

UO'K: 626.8

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-1.07>

GRUNTLI KANALLARNING MUSTAHKAM KESIMLARINI BAHOLASHDA SILJITISH KUCHI USULINI QO'LLASH

Eshev Sobir Samadovich¹ - texnika fanlari doktori, professor,
ORCID: 0000-0003-3880-9289, E-mail: telnets@mail.ru
Aralov Behro'zjon G'ayratovich¹ - doktorant (PhD),
ORCID: 0009-0004-6842-7809, E-mail: behruzaralov44@gmail.com.
Sherboyev Zohid Xonqulovich¹ - mustaqil izlanuvchi (PhD),
ORCID: 0009-0003-1867-7685, E-mail: zohidsherboyev5@gmail.com.
Bozorov Bustonjon Erkin o'g'li² - doktorant (PhD),
ORCID: 0009-0003-5793-2001, E-mail: bozorovbuston@gmail.com.
Safarov Abror Abduxalil o'g'li¹ - mustaqil izlanuvchi (PhD),
ORCID: 0009-0002-4752-3856

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O'zbekiston

²Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro sh., O'zbekiston

***Annotatsiya.** Maqolada ochiq kanallarning gidravlik mustahkam kesimlarini aniqlash masalasi ko'rib chiqilgan. Kanal tubi va yon tomonining yuvilishga chidamliligini ta'minlash maqsadida siljitish kuchi usulidan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Siljitish kuchi usuli suv oqimining kanal tubi va devorlariga ta'sir qiluvchi kesuvchi kuchlanishni hisoblashga asoslanadi. Maqolada ochiq kanallarning asosiy gidravlik parametrlari, kesim geometriyasi va hisoblash formulalari keltirilgan. Olingan natijalar kanalning optimal geometrik parametrlarini tanlashda muhim ahamiyatga ega. Siljituvchi kuch usuli ochiq kanallarning mustahkam parametrlarini hisoblashning eng samarali usullaridan biridir. Uni qo'llash oqimning gidravlik xususiyatlarini, o'zanning geometrik parametrlarini va gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlarini hisobga olish imkonini beradi, bu esa kanallar tubi va nishabliklarining yuvilishining oldini olishni ta'minlaydi. Ochiq kanal o'zanining mustahkamligiga ta'sir etuvchi oqiziqqlar harakatining boshlanishi Shields usuligi asosida, ya'ni kritik siljituvchi kuchlarni aniqlashning gidravlik hisobi keltirildi. Sug'orish va zovur kanallarini loyihalashda ushbu usuldan foydalanish gidrotexnika inshootlarining ishonchligini oshirishga, foydalanish xarajatlarini kamaytirishga va uzoq muddatli foydalanish davomida o'zan jarayonlarining mustahkamligini ta'minlashga imkon beradi.*

***Kalit so'zlar:** ochiq kanal, gidravlik mustahkamlik, siljitish kuchi, kesuvchi kuchlanish, gidravlik radius, Manning formulasi, yuvilish.*

УДК: 626.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЛЕКУЩЕЙ СИЛЫ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВЫХ СЕЧЕНИЙ ГРУНТОВЫХ КАНАЛОВ

Эшев Собир Самадович¹ - доктор технических наук, профессор,
Аралов Бехрузжон Гайратович¹ - докторант (PhD),
Шербоев Зоҳид Хонқулович¹ - самостоятельный соискатель (PhD),
Бозоров Бустонжон Эркин угли² - докторант (PhD),
Сафаров Аброр Абдухалил угли¹ - самостоятельный соискатель (PhD).

