

НЕРАЗМЫВАЮЩИЕ СКОРОСТИ ЗЕМЛЯНЫХ КАНАЛОВ В СВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

С.С.Эшев¹, И.М.Нестерева², А.Н.Хазратов¹,
Ф.Ф.Бобомуродов¹, Н.З.Маматов¹

¹Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан;

²Беларусский национальный технический университет, Беларусь.

E-mail: telnets@mail.ru, khazratov@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются вопросы связанные с размывающей способностью водного потока и определению критической неразмывающей скоростей потока каналов пролегающих в связных грунтах. По результатам исследований предлагаются модифицированные зависимости для определения неразмывающих скоростей в связных грунтах.

Ключевые слова: активные силы, грунтов, Средний суглинок.

ABSTRACT

This article discusses issues related to the erosive capacity of the water flow and the determination of the critical non-erosive flow velocity of channels running in cohesive soils. Based on the research results, modified dependencies are proposed for determining non-erosion velocities in cohesive soils.

Keywords: active forces, soils, medium loam.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных вопросов задачи гидравлического расчета ирригационного канала является определения неразмывающих скоростей водного потока, которая взаимосвязана с устойчивости поперечного профиля земляного канала. Поэтому точность определения значений неразмывающей скорости в значительной степени предотвращают возникновения деформаций русла канала. В настоящее время обширная число расчетных зависимостей по установлению значений неразмывающих скоростей потока в земляных руслах.

Изучение неразмывающих скоростей тесно связано с процессами руслового потока. Взаимодействие потока и русла изучается экспериментально-теоретическим путем, основанным на выявлении предельного равновесия отдельных частиц или начального момента их сдвига с дном.

При размыве русел характер потока определяет активные силы, а свойства грунтов – пассивные (силы сопротивления). Перейдем к рассмотрению воздействия гидравлических параметров потока на размыв русел. Для обеспечения высокой надежности каналов необходимо принимать такое расчетное значение средней скорости ϑ , при котором в канале не будет происходить ни размыв, ни заиление. При недоступно высоких значениях скорости ($\vartheta > \vartheta_{\text{нep}}$) борта и дно могут подвергаться разрушению (это касается и каналов с жесткими одеждами) и размыву. При недопустимо малых скоростях ($\vartheta < \vartheta_{\text{нep}}$) в канале могут выпадать взвешенные в воде наносы и канал будет постепенно заиляться [1, 16].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Вопрос установления неразмывающих скоростей водного потока в глинистых (связных) грунтах мало изучен по сравнению с несвязными грунтами и наиболее подробно рассматривается в работах авторов [2,3,4, 15,18].

Физические свойства грунтов, т.е. плотность, пористость, влажность, пластичность, липкость, набухание и усадка хорошо отражают и характеризуют строительные свойства грунтов.

Анализ существующих зависимостей показывает, что более полно в условиях связных грунтов учитываются основные факторы в формуле Ц.Е.Мирцхулава, которые нашедшие отражение в нормативных документах. Они зависят от глубины потока h , удельного сцепления между частицами грунта C , Pa , и содержания легкорастворимых солей.

Сцепление в связных грунтах в состоянии водонасыщения обуславливают их прочность, и они определяют степень их устойчивости размыву.

Сопротивление глинистых грунтов сдвигу обуславливается двумя показателями: 1) внутренним трением и 2) сцеплением. Остановимся к рассмотрению основного влияющего фактора при размыве связного грунта - силе сцепления. Сопротивление сдвигу является одной из важнейших характеристик грунта, так как характеризует устойчивость каналов [5, 6, 7, 8, 9, 10, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Сила сцепления и угол внутреннего трения грунтов определялись общепринятым методом сопротивления сдвигу в условиях незавершенного уплотнения приборами ГГП-30 конструкции Маслова-Лурье. Опытные данные приведены в таблице 1.

