

УДК 624.131

Баймахан А.Р.^{1*}, Абдирахметова З.М.¹, Сейнасинова А.А.², Баймахан Р.Б.³¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы² Академия гражданской авиации, Республика Казахстан, г. Алматы³ Казахский государственный женский педагогический университет, Республика Казахстан, г. Алматы

E-mail: *baimahan-aigerim@mail.ru

Разработка условий пластичности для грунтов анизотропного строения

В статье рассматривается вопрос разработки новых обобщенных условия пластичности (прочности) применительно к грунтам анизотропного, в частности для грунтов трансверсально-изотропного (транстропного) строения. Предлагается вывести такие условия обобщения известных условия пластичности Кулона - Мора $\tau_c = C + \sigma_n \tan \varphi$, для двух направлений: вдоль слоев \parallel и в крест слоям, то есть для направлений \perp к слоям, относительно плоскости изотропии для грунтов, которые имеют транстропное строение, систематизированное впервые А.К. Бугровым и А.И. Голубевым. Авторы анализируют также возможности обобщения условий пластичности (прочности) по главным напряжениям σ_1 и σ_2 , а также по значениям критических главных напряжений σ_{1c} и σ_2 , предложенное и развитое в свое время для грунтов изотропного строения Н.А. Цытовичем и Н.С. Булычевым, следуя подходу В.Витке, который предложил такого критерия применительно к горным породам ортотропного строения. Приведением экспериментальных данных о физико-механических и прочностных свойствах грунтов анизотропного строения и на базе предложенных новых обобщенных условий делается вывод о том, что можно определить зоны пластичности грунта транстропного строения.

Ключевые слова: анизотропия, грунт, пластичность, плоскость изотропии, угол наклона, касательные напряжения .

Baimakhan A.R., Abdiakhmetova Z.M., Seynasinova A.A., Baimakhan R.B.

Development of plasticity conditions for isotropic structure of the soil

The article discusses the development of new generalized condition of plasticity (strength) with respect to ground anisotropic, in particular for the transversely isotropic soils (transtropic) structure. It is proposed to bring these terms generalize the known condition of plasticity Coulone - Mohr $\tau_c = C + \sigma_n \tan \varphi$, for two directions: along and across the strike of layers \parallel layers, i.e. for \perp direction to the layers with respect to the plane of isotropy for soils that have transtropic structure systematized for the first time A.K. Bugrov and A.I. Golubev. The authors also analyze the possibility of generalization of the plasticity conditions (strength) on the main stress and σ_1 and σ_2 , as well as the critical values of the principal stresses σ_{1c} and σ_2 , proposed and developed in time for the isotropic structure of soil N.A.Tsytovich and N.S.Bulychev, the following approaches V.Vitke who suggested such criteria as applied to rocks orthotropic structure. These experimental data on the physical-mechanical and strength properties of the anisotropic structure of the soil and on the basis of the proposed new generalized conditions concludes that it is possible to determine the area of soil plasticity transtropic structure.

Key words: anisotropy, soil plasticity and isotropic plane, the angle of inclination, shear stresses.

Баймахан А.Р., Абдирахметова З.М., Сейнасинова А.А., Баймахан Р.Б.

Анизотропты құрылымды грунт үшін иілгіштік шарттарын өңдеу

Мақалада анизотропты, нақтылай келгенде транстропты құрылымды грунттарға қатысты болатын иілгіштіктің (мықтылық) жаңа жалпы шарттарын өңдеу мәселелері қарастырылады.

Кулон-Мордың $\tau_c = C + \sigma_n \tan \varphi$ илгіштік шарттарының трансропты құрылымы бар болатын грунттар үшін жалпылау шарттарын изотропия жазықтығына қатысты екі бағытта енгізу ұсынылады: грунттардың изотропия жазықтығына қатысты болатын алғаш рет А.К.Бугров және А.И.Голубевтер жүйелеген трансропты құрылымы бар қабаттар бойымен \parallel және қабаттарға перпендикуляр \perp бағытта. Авторлар басты кернеулер σ_1 және σ_2 , сонымен қатар кезінде изотропты құрылымы бар грунттар үшін В.Витке әдісі бойынша Н.А. Цытович және Н.С. Булычевтар ұсынып, зерттеген басты кернеулердің критикалық мәндері σ_{1c} және σ_{2c} бойынша илгіштіктің шарттарын жалпылау мүмкіндіктерін талдайды. Анизотропты құрылымы бар грунттардың мықтылық және физика-математикалық қасиеттері туралы тәжірибелік мәліметтерді келтіре отырып, және ұсынылып отырған жаңа жалпылама шарттар негізінде трансропты құрылымы бар грунттардың илгіштік аймақтарын анықтауға болады деген қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: анизотропия, грунт, илгіштік, изотропия жазықтығы, көлбеу бұрышы, жанама кернеулер.