¹Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

²Бухарский инженерно-технический институт, Бухара, Узбекистан

***Аннотация.** В статье рассматривается задача определения гидравлически устойчивых сечений открытых каналов. Анализируется возможность применения метода касательных напряжений для обеспечения устойчивости дна и откосов канала к размыву. Метод касательных напряжений основан на расчёте сдвигающего усилия, которое водный поток оказывает на дно и стенки канала. В статье приводятся основные гидравлические параметры, геометрия сечения и расчётные формулы для открытых каналов. Полученные*

результаты имеют важное значение при выборе оптимальных геометрических параметров канала. Метод касательных напряжений является одним из наиболее эффективных способов расчёта устойчивых параметров открытых каналов. Его применение позволяет учитывать гидравлические характеристики потока, геометрические параметры русла и физико-механические свойства грунтов, что обеспечивает предотвращение размыва дна и откосов каналов. Гидравлический расчёт начала движения наносов, влияющего на устойчивость русла открытого канала, приведён на основе метода Шильдса, то есть путём определения критических сдвигающих сил. Использование данного метода при проектировании оросительных и дренажных каналов позволяет повысить надёжность гидротехнических сооружений, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить стабильность русловых процессов в течение длительного периода эксплуатации.

Ключевые слова: открытый канал, гидравлическая устойчивость, касательное напряжение, сдвигающее напряжение, гидравлический радиус, формула Маннинга, размыв.

UDC: 626.8

APPLICATION OF THE TRACTIVE FORCE METHOD IN ASSESSING THE STABILITY OF EARTHEN CANAL SECTIONS

Eshev, Sobir¹ - Doctor of Technical Sciences, Professor.

Aralov, Behruzjon¹ - Doctoral Student (PhD).

Sherboyev, Zohid¹ - Independent Researcher (PhD).

Bozorov, Bustonjon² - Doctoral Student (PhD).

Safarov Abror¹ - Independent Researcher (PhD).

¹Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

²Bukhara Engineering-Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This article examines the problem of determining hydraulically stable cross-sections for open channels. The potential of using the shear stress method to ensure the scour resistance of the channel bed and banks is analyzed. The shear stress method is based on calculating the shear stress exerted by the water flow on the channel bed and walls. The article presents the main hydraulic parameters, cross-sectional geometry, and calculation formulas for open channels. The results obtained are significant for selecting the optimal geometric parameters of a channel. The shear stress method is one of the most effective approaches for calculating the stable parameters of open channels. Its application allows for the consideration of the flow's hydraulic characteristics, the channel's geometric parameters, and the soil's physical and mechanical properties, which prevents scouring of the channel bed and slopes. The initiation of sediment transport, which affects the stability of the open channel bed, is determined based on the Shields method, specifically through the hydraulic calculation of critical shear stress. Using this method in the design of irrigation and drainage canals enhances the reliability of hydraulic structures, reduces operational costs, and ensures the stability of channel processes during long-term operation.

Keywords: open channel, hydraulic stability, tractive force, shear stress, hydraulic radius, Manning's formula, erosion.

Kirish

Ochiq kanallarni loyihalashda ularning uzoq muddatli foydalanish ishonchliligi va o‘zan mustahkamligini ta‘minlash talab etiladi. Grunt o‘zanli kanallar mustahkamligining asosiy shartlaridan biri ularning tubi va qiyaliklarini suv oqimi ta‘sirida yuvilib ketishdan himoya qilishdir. Ushbu masalani hal etish uchun gidrotexnika amaliyotida harakatlanayotgan oqim ta‘sirida o‘zan yuzasida vujudga keladigan urinma kuchlanishlarni tahlil qilishga asoslangan siljitish kuch usuli keng qo‘llaniladi [1-11, 12-15].

Ushbu usulning nazariy asoslari o‘zan oqimlari gidravlikasini o‘rgangan mahalliy va xorijiy tadqiqotchilarning ilmiy ishlarida ishlab chiqilgan bo‘lib, ular orasida N. N. Pavlovskiy, A. V. Karaushev, M. A. Velikanov, A. N. Shamov kabi olimlarning ishlarini hamda oqiziqar harakatining

boshlanish sharoitlarini tadqiq etishga bag‘ishlangan xorijlik olimlar A. Shilds va A. Meyer-Peterning ishlarini alohida ta’kidlash joiz.

