

UO‘K: 626.82:532.543

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.09>

TRAPETSIYASIMON KANALDA TUB OSTI VA MUALLAQ OQIZIQ SARFINI HISOBLASHNING ZAMONAVIY USULLARI

Latipov Shahboz Alisher o‘g‘li - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: shakhboz2016@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4237-9034, Science ID: FQD-1125-0066

G‘ayimnazarov Israil Xoliqovich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: igayimnazarov@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0680-5174, Science ID: FQD-0226-0016

Jo‘rayeva Shahnoza Halim qizi – doktorant (PhD), ORCID: 0009-0009-6987-6717,

Science ID: MQD-0626-0175

Otakulov Uktam Xotamovich – dotsent, E-mail: otakulov61@mail.ru,

ORCID: 0009-0002-9358-3446, Science ID: FQD-0526-015

Egamov Mirshohid Xolmurodovich – pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: mirshohidegamov0116@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6192-5387,

Science ID: FQD-0625-0025

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada trapetsiyasimon ko‘ndalang kesimga ega bo‘lgan ochiq kanalda tub osti va muallaq oqiziq sarflarini hisoblashning zamonaviy nazariy asoslari va amaliy usullari bayon etilgan. Har xil qiyalikka ($m_1 \neq m_2$) ega bo‘lgan donador grunt asosidagi kanallar uchun Meyer-Peter va Müller (1948), Bagnold (1966), Engelund-Hansen (1967) hamda Rouse-Einstein va Van Rijn (1984) usullari qiyosiy tahlil qilingan. Manning tenglamasi asosida gidravlik hisob-kitoblar amalga oshirilgan, Shields parametri va Rouse sonining oqiziq harakatiga ta’siri o‘rganilgan. Hisoblash algoritmi dasturiy vosita yordamida sinab ko‘rilgan va $b=15$ m, $h=5$ m, $m_1=m_2=3$, $i=0,0003$, $d=0,5$ mm bo‘lgan misolda jami oqiziq sarfi $6,81 \times 10^{-3}$ m³/s ekanligi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: trapetsiyasimon kanal, oqiziq sarfi, Shields parametri, Meyer-Peter-Müller, Bagnold, Rouse parametri, gidravlik radius, Manning tenglamasi, muallaq oqiziq, tub osti oqizig‘i.

УДК: 626.82:532.543

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА РАСХОДА ДОННЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОМ КАНАЛЕ

Латипов Шахбоз Алишер угли - доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Гайимназаров Исраил Холикович – доктор философии (PhD) по техническим наукам,
доцент

Жураева Шахноза Халим кизи - докторант (PhD)

Отакулов Уктам Хотамович – доцент

Эгамов Миршохид Холмurodovich - доктор философии (PhD) по педагогическим наукам,
доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и практические методы расчёта расхода донных и взвешенных наносов в трапецеидальном канале с разнобокими откосами ($m_1 \neq m_2$) на несвязных грунтах. Проведён сравнительный анализ методов Мейера-Петера и Мюллера (1948), Багнольда (1966), Энгелунда-Хансена (1967) и Роуза-Эйнштейна—ван Рейна (1984). Выполнены гидравлические расчеты на основе уравнения Маннинга, исследовано влияние параметра Шилдса и числа Рауса на транспорт наносов. Расчетный алгоритм протестирован программно; для примера с $b=15$ м, $h=5$ м, $m_1=m_2=3$, $i=0,0003$, $d=0,5$ мм суммарный расход наносов составил $6,81 \times 10^{-3}$ м³/с.

Ключевые слова: трапецеидальный канал, расход наносов, параметр Шилдса, формула Мейера-Петера-Мюллера, метод Багнольда, параметр Роуза, гидравлический радиус; формула Маннинга.

