поэтому целесообразно заменить более практичным параметром ω (влажность). Взаимосвязь между этими величинами H и ω определим из следующих соображений. Частицы в глиняной пасте имеют беспорядочное распределение, отсутствуют большие каверны и поры. Такую структуру имеет и кусок высушенной глины с тем лишь различием, что вместо непосредственных контактов между частицами, в сухом образце, влажная глина имеет частицы, раздвинутые водяными пленками толщиной $H = 2\delta_i$, где δ_i — толщина водяной оболочки одной частицы.

Объем твердых частиц в высушенном грунте определяется из уравнения:

$$v_s = v_c(1 - n), \quad (20)$$

где v_c — объем грунта; n — пористость.

Удельная поверхность (объемная) частиц грунта в 1 см^3 объема образца

$$U_c^0 = \frac{S_c}{v_c(1 - n)}, \quad (21)$$

где S_c — общая площадь частиц образца.

Объем водяных оболочек частиц грунта в образце равен:

$$S_c \delta_c = U_c^0 v_c \delta_c (1 - n). \quad (22)$$

Объем твердых частиц грунта с их оболочками

$$v_s(1 - n) + S_c \delta_c = v_c(1 - n)(1 + u_c^0 \delta_c). \quad (23)$$

Объем пустот между грунтовыми частицами после раздвижки их пленками воды можно определить из отношения:

$$\frac{v_c n v_c(1 - n)(1 + u_c^0 \delta_c)}{v_c(1 - n)} = v_c n(1 + u_c^0 \delta_c) \quad (24)$$

Объем воды, необходимый для заполнения пустот и образования пленок на грунтовых частицах, составит:

$$v_b = v_c n(1 + u_c^0 \delta_c) + u_c^0 v_c(1 - n) \delta_c = v_c n(n + u_c^0 \delta_c). \quad (25)$$

Объем грунта после раздвижки частиц бентонита пленками воды определяется выражением:

$$v_r = v_c(1 - n) + v_c(n + u_c^0 \delta_c) = v_c(1 + u_c^0 \delta_c) \quad (26)$$

с другой стороны

$$v_r = \frac{M_r}{\rho_s} + \frac{M_r}{\rho_b} \omega, \quad (27)$$

где M_r — масса грунта.

Для одного грамма грунта:

$$v_r = \frac{1}{\rho_s} + \frac{\omega}{\rho_b}; \quad v_c = \frac{1}{\rho_c}; \quad u_c = \frac{u_c^0}{\rho_c}, \quad (28)$$

где ρ_c — плотность сухого грунта.

Из уравнения (26) и (28) получим

$$\frac{H}{2} = \delta_c = \frac{1}{u_c} \left(\frac{1}{\rho_s} - \frac{1}{\rho_c} + \frac{\omega}{\rho_b} \right). \quad (29)$$

Для бентонита Саригюхского месторождения $u = 648 \text{ м}^2/\text{г}$ и наши опыты показали, что $\rho_c = 1,2 \text{ г/см}^3$.

Итак, решая уравнение (19), учитывая (11) и (29), можно определить прочность на растяжение глинистого грунта, если известны: плотность грунта — ρ ; плотность сухого грунта — ρ_c ; плотность частицы грунта — ρ_s ; влажность грунта — ω ; функция распределения частиц по размерам $\zeta(R)$. При отсутствии экспериментальных данных величину u_c^0 можно определить по формуле:

$$u_c^0 = \frac{3\rho}{\rho_s r_m (1 + \omega)\rho_c} \frac{\psi_2}{\psi_3}$$

Таким образом определяются все характеристики, необходимые для исследования прочности глинистых грунтов.

З а к л ю ч е н и е

1. Для модели глинистого грунта, состоящей из плотных шаров разного диаметра, вероятностными методами установлена связь между геометрическими параметрами водного пространства.

2. Для расчета межчастичного притяжения вместо формулы (1) использована более обобщенная формула (9), в которой учтено влияние межчастичного расстояния H , или влажности на прочность грунта.

3. Предложена формула (19) для расчета прочности глинистого грунта на растяжение, полученная интегрированием прочности всех контактов между частицами грунта в плоскости разрушения.

Ереванский политехнический институт,
ИВПиГ Минводхоза АрмССР

Поступила 2.III.1989.

Վ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս. Ն. ՄԻՍԱԿՅԱՆ

ԿԱՎԱՅԻՆ ԳԵՏԻՆՆԵՐԻ ԱՍԲՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԿ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Ջրամբարների և ջրանցքների նախագծման ընթացքում կարևոր նշանակություն ունի գրանցից տեղի ունեցող ջրի ծծանցումը կանխելու հարցը: Գոյություն ունեն հակածծանցման միջոցառումների դա՛նադան եղանակներ, որոնցից իրենց հուսալիությունը աչքի են ընկնում գեանահողային (կավա-

յին) դիմկայունները նշված կառույցների պործունեության բնթայցրում շատ հաճախ սեղի են ունենում ջրի մակարդակի տատանումների Հասկայես ու ոռոգման նպատակների համար ստեղծված կոռույցներում այդ երևույթն օրինաչափ է և մեծ չափերի է հասնում: Այսպես օրինակ, ոռոգման սեղունի վերջում ջրամբարները դատարկվում են, իսկ ջրանցքների աշխատանքը ժամանակավորապես դադարեցվում է: Նման դեպքերում կավային դիմկայունները ջրագրկվելով շորանում են, ինչի հետևանքով նրանց մեջ սատիճանաբար հզորանում են ձգող լարումները, որոնք և հանգեցնում են դիմկայի մարմնի ձևախախտման, ճարճքման: Այս անցանկալի երևույթը կանխելու և կավային դիմկայունների ճարակայունությունը ապահովելու նպատակով համապատասխան ինժեներական միջոցառումների կիրառման անհրաժեշտություն է զգացվում, որտեղ առաջնահերթ կարևորություն է ստանում ձգող լարումների առկայության պայմաններում կավի ամրությունը որոշելու հարցը:

Այս նպատակով սույն հոդվածում փորձ է արվել տեսականորեն ստանալու մի այնպիսի բանաձև, որն ի տարբերություն այլ հայտնի բանաձևերի, հնարավորություն է տալիս որոշելու կավերի ձգման ամրությունը՝ հաշվի առնելով նաև նրանց խոնավությունը:

Ըստ բանաձևի, ունենալով բնական վիճակում կավի խտությունը, կավի մասնիկների խտությունը, կավի խոնավությունը, մասնիկների տեսակարար մակերեսը և բաշխման ֆունկցիայի արժեքները, կարելի է որոշել կավի ձգման ամրությունը:

V. S. SARKISIAN, S. F. MISAKIAN

ON THE CLAY GROUNDS STRENGTH THEORY

A b s t r a c t

The clay grounds tensile strength calculation method is considered by means of integration the strength of all contacts between ground particles in the destruction plane. The obtained calculated dependence is notable for taking into account the influence of a ground humidity on its strength.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВНИИ Водгос. Фильтрационная прочность глинистых грунтов, М. Стройиздат, 1975.
2. Ефремов И. Ф. Периодические коллоидные структуры. Изд. Химия, Ленинградского отделения, 1971.
3. Полак А. Ф., Бабков В. В. Физико-химическая механика дисперсных структур. Изд-во АН СССР, 1967.