Suv ochiq o‘zan bo‘ylab harakatlenganda uning tubi va yon tomon qiyaliklari yuzasida oqimning og‘irlik kuchi ta’sirida urinma kuchlanish hosil bo‘ladi. Bu kuchlanish kanal o‘zanini tashkil etuvchi grunt zarrachalarini siljitishga harakat qiladi [1, 2, 4, 7, 9, 12, 14].

Materiallar va usullar

Agar urinma kuchlanish gruntning siljishga bo‘lgan qarshiligidan oshib ketsa, o‘zan buziladi va grunt zarrachalari oqim bilan birga harakatlanadi. Shu munosabat bilan kanalning mustahkamligi quyidagi shart bilan aniqlanadi [3, 8, 11, 12, 15]:

$$\tau \leq \tau_{rux} , \quad (1)$$

bunda: τ — oqimning haqiqiy urinma kuchlanishi (siljitish kuchi), H/M^2 ; τ_{rux} - grunt turi uchun ruxsat etiladigan urinma kuchlanish, H/M^2 .

Ochiq o‘zarlarda suvning harakati murakkab gidrodinamik jarayon bo‘lib, oqimning erkin sathi mavjud bo‘lganda og‘irlik kuchi ta’sirida yuzaga keladi. Suvning harakati davomida suyuqlik bilan o‘zanning qattiq chegaralari – tubi va qirg‘oqlari o‘rtasida o‘zaro ta’sir kuchlari paydo bo‘ladi. Bu kuchlar urinma zo‘riqlar yoki oqimning yuvish kuchi shaklida namoyon bo‘ladi.

Urinma kuchlanishlar taqsimotining nazariy tavsifi gidrodinamika tenglamalari va energetik yondashuvga asoslanadi.

Tekis oqim uchun energetik munosabat bajariladi, bu energiya yo‘qotishlari bilan kechadigan oqim uchun Bernulli tenglamasining xususiy holi hisoblanadi.

Haqiqiy sharoitlarda ochiq o‘zarlardagi oqim turbulent xususiyatga ega bo‘ladi. Shu sababli, kuchlanishlar taqsimotini tahlil qilishda uyurmali tuzilmalar orqali impuls uzatilishini hisobga oluvchi turbulentlik modellari qo‘llaniladi.

Urinma kuchlanishlar quyidagilar natijasida yuzaga keladi [5, 8, 12-15]:

- suyuqlikning ichki ishqalanishni keltirib chiqaruvchi qovushqoqligi;
- oqimning qatlamlar orasidagi impuls almashinuvini kuchaytiruvchi turbulentligi;
- o‘zanning qarshilikni oshiruvchi g‘adir-budurligi.

Chuqurlik bo‘yicha tezlikning taqsimlanishi turbulent aralashish nazariyasidan kelib chiquvchi turbulent oqimning logarifmik qonuniga bo‘ysunadi. Bu esa suv–o‘zan chegarasida urinma kuchlanishlarni hosil qiluvchi tezlik gradiyentining paydo bo‘lishiga olib keladi.

Yuvish kuchi oqimning grunt zarrachalariga ta’sir ko‘rsatib, ularning siljishiga, o‘zanning yuvilishiga va oqiziqqlarning tashilishiga sabab bo‘lish qobiliyatini tavsiflaydi.

Siljitish kuchlardan quyidagi hisoblarda foydalaniladi [6, 10, 11]:

- daryo va kanallar o‘zanlarining mustahkamligini hisoblashda;
- gidrotexnik inshootlarni loyihalashda;
- o‘zan deformatsiyalari jarayonlarini prognozlashda;
- oqimning oqiziqqlarni tashish qobiliyatini baholashda.

Ochiq o‘zarlarda suv harakatining asosiy sababi bo‘lib, o‘zan tubi va suv sathining nishabligi tufayli hosil bo‘ladigan gravitatsiya kuchi hisoblanadi. Bu kuch ta’sirida oqim ma’lum bir tezlikka erishadi va nishablik bo‘ylab pastga harakatlana boshlaydi.