1 Введение

Важнейшим вопросом механики грунтов является теория прочности грунтов, которая была одной из первых инженерных теорий, нашедших широчайшее применение на практике. В настоящее время вопросам прочности посвящено огромное число отдельных работ, изложение и анализ которых потребовали бы многотомного труда. Не ставя перед собой такой задачи, в работе ограничились рассмотрением лишь важнейших положений теории прочности грунтов и их приложений к расчету прочности в свете новейших данных механики грунтов.

2 Постановка задачи

В геомеханике известно, что классическое условие пластичности (прочности) Кулона – Мора для изотропных материалов запишется так [1], [2]

$$\tau_c = C + \sigma_n \tan \varphi, \quad (1)$$

где τ_c - касательные напряжения на площадках скольжения; C - сцепление, Мпа; σ_n - нормальные напряжения на площадках скольжения; φ - угол внутреннего трения. Условие пластичности (прочности) в главных напряжениях (σ_3 - не оказывает влияние на прочности) определяется с помощью:

$$\sigma_{1c} = \sigma_{max} = \sigma_c + \beta \sigma_{2c}, \quad (2)$$

где β -параметр объемной прочности:

$$\beta = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (3)$$

Условию предельного равновесия для несвязных сыпучих грунтов можно определить с помощью угла внутреннего трения [1]:

$$\frac{\sigma_{c1} - \sigma_{c2}}{\sigma_{c1} + \sigma_{c2}} = \sin \varphi, \quad (4)$$

где σ_{c1} и σ_{c2} - предельные главные напряжения. Несложными тригонометрическими преобразованиями можно получить

$$\sigma_{2c} = \xi \sigma_{1c}, \quad (5)$$

где

$$\xi = \frac{1}{\beta} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}. \quad (6)$$

Или из выражений (5) с помощью (3) можно получить

$$\sigma_{1c} = \beta \sigma_{2c}. \quad (7)$$

Выражению (5) с учетом (6) можно представить в виде

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \tan^2(45^\circ \pm \frac{\varphi}{2}). \quad (8)$$

Это выражение широко используется в теории давления грунтов на ограждения. Знак минус в скобках соответствует активному давлению, а знак плюс – пассивному сопротивлению сыпучих грунтов. Теперь запишем условие предельного равновесия для связных грунтов

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + c \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi, \quad (9)$$

откуда

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2 \sin \varphi \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + c \operatorname{ctg} \varphi \right). \quad (10)$$

или

$$\sigma_1 = \sigma_2 + 2 \sin \varphi \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + c \operatorname{ctg} \varphi \right). \quad (11)$$

Определяемые выражениями (1), (11) и широко применяемые на сегодня условия пластичности для грунтов остается справедливой для грунтов только в рамках изотропного строения. Как известно в природе грунты и горные породы часто имеют анизотропные строения. Сюда входят горизонтальные и наклонные слоистости, неоднородные строения, сложный состав скелета грунта, куда входят грунты различной мощности и различного состава.