Таблица-1. Экспериментальные данные по определению сила сцепления и угол внутреннего трения

Образец грунта	Сила сцепления С, кг/см ²	Угол внутреннего трения φ
Средний суглинок пылеватый	0,08	14°
Средний суглинок	0,072	6°
Средний суглинок	0,045	12°
Супесь	0,035	12°
Супесь	0,025	38°
Пылеватый песок	-	-

Размываемость глинистых пород сильно зависит от величины их сцепления. Сцепление связных грунтов при полной их водонасыщенности во многом определяет прочность связей и водостойкость глинистых пород и лучше других показателей интегрально отражает весь комплекс свойств грунтов, характеризующих сопротивляемость связных грунтов размыву. Установлено, что с увеличением сцепления (в состоянии полного водонасыщения) увеличивается сопротивление грунтов размыву [11, 12, 13, 14]. Сопротивление связных грунтов сдвигу выражается формулой:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C \quad (1)$$

где τ - сопротивление сдвигу, зависящее от нормального давления и плотности-влажности; P- нормальное давление; φ - угол внутреннего трения, также зависящий от плотности-влажности, C – сцепление.

Проведенные испытания грунтов показали, что сопротивления сдвигу растет с увеличением содержания глинистых частиц и минералов (рис.1).

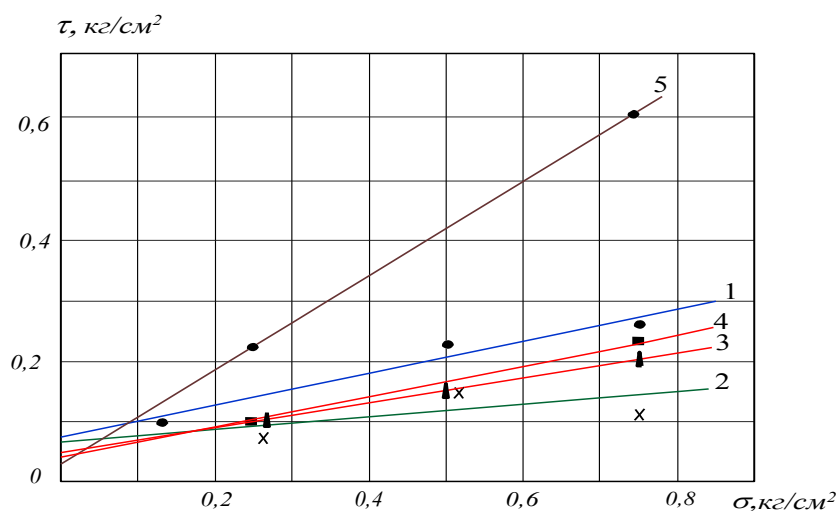


Рисунок 1. Предельные сопротивления связанных грунтов сдвигу

Анализ зависимостей по определению неразмывающих скоростей потока в связных грунтах показывает, что наиболее полно учитываются основные факторы размыва в формуле Ц.Е.Мирцхулавы:

$$g_{adm} = \left(1g \frac{8,8h}{d_m} \right) \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_w)d_m + 1,25C_{yn}k_c]}{1,3\rho_w\gamma_g}} \quad (2)$$

$$g_{\Delta adm} = 1,25 \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_w)d_m + 2C_{yn}k_c]}{1,3\rho_w\gamma_g}} \quad (3)$$

где C_{yn} – нормативная усталостная прочность грунта для связных грунтов, Па, $C_{yn} = 0,35 C_n$, где C_n – нормативное удельное сцепление поверхностного слоя грунта в русле канала; k_c – коэффициент отклонения сил сцепления от среднего значения, обычно $k_c=0,5$; γ_c – коэффициент условий работы; γ_g – коэффициент перегрузки под влиянием пульсационного характера скоростей и других случаев изменения размывающей способности потока $\gamma_g = (g_{\Delta max} / g_{\Delta m})^2$, $g_{\Delta max}, g_{\Delta m}$ – соответственно максимальная мгновенная и осредненная (по времени) донные скорости [15, 16].

Он показывает особенности гидродинамического воздействия потока на частицы дна и условия устойчивости агрегатов под действием потока в тесной связи с характеристиками прочностных свойств породы.