Biroq, suvning harakati quyidagilar natijasida yuzaga keladigan qarshilik bilan kechadi:

- suvning o‘zan tubiga ishqalanishi;
- yon devorlarga ishqalanishi;
- suyuqlik qatlamlari orasidagi ichki ishqalanish.

Natijalar va muhokama

Ushbu o‘zaro ta’sir natijasida suyuqlik va qattiq jism chegarasida urinma kuchlanish vujudga keladi.

Urinma kuchlanish yuza birligiga to‘g‘ri keladigan ishqalanish kuchi sifatida aniqlanadi:

$$\tau = \frac{F}{\omega} , \quad (2)$$

bu yerda: τ – urinma kuchlanish (H/M^2); F - ishqalanish kuchi; ω - jonli kesim yuzasi.

Urinma kuchlanishlar taqsimotini nazariy jihatdan asoslash uchun ochiq o‘zanda joylashgan L uzunlikdagi oqim uchastkasini ko‘rib chiqamiz. Oqimning ushbu elementiga quyidagi kuchlar ta’sir ko‘rsatadi:

1. Nishablik bo‘yicha og‘irlik kuchi

$$F_g = \rho g \omega L \sin \alpha, \quad (3)$$

bu yerda α - nishablik burchagi.

Kichik burchaklar uchun $\sin \alpha \approx I$. Bunda I – gidravlik nishablik. Buni inobatga olib (2) ifodani quyidagi cha yozamiz:

$$F_g = \rho g \omega L I. \quad (4)$$

2. O‘zan qarshilik kuchi bo‘lib, bunda urinma kuchlar bilan ho‘llanish perimetri bo‘yicha qarshilik sodir bo‘ladi, ya’ni

$$F_\tau = \tau \chi L. \quad (5)$$

Bunda τ o‘rtacha urinma kuchlanish; χ - ho‘llanish perimetri.

Ochiq o‘zandagi suvning tekis harakatida kuchlar muvozanatda bo‘ladi, ya’ni

$$\rho g \omega L I = \tau \chi L. \quad (6)$$

(6) tenglikni qisqartirib, quyidagi tenglikka ega bo‘lamiz:

$$g \omega I = \tau \chi. \quad (7)$$

$R = \omega / \chi$ ekanligini nazarga olib, (7) tenglikdan τ siljitish ku chni topamiz:

$$\tau = \rho g R I \quad (8)$$

yoki

$$\tau = \gamma R I. \quad (9)$$

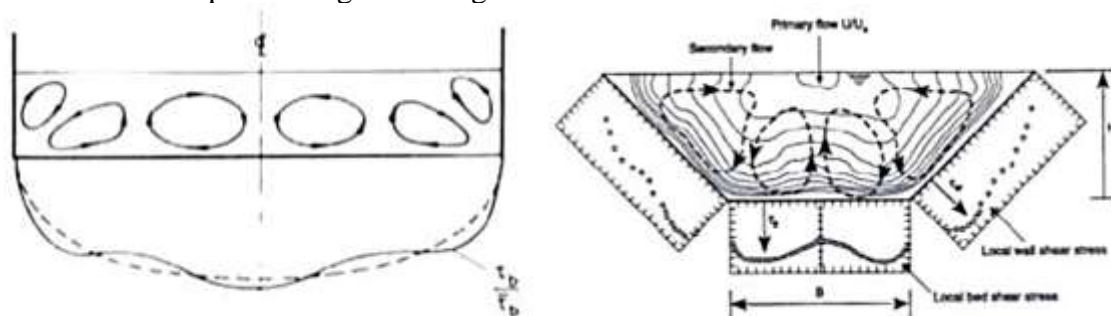
bunda $\gamma = \rho g$ suvning solishtirma og‘irligi.

(8) va (9) ifodalar urinma kuchlanish qiymati oqimning energetik nishabligi hamda o‘zanning geometrik xususiyatlari bilan belgilanilishini ko‘rsatadi.