3 Определение условия пластичности для двух направлений

Поэтому возникает вопрос о необходимости обобщить эти критерии к грунтам анизотропного строения. Но в анизотропных грунтах пластичность может развиваться по крайней мере в двух направлениях. Ими являются направления вдоль плоскости изотропии (\parallel) и направления в крест к ней (\perp). Так как упругие свойства (E_1 и E_2) анизотропных материалов относительно плоскости изотропии различные, компоненты напряжений тоже будут разными. Поэтому запишем условию пластичности для этих двух направлений. Такая идея, имеется в работе [3] относительно вопросов горной породы. Но такой подход конечно, справедлив и для грунтов [4]. И так известное условие пластичности Кулона - Мора теперь будет выглядеть так:

$$\tau_{\parallel c} = C_{\parallel} + \sigma_{\parallel n} \tan \varphi_{\parallel}, \quad (12)$$

$$\tau_{\perp c} = C_{\perp} + \sigma_{\perp n} \tan \varphi_{\perp}, \quad (13)$$

где $\tau_{\parallel c}, \tau_{\perp c}$ - касательные напряжения на площадках скольжения; C_{\parallel}, C_{\perp} - сцепления, Мпа; $\sigma_{\parallel n}, \sigma_{\perp n}$ - нормальные напряжения на площадках скольжения в направлениях \parallel и \perp к плоскости изотропии определяются из эксперимента или снимается из кругов Мора; $\varphi_{\parallel}, \varphi_{\perp}$ - углы внутренних трений.

Для наклоннослоистых анизотропных материалов углов наклонов плоскостей изотропии относительно горизонтальной оси декартовой системы координат xOz обозначим через $\bar{\varphi}$. Следует сказать, что углы φ и $\bar{\varphi}$ имеют совершенно разные смыслы и не связаны друг с другом. Условию пластичности (предела прочности) на одноосное сжатие для изотропной среды имеет вид /2/:

$$\sigma_c = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (14)$$

Распространим это условие для грунтов анизотропного строения:

$$\sigma_{\parallel c} = \frac{2C_{\parallel} \cos \varphi_{\parallel}}{1 - \sin \varphi_{\parallel}}, \quad (15)$$

$$\sigma_{\perp c} = \frac{2C_{\perp} \cos \varphi_{\perp}}{1 - \sin \varphi_{\perp}}, \quad (16)$$

В главных напряжениях условие пластичности (прочности) будет иметь вид

$$\sigma_{1\parallel c} = \sigma_{\max\parallel c} = \sigma_{\parallel c} + \beta_{\parallel} \sigma_{2\parallel c}, \quad (17)$$

$$\sigma_{1\perp c} = \sigma_{\max\perp c} = \sigma_{\perp c} + \beta_{\perp} \sigma_{2\perp c}, \quad (18)$$

где параметры объемной прочности $\beta_{||}, \beta_{\perp}$ -вычисляются также отдельно для этих двух направлений:

$$\beta_{||} = \frac{1 + \sin \varphi_{||}}{1 - \sin \varphi_{||}}, \quad (19)$$

$$\beta_{\perp} = \frac{1 + \sin \varphi_{\perp}}{1 - \sin \varphi_{\perp}}, \quad (20)$$

Аналогично, условия предельного равновесия для несвязных сыпучих грунтов будет иметь вид

$$\frac{\sigma_{c1||} - \sigma_{c2||}}{\sigma_{c1||} + \sigma_{c2||}} = \sin \varphi_{||}, \quad (21)$$

$$\frac{\sigma_{c1\perp} - \sigma_{c2\perp}}{\sigma_{c1\perp} + \sigma_{c2\perp}} = \sin \varphi_{\perp}. \quad (22)$$

В этих выражениях $\sigma_{c1\perp}$ и $\sigma_{c2||}$ -являются предельными главными напряжениями. Также запишем и выражению (18) в виде

$$\sigma_{2c||} = \xi_{||} \sigma_{1c||}, \quad (23)$$

$$\sigma_{2c\perp} = \xi_{\perp} \sigma_{1c\perp}. \quad (24)$$

в свою очередь:

$$\xi_{||} = \frac{1}{\beta_{||}} = \frac{1 - \sin \varphi_{||}}{1 + \sin \varphi_{||}}. \quad (25)$$

$$\xi_{\perp} = \frac{1}{\beta_{\perp}} = \frac{1 - \sin \varphi_{\perp}}{1 + \sin \varphi_{\perp}}. \quad (26)$$