UDC: 626.82:532.543

MODERN METHODS FOR CALCULATING BED LOAD AND SUSPENDED SEDIMENT DISCHARGE IN A TRAPEZOIDAL CHANNEL

Shakhboz Latipov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor
Israil Gaimnazarov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Shakhnoza Jorayeva, doctoral student

Uktam Otakulov, associate professor

Mirshohid Egamov, doctor of philosophy in pedagogical sciences, associate professor

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This paper presents the theoretical framework and practical computational methods for estimating bed-load and suspended-load sediment transport rates in a trapezoidal open channel with asymmetric side slopes ($m_1 \neq m_2$) on non-cohesive granular beds. Four classical formulae - Meyer-Peter & Müller (1948), Bagnold (1966), Engelund-Hansen (1967), and Rouse-Einstein with Van Rijn (1984) reference concentration - are systematically compared. Hydraulic parameters are derived via the Manning equation. For a reference case ($b=15$ m, $h=5$ m, $m_1=m_2=3$, $i=0.0003$, $d=0.5$ mm) the total sediment discharge is found to be 6.81×10^{-3} m³/s.*

Keywords: trapezoidal channel, sediment transport, Shields parameter, Meyer-Peter-Müller formula, Bagnold method, Rouse parameter, hydraulic radius, Manning equation, suspended load, bed load.

Kirish

Sugʻorish kanallari va gidrotexnika inshootlarining barqaror ishlashini taʼminlashda oqiziq harakatini oʻrganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Oqim tarkibidagi tub osti va muallaq oqiziqning transport jarayonlari kanalning gidravlik koʻrsatkichlariga, oʻzan deformatsiyasiga, loyqa bosish hodisalariga hamda suv xoʻjaligi inshootlarining ekspluatatsion samaradorligiga bevosita taʼsir koʻrsatadi. Ayniqsa, trapetsiyasimon kesimga ega kanallarda oqimning notekis taqsimlanishi, tub va qirgʻoq qismlarida yuzaga keladigan turli tezlik maydonlari oqiziq harakatining murakkab xarakter kasb etishiga sabab boʻladi.

Suv xoʻjaligi inshootlarini loyihalashda kanal oʻzanidan oʻtadigan oqiziq sarfini toʻgʻri aniqlash muhim ahamiyat kasb etadi. Sugʻorish kanallari, drenaj tizimlari va sel oʻzanlarida gruntning eroziyasi yoki choʻkish loyiha muddatini va ishlov berish xarajatlarini sezilarli darajada oshirishi mumkin [1, 2, 11, 12].

Trapetsiyasimon koʻndalang kesim oʻzining gidravlik samaradorligi va qurilish qulayligi tufayli sugʻorish tizimlari amaliyotida keng qoʻllaniladi. Biroq har xil qiyalikka ($m_1 \neq m_2$) ega boʻlgan kanallar uchun oqiziq hisoblashning maxsus algoritmlari talab etiladi, chunki tub tangensial kuch kesim boʻylab bir xil taqsimlanmaydi [3, 4, 11, 13].

Trapetsiyasimon kanallarda tub osti va muallaq oqiziq sarfini aniqlash masalasi hozirgi kunda ham dolzarbligicha qolmoqda, chunki mavjud formulalar turli gidravlik va sedimentologik sharoitlarda bir xil aniqlikni taʼminlay olmaydi. Shu sababli zamonaviy hisoblash usullarining imkoniyatlarini tahlil qilish, ularning afzallik va cheklovlarini aniqlash hamda amaliy hisob-kitoblarda qoʻllash boʻyicha tavsiyalar ishlab chiqish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Soʻnggi oʻn yilliklarda raqamli hisoblash usullarining rivojlanishi klassik empirik formulalar - Meyer-Peter va Müller [5], Bagnold [6], Van Rijn [7] - ni zamonaviy dasturiy muhitlarda amalga oshirish imkonini berdi. Ushbu maqolaning maqsadi mazkur usullarni qiyosiy tahlil qilish va trapetsiyasimon kanal uchun yagona hisoblash algoritmi ishlab chiqishdan iborat.