8- formula siljitish kuchining oqim chuqurligi (gidravlik radius R orqali), I o‘zan nishabligi va ρ suv zichliklariga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Bundan agar oqim qanchalik chuqur bo‘lsa, yuvish kuchi shunchalik katta bo‘ladi; shuningdek, nishablik qanchalik tik bo‘lsa, urinma kuchlanish ham shunchalik kuchayadi.

Ochiq o‘zanning ko‘ndalang kesimida urinma kuchlanishlar notekis taqsimlanadi (1-rasm).

- Yuqoridagi rasmlarda ochiq o‘zamlarning perimetri bo‘yicha urinma kuchlanishlarning taqsimlanishini tipik ko‘rinishlari keltirilgan.
- Taqsimlanishning asosiy qonuniyatlari:
- eng yuqori qiymatlar o‘zan tubida kuzatiladi;
- qirg‘oq qiyaliklarida kuchlanishlar kamayadi;
- suvning erkin sirtida urinma kuchlanishlar deyarli nolga teng.
- Taqsimlanishning notekisligi quyidagilar bilan izohlanadi:
- ko‘ndalang kesim shakli;
- ikkilamchi sirkulyatsion oqimlar;
- tezliklar taqsimotining notekisligi.



1-rasm. Kanal ko‘ndalang kesimida urinma kuchlanishlarning notekis taqsimoti [8]

Tabiiy o‘zanlarda ikkilamchi oqimlar ta’siri tufayli urinma kuchlanishning eng yuqori nuqtasi ko‘pincha o‘zan markazidan siljiydi.

Ruxsat etiladigan siljituvchi kuch o‘zan gruntining turiga qarab aniqlanadi va tajriba ma’lumotlariga asosan belgilanadi. O‘zan mustahkamligi shartidan foydalanib, maksimal ruxsat etiladigan gidravlik radiusni aniqlash mumkin:

$$R_{rux} = \frac{\tau_{rux}}{\gamma i} \quad (10)$$

Olingan qiymat kanalning geometrik o‘lchamlarini tanlashda muhim parametr hisoblanadi.

Ochiq o‘zanli kanalning umumiy mustahkamligini baholashda uning yon tomon qiyaliklarining mustahkamligini ham ta’minlash kerak bo‘ladi.

Kanal yon tomon qiyaliklaridagi urinma kuchlanishlar kanal tubidagi kuchlanishlardan farq qiladi, chunki tezliklarning ko‘ndalang kesim bo‘yicha taqsimlanishi notekisdir. Yon tomon qiyaliklardagi urinma kuchlanishlarni baholash uchun quyidagi bog‘liqlikdan foydalaniladi:

$$\tau_{omk} = k\tau \quad (11)$$

bunda k — urinma kuchlanishlarning taqsimlanish koeffitsiyenti (odatda 0,75–0,90 oralig‘ida qabul qilinadi).

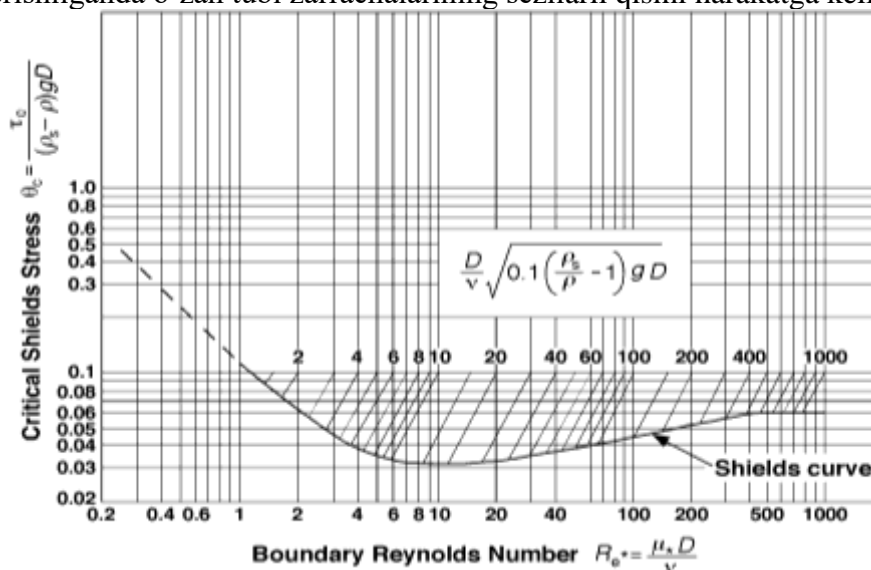
Yon tomon qiyaliklarning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{omk} \leq \tau_{rux} \quad (12)$$