Произведя следующие операции из выражений (23), (24) с помощью (19) и (20) получим

$$\sigma_{1c||} = \beta_{||} \sigma_{2c||}, \quad (27)$$

$$\sigma_{1c\perp} = \beta_{\perp} \sigma_{2c\perp}. \quad (28)$$

Теперь выражению (23) и (24) с учетом (25) и (26) относительно плоскости изотропии трансропной среды, представим в виде

$$\frac{\sigma_{2C\parallel}}{\sigma_{1C\parallel}} = \tan^2(45^\circ \pm \frac{\varphi_{\parallel}}{2}). \quad (29)$$

$$\frac{\sigma_{2C\perp}}{\sigma_{1C\perp}} = \tan^2(45^\circ \pm \frac{\varphi_{\perp}}{2}). \quad (30)$$

Эти условия для изотропной среды в форме (21) применяется в теории давления грунтов на ограждения. Знаки в выражениях (29) и (30) минус в скобках соответствует активным давлениям и плюс – пассивным сопротивлениям сыпучих грунтов.

На подпорную стенку, давления по (29) будет действовать либо перпендикулярно, либо под углом, в зависимости от наклонов слоев плоскостей изотропии грунтов наклонно слоистого строения. Давления по выражению (30) действует в крест слоям изотропии. Поэтому относительно стенки, они будут действовать параллельно к стенке в точках сцепления, то есть на пограничном слое.

Продолжим такую разработку - условию предельных равновесий для связных грунтов:

$$\frac{\sigma_{1C\parallel} - \sigma_{2C\parallel}}{\sigma_{1C\parallel} + \sigma_{2C\parallel} + C_{\parallel} \operatorname{ctg} \varphi_{\parallel}} = \sin \varphi_{\parallel}. \quad (31)$$

$$\frac{\sigma_{1C\perp} - \sigma_{2C\perp}}{\sigma_{1C\perp} + \sigma_{2C\perp} + C_{\perp} \operatorname{ctg} \varphi_{\perp}} = \sin \varphi_{\perp}. \quad (32)$$

Преобразуя представим их в виде

$$\sigma_{1\parallel} - \sigma_{2\parallel} = 2 \sin \varphi_{\parallel} \left(\frac{\sigma_{1\parallel} + \sigma_{2\parallel}}{2} + c_{\parallel} \operatorname{ctg} \varphi_{\parallel} \right). \quad (33)$$

$$\sigma_{1\perp} - \sigma_{2\perp} = 2 \sin \varphi_{\perp} \left(\frac{\sigma_{1\perp} + \sigma_{2\perp}}{2} + c_{\perp} \operatorname{ctg} \varphi_{\perp} \right). \quad (34)$$

Данные о значениях физико-механических и прочностных свойств грунтов анизотропного (трансропного) строения немногочисленные.

В работе [4] имеется такие данные для некоторых видов грунтов. Собранные из разных разделов этой работы такие экспериментальные данные (объемный вес, параметр прочности, модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, сила сцепления, угол внутреннего трения, предел прочности и др.) и дополненные нами теоретическими вычислениями по предложенным формулам (15) и (16) значения пределов прочности грунтов, а также значение $G_{\parallel\perp}$, вычисленной для скальной породы по Сен-Венану /4/ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Экспериментально установленные физико-механические, прочностные свойства и вычисленные теоретически, пределы прочности на одноосное сжатие некоторых грунтов.