Эти формулы получены на основании анализа условия равновесия сил, действующих со стороны турбулентного потока на неровности поверхности ложа канала, и сил сопротивления сдвигу и отрыву отдельной частицы из общей массы грунта с учетом усталостных явлений в грунте. Для использования этих формул при расчете каналов требуются достаточно полные данные о структуре потока и свойствах грунта ложа канала. Однако в предложенных формулах (2 и 3) учитываются не все факторы. Например, поперечное сечение трапециадального канала, так как земляные каналы строятся по трапециадальной форме сечения. С целью получения параметра учитывающий форму поперечного сечения трапециадального канала в условиях связных грунтов на основе зависимостей Ц.Е.Мирцхулавы проводились экспериментальные исследования на малом гидравлическом лотке (параметры лотка 13,6x1,0x0,8). На этом лотке воспроизводилась модель трапециадального канала, который имеет следующие размеры: длина -8,5 м; ширина по дну – 0,30 м; высота – 0,15 м; заложение откоса – $m = 2$ [3]

Методика подготовки связного грунта к испытаниям полностью соответствовала методике Ц.Е.Мирцхулавы, изложенной в работе [5].

При наблюдении процесса размыва обнаружилось, что, размыв грунтов происходит в нескольких стадиях. Вначале смываются элементарные дисперсные частицы (агрегаты, отдельности), связь которых в основном массивом грунта нарушена. Этот процесс продолжается до образования шероховатой поверхности. При дальнейшем возрастании скоростей водного потока начинается подмыв частиц (агрегата) со стороны, обращенной против течения, вызывающей увеличение пульсирующего лобового и подъемного усилий. Увеличение пульсирующего лобового и подъемного усилия течения повышает вибрацию и динамическое усилие на выступ (агрегат), что приводит к постепенному разрушению и наконец, когда равнодействующая активных сил превосходит пассивные – силы сцепления между агрегатами и вес агрегата, последний мгновенно срывается. Сопоставление опытных данных по размыву в связных грунтах, вычисленных по формуле (таблица 2) показывает, что фактические значения размывающих скоростей значительно превышает расчетных значений. Это разъясняется тем, что наши опытные точки получены в условиях трапециадального канала.

$$g_p = \left(\lg \frac{8,8h}{d_m} \right) \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_w)d_m + 1,25C_{ym}]}{0,65\rho_w\gamma_g}} \quad (4)$$

Сопоставление опытных данных по размыву в связных грунтах, вычисленных по формуле (4) показан в рисунке 2

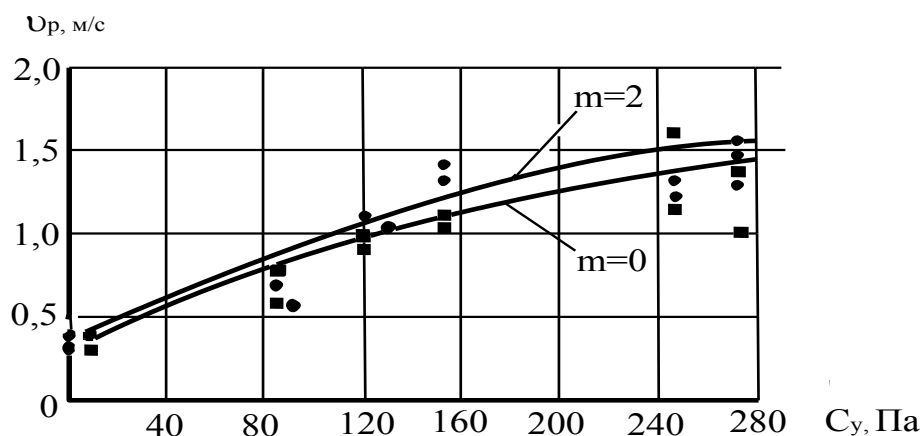


Рисунок 2. Зависимость размывающих средних скоростей потока от предела усталости разрыва связных грунтов: - на дне (m=0); - на откосе (m=2).