Urinma kuchlanishlarning ruxsat etiladigan qiymatlari eksperimental tadqiqotlar asosida aniqlanadi va gruntning granulometrik tarkibi hamda zichligiga bog‘liq bo‘ladi.

Endi ochiq o‘zamlarning mustahkamligini baholashdagi asosiy ko‘rsatkichlardan biri bo‘lgan o‘zan tub osti oqizqlari harakati boshlanishi jarayonini ko‘rib chiqamiz.

Mustahkam bog‘lanmagan materialdan (masalan, qumdan) tashkil topgan o‘zandagi suv oqimining harakati kuzatilganda, ba’zi holatlarda o‘zan tubi ham dinamik holatga kelishi, яъни tubdagi zarrachalar sirpanish, dumalash yoki sakrash tarzida harakatlanishi mumkinligi ko‘rinadi. Agar o‘zan tubi zarrachalarining harakati $\tau_0 = \gamma R I$ tubdagi urinma kuchlanishning keng chegarasida kuzatilsa, τ_0 ning kichik qiymatlarida o‘zan tubi zarrachalarining hech qanday harakati bo‘lmasligi mumkinligini, lekin τ_0 ning katta qiymatlaridagi oqimlarda esa yaqqol kuzatiladigan harakat mavjud bo‘lishini ko‘rish mumkin. O‘zan tubi zarrachalari harakatlanishni boshlaydigan oqim holati kritik harakat yoki boshlang‘ich harakat holati deb ataladi. Boshlang‘ich harakatga mos keluvchi tubdagi urinma kuchlanish kritik urinma kuchlanish yoki kritik yuvish kuchi deb nomlanadi va τ_c bilan belgilanadi. Shuni yodda tutish kerakki, $\tau_0 = \tau_c$ bo‘lganda tubdagi zarrachalarning harakati τ_c qiymatida birdaniga sakrab o‘zgaruvchi funksiya emas, balki bu statistik ma’noda kritik urinma kuchlanishga erishilganda o‘zan tubi zarrachalarining sezilarli qismi harakatga kelishini anglatadi.



2-rasm. Shilds diagrammasi.

2-rasmda ko'rsatilganidek, τ_{*c} va R_{*c} o'rtasida funksional bog'liqlik mavjud. Shilds egri chizig'i deb nomlanuvchi bu egri chiziq eksperimental nuqtalar orqali o'tkazilgan o'rtalashtiruvchi chiziq bo'lib, ko'plab tadqiqotchilar tomonidan tasdiqlangan. Shilds egri chizig'i ma'lum ma'noda ishqalanish koeffitsiyenti f ning o'zgarishini ifodalovchi Mudi diagrammasiga o'xshaydi. Bunda, $R_{*c} = 2$ gacha bo'lgan oqim silliq devorni aylanib o'tishga o'xshash bo'lib, bu holatda zarrachalar laminar osti qatlamiga to'liq botgan bo'ladi va zarrachalar o'lchami τ_c ga ta'sir qilmaydi. $2 < R_{*c} < 400$ oralig'ida oqim o'tish bosqichida bo'ladi va bunda zarrachalarning d o'lchami ham, suyuqlikning v qovushqoqligi ham τ_c ga ta'sir ko'rsatadi. $R_{*c} > 400$ bo'lganda esa R_{*c} qiymati τ_{*c} ga ta'sir etmaydi, chunki egri chiziq $0,056$ ga teng bo'lgan chegaraviy qiymatga yetadi. Bu chegaraviy qiymatda kritik urinma zo'riqish faqat zarrachalar o'lchamining funksiyasi hisoblanadi. Bu chegara to'liq g'adirbudur bo'lib qolganidan va shuning natijasida kritik zo'riqish suyuqlik qovushqoqligiga bog'liq bo'lmay qolganidan dalolat beradi. Ayrim tadqiqotchilar R_{*c} ning yuqori qiymatlarida τ_{*c} uchun $0,056$ dan biroz kichikroq bo'lgan doimiy qiymatni olganlar; bu qiymat $0,045$ ga yetishi mumkin [4, 11, 16]. Shuni ta'kidlash lozimki, τ_{*c} ning minimal qiymati $0,03$ ga teng bo'lib, unga $R_{*c} = 10$ bo'lganda erishiladi. Agar kanaldagi oqimda $\tau_0 > \tau_c$ bo'lsa, tub cho'kindilar harakatda bo'ladi, agarda $\tau_0 < \tau_c$ bo'lsa, tub cho'kindilar harakatsiz va demak, mustahkam deb hisoblanishi mumkin. Tabiatda tub cho'kindilar bir xil bo'lmagan granulometrik tarkibga ega bo'lgani uchun, odatda, cho'kindilarning reprezentativ o'lchami sifatida median o'lcham (d_{50}) qabul qilinadi.