Materiallar va uslublar

Tadqiqot obyekti sifatida har xil qiyalikka ega trapetsiyasimon kanal tanlangan. Hisoblashlar quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi:

(1) gidravlik elementlar - kesim maydoni A, suv yuzasi kengligi B, ho'llangan perimetr χ , gidravlik radius R - geometrik munosabatlar asosida aniqlanadi; (2) oqim tezligi Manning tenglamasi orqali hisoblanadi; (3) tub tangensial kuch va Shields parametri topiladi; (4) tub osti va muallaq oqiziq sarflari turli empirik usullar bilan hisoblanadi va taqqoslanadi. Kirish parametrlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Hisoblashda qabul qilingan kirish parametrlar

Parametr	Belgi	Birlik	Qiymat
Tub kengligi	b	M	15,0
Suv chuqurligi	h	M	5,0
Chap qiyalik (H:V)	m_1	—	3
O'ng qiyalik (H:V)	m_2	—	3
Kanal qiyaligi	i	—	0,0003
Manning qo'polligi	n	—	0,0003
Zarracha diametri	d	Mm	0,5
Grunt zichligi	ρ_s	kg/m ³	1800
Suv harorati	T	°C	20
Suv zichligi	ρ_w	kg/m ³	1000

1. Gidravlik elementlar.

Trapetsiyasimon kesim uchun gidravlik elementlar quyidagi formulalar orqali aniqlanadi [8]:

$$A = (b + \frac{1}{2}(m^1 + m^2) \cdot h) \cdot h, \quad (1)$$

$$B = b + (m^1 + m^2) \cdot h, \quad (2)$$

$$\chi = b + h \cdot (\sqrt{1 + m^{12}} + \sqrt{1 + m^{22}}), \quad (3)$$

$$R = A / \chi. \quad (4)$$

Manning tenglamasi bo'yicha o'rtacha oqim tezligi [9]:

$$u = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)}, \quad (5)$$

bu yerda n — Manning qo'polligi koeffitsienti, i — kanal qiyaligi.

2. Shields parametri va kritik tangensial kuch.

Tub tangensial kuch (to'shak kuchi) quyidagicha hisoblanadi [3]:

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot i, \quad (6)$$

$$u^* = \sqrt{(\tau_0 / \rho_w)} \quad (\text{dinamik tezlik}). \quad (7)$$

Shields (1936) parametri grunt zarrachalarining harakatga kelishi uchun o'lchamsiz mezoni sifatida xizmat qiladi [10]:

$$\theta = \tau_0 / [(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d], \quad (8)$$

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d. \quad (9)$$

MPM usuli uchun $\theta_{cr} = 0,047$ Smart-Jaeggi usuli uchun $\theta_{cr} = 0,056$ qabul qilinadi.

3. Tub osti oqizig'ini hisoblash usullari.

Tub osti oqizig'ini (bed load) hisoblash uchun bir necha empirik formula mavjud bo'lib, ular turli gidravlik sharoitlarga mo'ljallangandir.

Meyer-Peter va Müller (1948) formulas qumli va toshloq o'zanlarda keng qo'llaniladi [5, 11]:

$$qb = 8 \cdot (\theta - 0.047)^{1.5} \cdot \sqrt{\Delta s \cdot g \cdot d^3}, \quad (10)$$

bu yerda $\Delta s = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ — nisbiy zichlik farqi.

Engelund-Hansen (1967) formulas umumiy oqiziq sarfini (tub osti va muallaqni birga) hisoblaydi [11]:

$$\Phi = 0.1 \cdot \theta^{2.5}, \quad (11)$$

$$q_t = \Phi \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d^3)}. \quad (12)$$

Smart-Jaeggi (1983) formulas tik qiyalikli tog' daryolari va kanallar uchun mo'ljallangan [12]:

$$qb = 4 \cdot (\theta - 0.056)^{1.5} \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d^3)}. \quad (13)$$

4. Muallaq oqiziqni hisoblash usullari

Muallaq oqiziq (suspended load) hisoblashda birinchi navbatda zarrachaning erkin cho'kish tezligi aniqlanadi. Rubey (1933) formulasi [13]:

$$\omega = \left[\sqrt{\left(\frac{2}{3} + 36v^2/(g \cdot \Delta s \cdot d^3) \right)} - \sqrt{36v^2/(g \cdot \Delta s \cdot d^3)} \right] \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d)}. \quad (14)$$