№	Грунты	Объемн вес	Параметр проч	Модуль упруг	Модуль упруг	Модуль сдвиг	Коэф Пуассона	Коэф Пуассона	Сила сцепление	Сила сцепление	Угол внутрен	Угол внутрен	Предел прочн ости	Предел прочн ости
		$\gamma, kH / M^3$	ξ_0	$E_{ }, Mпа$	$E_{\perp}, Mпа$	$G_{ \perp}, Mпа$	$\nu_{ }$	ν_{\perp}	$c_{ }, Mпа$	$c_{\perp}, Mпа$	$\varphi_{ }^0$	φ_{\perp}^0	$\sigma_{c }$	$\sigma_{c\perp}$
1	Суглинок	17.0	0.60	13.4	26.4	7.6	0.16	0.24	0.025	0.050	26	26	0.080	0.160
2	Песок	17.0	0.43	23.0	16.0	7.0	0.30	0.30	0.005	0.005	27	33	0.016	0.180
3	Суглинок, насыщенный	20.0	0.48	30.0	15.0	7.6	0.36	0.24	0.030	0.060	19	23	0.084	0.197
4	Грунт	19.0	1.00	10.0	20.0	7.4	0.30	0.40	0.080	0.120	20	24	0.230	0.370
5	Суглинок	9.4	0.65	12.0	8.0	3.4	0.39	0.35	0.010	0.014	20	24	0.029	0.043
6	Суглинок	8.0	0.65	6.0	4.0	1.7	0.39	0.35	0.050	0.007	15	18	0.130	0.019
7	Суглинок	9.2	0.65	9.0	6.0	2.5	0.39	0.35	0.006	0.008	18	22	0.017	0.024
8	Супесь текучая	19.8	0.53	19.6	18.4	7.1	0.31	0.30	0.003	0.003	18	21	0.008	0.009
9	Суглинок тугопластичн	19.9	0.58	39.8	27.0	10.0	0.36	0.35	0.02	0.02	13	17	0.005	0.054
10	Песок мелкий	21.1	0.25	81.3	85.0	32.7	0.28	0.30	0.002	0.002	35	37	0.008	0.008
11	Горная порода. Известняк	2.5	0.33	3200	1600	1185	0.38	0.32	47	0.25	31	29	116.1	0.849
12	Бетон ВП-РЕ (полиэстр) [5]	1.65		4941	4941	1930	0.28	0.28	-	-	-	-	201.4	0.849

Для вычисления наибольших главных напряжений их представим теперь в виде:

$$\sigma_{1||} = \sigma_{2||} + 2 \sin \varphi_{||} \left(\frac{\sigma_{1||} + \sigma_{2||}}{2} + c_{||} \operatorname{ctg} \varphi_{||} \right). \quad (35)$$

$$\sigma_{1\perp} = \sigma_{2\perp} + 2 \sin \varphi_{\perp} \left(\frac{\sigma_{1\perp} + \sigma_{2\perp}}{2} + c_{\perp} \operatorname{ctg} \varphi_{\perp} \right). \quad (36)$$

Для определенных типов грунтов если известно экспериментальное критическое значение сжимающих главных напряжений $\sigma_{1||}$ и $\sigma_{1\perp}$, то и $\sigma_{2||}$ и $\sigma_{2\perp}$, можно вычислить, преобразуя для этого выражений (33), (34) к виду

$$\sigma_{2c||} = \xi_{||} \sigma_{1c||} - 2c_{||} \frac{\cos \varphi_{||}}{1 + \sin \varphi_{||}}. \quad (37)$$

$$\sigma_{2c\perp} = \xi_{\perp} \sigma_{1c\perp} - 2c_{\perp} \frac{\cos \varphi_{\perp}}{1 + \sin \varphi_{\perp}}. \quad (38)$$

Вычисляя главные напряжения $\sigma_{max} = \sigma_1$ и $\sigma_{min} = \sigma_2$, например методом конечных элементов по алгоритмам работ [6], [7], [8], [9] далее с помощью выражений (15) и (16) или сравнивая их с критическими значениями по таблице 1 и по выражениям (35)-(38) нетрудно найти зоны, которые переходят в пластическое состояние и направлению их дальнейшего развития [10-16].

4 Заключение

Проведенные расчеты по экспериментальным данным и дополненные нами теоретические вычисления позволяют определить зоны, которые переходят в пластическое состояние и направлению их дальнейшего развития. Разработаны новые обобщенные условия пластичности (прочности) применительно к грунтам анизотропного, в частности для грунтов трансверсально-изотропного (транстропного) строения. Выведены условия обобщения известных условия пластичности Кулона-Мора $\tau_c = C + \sigma_n \tan \varphi$, для двух направлений.