Cho'kindining solishtirma zichligi $2,65$ ga va kanaldagi suvning harorati 20°C ga teng bo'lganda ($\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$, $\tau_{*c} = 0,056$ quyidagiga mos keladi:

$$u_{*c}^2 = \frac{\tau_c}{\rho} = 0,056g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) d \quad (13)$$

ya'ni, $u_{*c} = 0,952d^{1/2}$.

Bundan tashqari $R_{*c} = 400$ quyidagiga mos keladi:

$$\left(u_{*c} \frac{d}{\nu} \right) = (0,952d^{1/2}d) / (1 \cdot 10^{-6}) = 400 \quad (14)$$

ya'ni $d = 0,0056 \text{ m} = 5,6 \text{ mm}$; shartli ravishda 6 mm deylik.

Zarracha o'lchamini d_{mm} da deb belgilab, $d_{mm} > 6,0 \text{ mm}$ bo'lgan holatda kritik siljish kuchlanishini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\tau_c = 0,056g(\gamma_s - \gamma)d; \quad (15)$$

$$\tau_c = 0,056 \cdot 1,65 \cdot 9790 \cdot d_{mm} / 1000 = 0,905d_{mm} \quad (16)$$

Shunday qilib, umuman olganda, suvdagi cho'kindilar uchun $d_{mm} > 6,0 \text{ mm}$ qiymati kritik siljish kuchlanishi $\tau_c = 0,905 d_{mm}$ bo'lgan g'adirbudur chegaraga mos keladi. Berilgan zarracha o'lchami $d_{mm} > 6,0 \text{ mm}$ bo'lganda kritik siljish kuchlanishini hisoblash uchun Shilds egri chizig'idan foydalanishda sinov va xatolik usulini qo'llashga to'g'ri keladi. Buning sababi shundaki, τ_c egri chiziqning ikkala o'lchamsiz parametrda ham ishtirok etadi. [8] ishda mualliflar Shilds [9] egri chizig'i natijalarini empirik o'lchamsiz formula yordamida τ_c va d o'rtasidagi aniq bog'liqlik sifatida ifodalaganlar. 20°C haroratdagi suv ($\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$) va nisbiy zichligi $2,65$ bo'lgan cho'kindi uchun empirik bog'liqligi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\tau_c = 0,155 + \frac{0,409d_{mm}^2}{[1 + 0,177d_{mm}^2]^{1/2}}, \quad (17)$$

bu yerda d_{mm} — zarracha o'lchami (mm da) va τ_c — kuchlanish (N/m^2 da).