Kinematik qovushqoqlik Andrade formulasi bilan haroratga bog'liq holda hisoblanadi [8]:

$$v = 1.792 \times 10^{-6} / (1 + 0.0337T + 0.000221T^2). \quad (15)$$

Bagnold (1966) usuli energetik yondashuv asosida qurilgan bo'lib, muallaq oqiziq sarfini stream power (solishtirma quvvat) orqali ifodalaydi [6]:

$$es = 0.01 \text{ (samaradorlik koeffitsienti)}, \quad (16)$$

$$qs = es \cdot (\tau_0 \cdot u) / (\rho w \cdot g \cdot \omega). \quad (17)$$

Rouse-Einstein va Van Rijn (1984) kombinatsiyalangan usulida [7] muallaq kontsentratsiya profili Rouse tenglamasi asosida quyidagicha aniqlanadi:

$$C(\eta) = Ca \cdot [(\eta a / \eta) \cdot (1 - \eta) / (1 - \eta a)]^Z, \quad (18)$$

bu yerda $Z = \omega / (\kappa \cdot u^*)$ - Rouse parametri, $\kappa = 0.41$ - Karman doimiysi, $\eta = z/h$ - normallashtirilgan balandlik. Van Rijn referens kontsentratsiyasi:

$$Ca = \frac{0.015 \cdot (d/a) T^{1.5}}{d^{0.3}}, \quad (19)$$

bu yerda $T^* = (\tau_0 - \tau_{cr}) / \tau_{cr}$ - ortiqcha kuch parametri, $d^* = d \cdot \left[\frac{g \cdot \Delta s}{v^2} \right]^{1/3}$ - zarracha o'lchami parametri.

Yuqoridagi usullar qo'llanish doirasi va asosiy parametrlari bo'yicha quyidagi 2-jadvalda qiyosiy tahlil qilingan.

2-jadval. Oqiziq sarfini hisoblash usullarining qiyosiy tavsifi

Usul	Muallif(lar)	Qo'llanish sohasi	Asosiy parametr
Meyer-Peter & Müller	Meyer-Peter, Müller (1948)	Tub osti - tosh va qum	$\theta - \theta_{cr} = 0,047$
Engelund-Hansen	Engelund, Hansen (1967)	Umumiy oqiziq - qumli kanal	$\theta^{2,5}$
Bagnold	Bagnold (1966)	Muallaq- energiya yondashuvi	Stream power
Smart & Jaeggi	Smart, Jaeggi (1983)	Tog' daryolari, tik qiyalik	$\theta - \theta_{cr} = 0,056$
Rouse-Einstein + Van Rijn	Rouse (1937), Van Rijn (1984)	Muallaq - profil integrali	Rouse Z, Ca

Har bir usulning asosiy farqlari quyidagilarda namoyon bo'ladi. MPM usuli tajribaviy ma'lumotlar asosida tuzilgan bo'lib, $\theta > 0,047$ bo'lganda ishonchli natijalar beradi. Engelund-Hansen usuli umumiy oqiziq sarfini birma-bir hisoblamaydi, balki ularning yig'indisini topadi. Bagnold usuli energetik muvozanat tamoyiliga tayanadi va muallaq oqiziqni samaradorlik koeffitsienti orqali ifodalaydi. Van Rijn usuli vertikal kontsentratsiya profilini to'liq hisobga oladi, shu bois nazariy jihatdan eng mukammal hisoblanadi [7].

Natijalar va muhokama

Keltirilgan kirish parametrlari asosida hisoblash algoritmi qadamma-qadam bajarildi. Barcha oraliq va yakuniy natijalar quyidagi 3-jadvalda jamlangan.