Литература

- [1] *Цытович Н.А.* Механика грунтов. - Москва: «Высшая школа», 1979. -114-116 с.
- [2] *Н.С. Бульчев* Механика подземных сооружений в примерах и задачах. - Москва: Недра, 1989. -59-61 с.
- [3] *Витке В.* Механика скальных пород. - Москва: Недра, 1990. - 440 с.
- [4] *Бугров А.К., Голубев А.И.* Анизотропные грунты и основания сооружения. - Санкт-Петербург: «Недра», 1993. -245 с.
- [5] BIT United ltd. England. 2007-2014. URL: <http://www.bitunited.ru//84> (дата обращения 25.05.2014)
- [6] *Рысбаева А.К.* Разработка анизотропной модели строения селезащитных грунтовых плотин и обоснование инновационной технологии ее возведения: // автореф: канд. тех. наук: 06.02.01. - Бишкек, 2014. -22 с.
- [7] *Рысбаева Г.П. Баймахан Р.Б.* Закономерности трещинообразования в массиве вблизи контура подземного сооружения в анизотропном массиве. - Алматы, 2016. – 177 с.
- [8] *Сейнасинова А.А.* Напряженное состояние слабосвязанного массива в окрестности подземной выработки с учетом естественных и искусственных неоднородностей. // Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук Алматы, 2010, 21с.
- [9] *Баймахан Р.Б.* Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов. Монография (Под ред. академика Ш.М. Айталиева).- Алматы, 2002. -232с.
- [10] *Тер-Мартirosян З. Г.* Механика грунтов. — М.: Изд-во АСВ, 2005.
- [11] *Ухов С.Б., Семенов В. В., Знаменский В. В. и др.* Механика грунтов, основания и фундаменты. — М.: Изд-во АСВ, 2005.
- [12] *Далматов Б.И.* Механика грунтов, основания и фундаменты. Л., 1988.
- [13] *Веселов В.А.* Проектирование оснований и фундаментов. - М., 1990.
- [14] *Под ред. Е.А.Сорочана и Ю.Г.Трофименкова.* Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика - М., 1985.
- [15] *Иванов П.Л.* Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов. - М., 1991.
- [16] *Далабаев С., Мухамбетжанов С.Т., Абдияметова З.М.* Simulation-based adaptive filter matlab //Вестник КазНУ им.аль-Фараби. Серия "Математика, механика, информатика". - Алматы, 2013. №4(79), стр.5-12.

References

- [1] *Tsytoovich N.A.* Soil Mechanics. - Moscow: "High School 1979. - p.114-116.
- [2] *N.S. Bulychev* Mechanics of underground structures in the examples and problems. - Moscow: Nedra, 1989. -p.59-61.
- [3] *Vitke V.* Rock mechanics. - Moscow: Nedra, 1990. - 440 p.
- [4] *Bugrov A.K. Golubev A.I.* Anisotropic soils and foundation structures.- St. Petersburg. "Bosom". 1993. -245p.
- [5] BIT United ltd. England. 2007-2014. URL: <http://www.bitunited.ru//84> (request date 25.05.2014)
- [6] *Rysbaeva A.K.* Development of anisotropic structure antimud slide protection earth dams and justification of the innovative technology of its construction : // Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences. -Bishkek, 2014, -22 p.
- [7] *Rysbaeva G.P., Baymahan R.B.* Laws of cracking in the vicinity of the array circuit of underground structures in an anisotropic array. - Almaty, 2016 -177 p.
- [8] *Seynasinova A.A.* The state of stress in the vicinity of a weakly bound array of underground production, taking into account natural and artificial inhomogeneities. //Abstract of diss. cand. Sci. Almaty Sciences, 2010, 21 p.
- [9] *Baymahan R.B.* Calculation seysmonapryazhennogo of underground structures in the non-uniform thickness of the finite element method. Monograph (Ed. Academician Sh Aytaliev). -Almaty, 2002. -232c.
- [10] *Ter-Martirosyan Z.G.* Soil Mechanics. - M .: Publishing House of the DIA 2005.
- [11] *Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamensky V.V., et al.* Soil mechanics, foundation and foundations. - M .: Publishing House of the DIA, 2005.
- [12] *Dalmatov B.I.* Soil mechanics, foundation and foundations. -L. 1988.
- [13] *Veselov V.A.* Design of the foundations. - M., 1990.
- [14] *Ed. E.A.Sorochana and Yu.G.Trofimenkova.* Grounds, foundations and underground structures. Designer Directory - Moscow, 1985.
- [15] *Ivanov P.L.* Soils and foundation of hydraulic structures. Soil Mechanics. - M., 1991.
- [16] *Dalabaev S., Mukhambetzhanov S.T., Abdiakhetova Z.M.* Simulation-based adaptive filter matlab. -Almaty, 2013. №4(79), p.5-12.