Таблица-2. Результаты опытных данных и расчетов размыва в связных грунтах

Soil type	№ of experiments	Т час	Q л/с	h, м	l, м	B, м	B/h	Размывающая скорость по опыту v_p , м/с		$C, \text{ кг/см}^2$	$C_{yn} \text{ т/м}^2$	при k'_{Ts} m=0	при k'_{Ts} m=2	Размывающая скорость по расчету v_p	
								m=0	m=2					m=0	m=2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Средний суглинок пылеватый	15	4	56.0	0.09	0.005	0.74	6.8	0.99				1.5		1.40	
		35	62.5	0.097	0.012	0.70	7.2		1.30				2.7		1.44
	16	29	74.0	0.104	0.013	0.72	6.9	1.4				2.94		1.42	
		33.5	97.0	0.119	0.02	0.78	6.5		1.52	0.08	0.028		3.49		1.50
	21	12.0	70.0	0.095	0.02	0.68	7.5	1.5				3.70		1.41	
		12.0	70.0	0.09	0.02	0.68	7.5		1.50				3.70		1.44
	22	13.5	80.0	0.10	0.02	0.70	7.0	1.6				4.19		1.42	
Средний суглинок		2.5	42.0	0.072	0.02	0.60	8.3		1.32				3.16		1.36
	20	2.0	53.0	0.09	0.013	0.66	7.3	1.23				2.77		1.33	
		5.5	74.91	0.111	0.013	0.74	6.7		1.31	0.072	0.025		2.60		1.41
	24	10.0	73.0	0.109	0.012	0.74	6.3		1.30				2.89		1.40
		23.0	69.0	0.112	0.018	0.74	6.6	1.55				4.46		1.36	
	19	9.0	63.58	0.114	0.006	0.77	6.8	1.06				3.2		1.12	
		10.25	71.5	0.105	0.012	0.74	7.0		1.34	0.045	0.016		4.9		1.15
Супесь	23	3.0	38.9	0.077	0.012	0.61	7.9	1.11				3.67		1.15	
		10.5	52.0	0.082	0.012	0.64	9.0		1.24				4.57		1.08
	17	9.15	39.0	0.069	0.006	0.68	7.1	0.97				3.30		0.97	
		12.5	50.0	0.103	0.006	0.72	7.0		1.07	0.035	0.012		3.98		0.94
	25	2.0	43.0	0.091	0.006	0.67	7.4	0.98				3.44		0.96	
		2.0	43.0	0.091	0.006	0.67	7.4		0.98				3.44		0.92
	18	1.5	6.3	0.032	0.006	0.43	188.0	0.54				1.97		0.67	
Мелкий песок d=0.18 мм		1.5	6.3	0.032	0.006	0.43	13.0		0.54	0.025	0.008		1.97		0.63
	26	7.0	12.0	0.044	0.006	0.48	10.9		0.70			3.26	3.26		0.67
		8.0	17.0	0.051	0.006	0.51	10.0	0.74				3.48		0.85	
	27	5.5	6.9	0.052	0.0002	0.52	10.0	0.34				3.25		0.33	
		5.5	6.9	0.052	0.0002	0.52	10.0		0.34		0.00013		3.42		0.35
	28	2.0	5.8	0.047	0.002	0.49	10.4	0.31				3.25		0.31	
		2.0	5.8	0.047	0.0002	0.49	10.4		0.31				3.42		0.33

Модифицируем зависимости Мирцхулава для связных грунтов. Из анализа результатов исследований получены следующие модифицированные зависимости связных грунтов:

- размывающая скорость для связных грунтов

$$v_p = \left(\lg \frac{8,8h}{d_m} \right) \sqrt{\frac{\gamma_c \left[g(\rho - \rho_w) d_m + 1,25 C_{yn} k_c k'_{Ts} \right]}{0,65 \rho_w \gamma_g}} \quad (5)$$

- неразмывающая скорость для связных грунтов

для дна

$$g_H = \left(\lg \frac{8,8h}{d_m} \right) \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_\omega) d_m + 1,25 C_{yn} k_c k'_{Ts}]}{1,3 \rho_\omega \gamma_g}} \quad (6)$$

$$g_{\Delta H} = 1,25 \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_\omega) d_m + 1,25 C_{yn} k_c k'_{Ts}]}{1,3 \rho_\omega \gamma_g}} \quad (7)$$

для откоса $m = 2$

$$g_H = \left(\lg \frac{8,8h}{d_m} \right) \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_\omega) d_m + 1,25 C_{yn} k_c k''_{Ts}]}{1,3 \rho_\omega \gamma_g}} ; \quad (8)$$

$$g_{\Delta H} = 1,25 \sqrt{\frac{\gamma_c [g(\rho - \rho_\omega) d_m + 1,25 C_{yn} k_c k''_{Ts}]}{1,3 \rho_\omega \gamma_g}} \quad (9)$$

сопоставления опытных данных с вычисленными значениями по зависимостям (5) показаны на рисунке 3.