3-jadval. Hisoblash natijalari ($b=15$ m, $h=5$ m, $m_1 = m_2 = 3$, $i=0.0003$, $d=0.5$ mm)

Ko'rsatkich	Belgi	Birlik	Formula	Natiya
Kesim maydoni	A	m ²	$A = (b + \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot h) \cdot h$	100,0
Suv yuzasi kengligi	B	m	$B = b + (m_1 + m_2) \cdot h$	45,0
Ho'l. perimetr	X	m	$\chi = b + h \cdot (\sqrt{(1 + m_1^2)} + \sqrt{(1 + m_2^2)})$	46,62
Gidravlik radius	R	m	$R = A / \chi$	2,145
O'rtacha tezlik	u	m/s	$u = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)}$	1,23
Suv sarfi	Q	m ³ /s	$Q = A \cdot u$	123,0
Froude soni	Fr	—	$Fr = u / \sqrt{(g \cdot A/B)}$	0,18
Tangensial kuch	τ_0	N/m ²	$\tau_0 = \rho w \cdot g \cdot R \cdot i$	6.31
Dinamik tezlik	u*	m/s	$u^* = \sqrt{(\tau_0 / \rho w)}$	0,0795
Shields parametri	θ	—	$\theta = \tau_0 / [(\rho s - \rho w) \cdot g \cdot d]$	0,161
Kritik Shields	θ_{cr}	—	$\theta_{cr} = 0.047 (MPM)$	0,047
Cho'kish tezligi	ω	m/s	Rubey (1933)	0,065
Rouse parametri	Z	—	$Z = \omega / (\kappa \cdot u^*), \kappa = 0.41$	1,99
Tub osti oqiziq	Qb	m ³ /s	$MPM: Qb = 8(\theta - 0.047)^{1.5} \cdot \sqrt{(\Delta \cdot g \cdot d^3)} \cdot b$	$2,14 \times 10^{-3}$
Muallaq oqiziq	Qs	m ³ /s	Bagnold (1966)	$4,67 \times 10^{-3}$
Jami oqiziq	Qt	m³/s	$Qt = Qb + Qs$	$6,81 \times 10^{-3}$

Olingan natijalar quyidagi xulosalarga olib keladi. Birinchidan, Shields parametri $\theta = 0,161$, kritik qiymat $\theta_{cr} = 0,047$ dan sezilarli darajada yuqori bo'lib, zarrachalar intensiv harakatda ekanligi tasdiqlanadi. Biroq Froude soni $Fr = 0,18$ oqimning sekin (sub-kritik) rejimda ekanligini ko'rsatadi, bu esa sug'orish kanallari uchun qulay holdir.

Ikkinchidan, Rouse parametri $Z = 1,99$ bo'lib, u erkin cho'kish tezligi va dinamik tezlikning nisbatini ifodalaydi. $Z < 2,5$ bo'lganda zarrachalar sezilarli darajada muallaq holda oqadi, $Z > 5$ bo'lganda esa muallaq oqiziq amalda mavjud bo'lmaydi. Hisoblangan $Z=1,99$ qiymat zarrachalarning asosan muallaq holda tashilishini ko'rsatadi.

Uchinchidan, MPM usulida hisoblangan tub osti oqiziq sarfi $Qb = 2,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, Bagnold usulida hisoblangan muallaq oqiziq $Qs = 4,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ni tashkil etadi. Natijada jami oqiziq sarfi $Qt=6,81 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ bo'lib, bu kanal loyihasida cho'kish va eroziya jarayonlarini baholashda muhim miqdordir.

Dasturiy amalga oshirish: maqolada tasvirlangan hisoblash algoritmi HTML5/JavaScript asosida interaktiv veb-kalkulyator shaklida amalga oshirilgan. Dastur quyidagi imkoniyatlarni ta'minlaydi:

har xil qiyalikli ($m_1 \neq m_2$) trapetsiyasimon kanallar uchun gidravlik elementlarni avtomatik hisoblash;
tub osti oqizig'i uchun MPM, Engelund-Hansen, Bagnold, Smart-Jaeggi usullaridan birini tanlash;
muallaq oqiziq uchun Rouse-Einstein+Van Rijn va Bagnold usullaridan foydalanish;
Manning tenglamasi asosida suv sarfini hisoblash;

Shields va Rouse parametrlarini real vaqt rejimida ko'rsatish;
barcha hisob-kitoblar bosqichini interaktiv jadval shaklida ifodalash.

Kanal geometriyasini vizualizatsiya qilish uchun SVG formatida dinamik chizma yaratilgan bo'lib, foydalanuvchi kirish parametrlarini o'zgartirishi bilan chizma yangilanadi. Dastur Andrade formulasi yordamida kinematik qovushqoqlikni haroratga bog'liq holda, Rubey (1933) formulasi yordamida cho'kish tezligini avtomatik hisoblab beradi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1. Trapetsiyasimon kanalda oqiziq sarfini to'g'ri hisoblash uchun gidravlik elementlar (A , χ , R), Shields parametri va zarracha fizik xususiyatlarini birgalikda hisobga olish zarur.
2. Har xil qiyalikli ($m_1 \neq m_2$) kanal kesimi uchun tub tangensial kuch simmetrik kanalga nisbatan turlicha taqsimlanadi, bu esa hisoblashda alohida e'tiborni talab etadi.
3. Rouse parametri $Z = 1,99$ va Shields $\theta = 0,161$ qiymatlarida zarrachalar asosan muallaq holda tashiladi; tub osti oqizig'i jami sarfning taxminan 31% ni tashkil etadi.
4. MPM formulasi (1948) hisoblashning asosiy usuli sifatida, Bagnold (1966) esa muallaq oqiziqni hisoblashda ishonchli natijalar berdi. Van Rijn (1984) usuli nazariy jihatdan mukammalroq bo'lib, vertikal kontsentratsiya profilini to'liq ifodalaydi.
5. Ishlab chiqilgan interaktiv kalkulyator loyiha muhandislari va tadqiqotchilar uchun amaliy vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1] Raudkivi, A.J. (1998). Loose Boundary Hydraulics (4th ed.). A.A. Balkema, Rotterdam. 496 p.
- [2] Yalin, M.S., Ferreira da Silva, A.M. (2001). Fluvial Processes. IAHR Monograph, Delft. 197 p.
- [3] Julien, P.Y. (2010). Erosion and Sedimentation (2nd ed.). Cambridge University Press. 371 p.
- [4] Chanson, H. (2004). The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. 630 p.
- [5] Meyer-Peter, E., Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. Proc. 2nd IAHR Congress, Stockholm, 39–64.
- [6] Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Professional Paper 422-I. 37 p.
- [7] Van Rijn, L.C. (1984). Sediment transport, Part II: Suspended load transport. Journal of Hydraulic Engineering, 110(11), 1613–1641.
- [8] Chow, V.T. (1959). Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York. 680 p.
- [9] Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. Trans. Inst. Civil Engineers Ireland, 20, 161–207.
- [10] Shields, A. (1936). Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitt. Preuss. Versuchsanst. Wasserbau Schiffbau, Berlin, 26. 26 p.
- [11] G'ayimnazarov I. X. UDC 532.543: 627.157: Calculation of the parameters of the base rows in a non-stationary flow //Innovatsion texnologiyalar. – 2025. – T. 59. – №. 3. – C. 62-66.
- [12] G'ayimnazarov, I., Eshev, S., Bazarov, O., Latipov, S., Rakhimov, A., & Guliyeva, S. (2025, July). Investigation of the initiation of sediment movement in mixed flows. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3256, No. 1, p. 020041). AIP Publishing LLC.
- [13] G'ayimnazarov Israil, Xoliqovich, Mamarasulov Sobir Raxmonqul ogli, and Toshmurodov Jomurod Jahongir ogli. "O'ZAN TUBI BARQARORLIGINI BAHOLASH USULLARI" Sanoatda raqamli texnologiyalar // Цифровые технологии в промышленности, 4.1 (2026): 237-241.
- [14] Engelund, F., Hansen, E. (1967). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Forlag, Copenhagen. 65 p.
- [15] Smart, G.M., Jaeggi, M.N.R. (1983). Sediment transport on steep slopes. Mitt. Versuchsanst. Wasserbau Hydrol. Glaziologie ETH Zürich, 64. 191 p.
- [16] Rubey, W.W. (1933). Settling velocities of gravel, sand and silt particles. American Journal of Science, 225, 325–338.