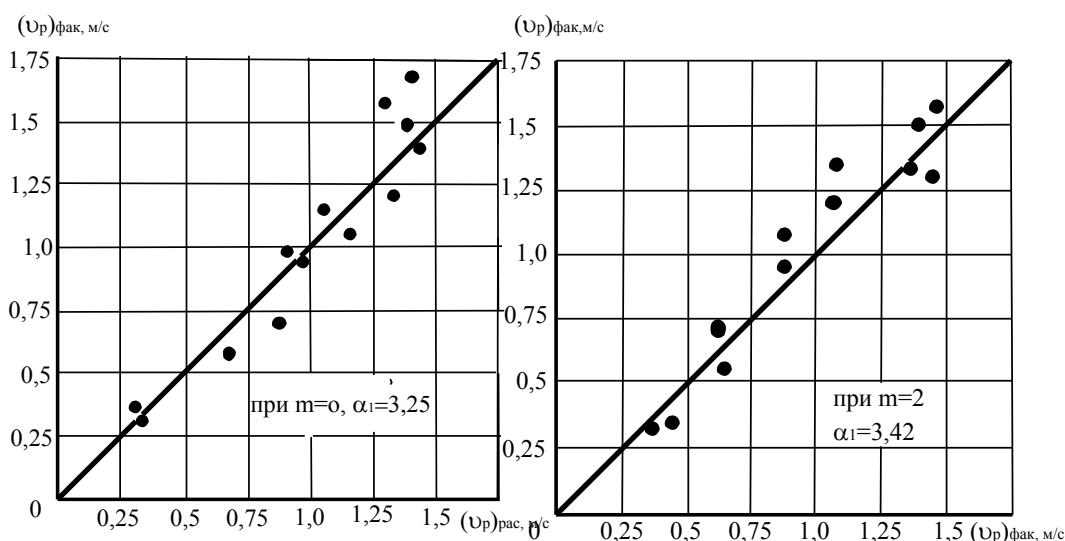


Рисунок 3. Сопоставление размывающих скоростей в условиях связанных грунтов с расчетными зависимостями (5) и (3).

В следующем таблице приведены значений $k''_{Ts} / k'_{Ts} = f(V/h)$.

Таблица-3. Зависимость $k''_{Ts} / k'_{Ts} = f(V/h)$

V/h	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k''_{Ts} / k'_{Ts}	2,25	1,9	1,65	1,4	1,25	1,15	1,05	1,03	1,01	1,0

Из таблице 3 видно, что с ростом значения V/h уменьшается k''_{Ts} / k'_{Ts}

Приведенный анализ экспериментальных данных показывает зависимость между соотношениями V/h и k''_{Ts} / k'_{Ts} , что свидетельствует о связи этих величин (рисунок 4).

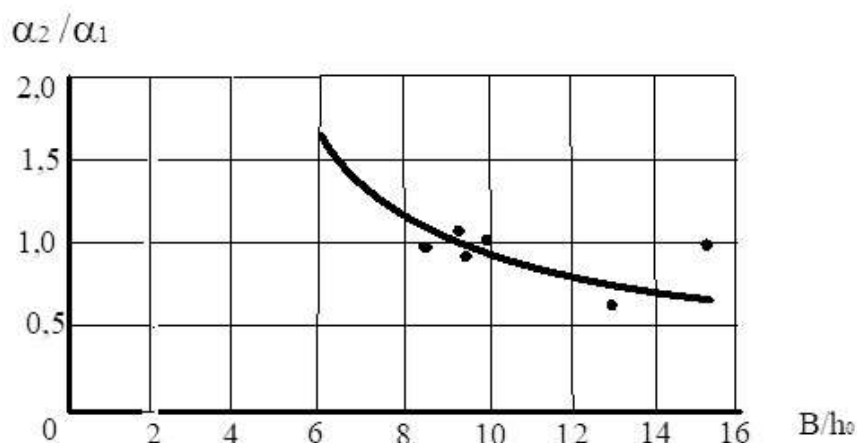


Рисунок 4. График зависимости $k''_{Ts} / k'_{Ts} = f(V/h)$.

ВЫВОДЫ

При расчете установления неразмывающих скоростей водного потока в каналах, пролегающих в связных грунтах, надо учитывать силу сцепления грунтов;

Анализ данных расчетов показывает достоверности предлагаемых формул от (6) до (9) и можно их рекомендовать для установления неразмывающих скоростей водного потока при проектировании земляных трапециадальных каналов пролегающих в связных грунтах.

REFERENCES

1. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. – 5-е изд., стер. – Спб.: Издательство «Лань», 2015. – 656 с.
2. Карасев И.Ф. Комплексы подобия и гидравлические сопротивления самоформирующихся русел рек и каналов. // Гидротехническое строительство. 2006, №12, с. 27-31.
3. Мирцхулава Ц.Е. Приближенное моделирование процессов размыва в связных грунтах. // Гидротехническое строительство, № 1, 1985. 21 – 24 с.
4. Мирцхулава Ц.Е. О надежности крупных каналов. М.: Колос, 1981.

5. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценка их устойчивости. М.: Колос, 1967. - 179 с.
6. Эшев С.С. Расчет деформируемых больших земляных каналов в условиях нестационарности водного потока. Монография. Ташкент, «Вориснашриёт», 2018.- 184 с.
7. Khazratov A.N., «A sediment transport model for irrigation canals of Uzbekistan», *European science review*, вып. 3–4, Art. вып. 3–4, 2019.
8. Eshev, S., Rakhimov, A., Gayimnazarov, I., Isakov, A., Shodiev, B., & Bobomurodov, F. (2021). Dynamically stable sections of large soil canals taking into account wind waves. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1030, No. 1, p. 012134). IOP Publishing.
9. Sobir Eshev., G'ayimnazarovIsroil.,ShakhbozLatipov., NurbekMamatov., FeruzSobirov and IrodaRayimova. The beginning of the movement of bottom sediments in an unsteady flow. *E3S Web of Conferences* 263 02042 (2021) FORM-2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302042>. (Scopus).
10. Shakhboz Latipov., Sobir Eshev., G'ayimnazarovIsroil.,IrodaBabajanova., YuldashBabajanov., and BoburShodiev. Calculation of bottom sediment discharge in trapezoidal channels. *E3S Web of Conferences* 264, 03070 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403070>. CONMECHYDRO – 2021. (Scopus).
11. R Xujakulov, M Rahmatov, E Nabiev and M Zaripov. Determination of calculating stresses on the depth of loess grounds of hydraulic structures, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1030 (2021), doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012133
12. R Xujakulov,UNormurodov, M Zaripov,UAbdurakhmonov and M Berdiev Dependence of the wetting rate of the loess base on the moisture conditions *E3S Web of Conferences* 264, 01051 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403051> CONMECHYDRO - 2021
13. Эшев С.С., Бабажанов Ю.Т., Базаров О.Ш., Бабажанова И.Ю. Движение жидкости в трубе с изломом // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* Эшев С.С. и др. 2021 12(93). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12790>
14. Eshev S.S. Deformation of coastal escarpment of earth channels under the action of surface waves. // *European science review*, № 9–10, Vienna, 2017. – P. 144-147.
15. S.Eshev,I.G'ayimnazarov, Sh. Latipov. The Calculation of the Parameter of Friction in Border Layer Not Fixed Flow.//*International Journal of Advanced*

Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 1, January 2019.
7796-7800 p.

16. S.S.Eshev, A.N.Xazratov, A.R.Rachimov, Sh.A.Latipov. The study of bottomsediments in streams with mixed movement of clarified flow. *Academicia an International Multidisciplinary Research Journal* Published by South Asian Academic Research Journals A Publication of CDL College of Education, Jagadhri (Affiliated to Kurukshetra University, Kurukshetra, India) ISSN: 2249-7137 Vol. 9 Issue 9, September 2019. p.61-66. Impact Factor: SJIF 2018=6.152

17. S.S.Eshev, A.N.Xazratov, A.R.Rachimov, Sh.A.Latipov. Influence of wind waves on the flow in flowing reservoirs. *IJUM Engineering Journal*, Vol. 21, No. 2, 2020. P.125-132. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v21i2.1329>

18. S.S. Eshev, M.I.Rakhmatov, A.R. Rakhimov. Calculation of parameters of hydrodynamically stable earth ducts. *International journal on orange technologies*. Volume: 01 Issue: 01 / OCT 2020. P.58-60. www.journalsresearchparks.org/index.php/IJOT e- ISSN: 2615-8140|p-ISSN: 2615-7071