Bu tenglama Shilds egri chizig'ining cheklangan qiymati $0,06$ ga tengligiga asoslangan bo'lib, o'lchami taxminan $5,5 \text{ mm}$ gacha bo'lgan zarrachalarning c qiymatlarini taxminan 5% xatolik bilan hisoblashda juda qulaydir. O'lchami kattaroq zarrachalar uchun, albatta, tenglamadan foydalanish qulayroq. $R_{*c} > 400$ bo'lgan (ya'ni, zarracha o'lchami $6,0 \text{ mm}$ dan katta bo'lgan) allyuvial kanalni ko'rib chiqaylik. U holda, 2-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu oraliq uchun

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0,056 \quad (18)$$

Agar d_c o‘zanining siljish kuchlanishi τ_0 bo‘lgan kanalda harakatsiz qoladigan zarrachaning o‘lchami bo‘lsa, u holda

$$d_0 = \frac{\tau_c}{0,056(\gamma_s - \gamma)}. \quad (19)$$

Lekin gidravlik radiusi R va o‘zan nishabligi S_0 bo‘lgan bir tekis oqimli kanal uchun

$$\tau_0 = \gamma R S_0. \quad (20)$$

Shunday qilib,

$$d_0 = \frac{\gamma R S_0}{0,056(\gamma_s - \gamma)}. \quad (21)$$

Nisbiy zichlikni $\gamma_c/\gamma = 2,65$ deb olsak,

$$d_c = 10,82 R S_0 \approx 11 R S_0 \quad (22)$$

$d_{mm} \geq 6,0 \text{ mm}$ uchun (22) tenglama kanal o‘zanidan yuvilib ketmaydigan cho‘kindi zarrachasining o‘lchamini taxminiy hisoblashning tezkor usulini beradi.

Xulosa

Siljitivchi kuch usuli ochiq kanallarning mustahkam parametrlarini hisoblashning eng samarali usullaridan biridir. Uni qo‘llash oqimning gidravlik xususiyatlarini, o‘zanning geometrik parametrlarini va gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlarini hisobga olish imkonini beradi, bu esa kanallar tubi va nishabliklarining yuvilishining oldini olishni ta’minlaydi.

Ochiq kanal o‘zanining mustahkamligiga ta’sir etuvchi oqiziqqlar harakatining boshlanishi Shields usuligi asosida, ya’ni kritik siljitivchi kuchlarni aniqlashning gidravlik hisobi keltirildi.

Sug‘orish va zovur kanallarini loyihalashda ushbu usuldan foydalanish gidrotexnika inshootlarining ishonchliligini oshirishga, foydalanish xarajatlarini kamaytirishga va uzoq muddatli foydalanish davomida o‘zan jarayonlarining mustahkamligini ta’minlashga imkon beradi.

Adabiyotlar

- [1] Yang, S.-Q. (2010) – *Depth-Averaged Shear Stress and Velocity in Open-Channel Flows*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 136 (11). DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000271
- [2] Shiono, K. & Knight, D. W. (1991) – *Turbulent Open-Channel Flows with Variable Depth Across the Channel*. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 222, pp. 617-646. DOI: 10.1017/S0022112091001246
- [3] Henderson, F.M., *Open Channel Flow*, Macmillan, 1966.
- [4] Lyapin, V. Yu., Cherkasskikh, S. N., Ryzhenkov, A. V., Volkov, A. V., & Dasaev, M. R. (2021) – *Some Aspects of the Shear Stress Distribution in Non-Uniform Gradually Varied Open Flows*. International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 69(12), pp. 307–311. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P237
- [5] Choo, Y.-M., Jeon, H.-S. & Seo, J.-C. (2021) – *Entropy-Based Shear Stress Distribution in Open Channel Turbulent Flow Using Experimental Data*. Entropy, Vol. 23(11), 1540. DOI: 10.3390/e23111540
- [6] Chow, V.T., *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, 1959.
- [7] Knight, D.W., *Computational Fluid Dynamics in Open Channel Flow*, Wiley, 2004.
- [8] Swamee, P K, and Mittal, M K, An Explicit Equation for Critical Shear Stress in Alluvial Streams, J. of Irrigation and Power, CBIP., India, Vol. 33, No. 2, pp. 237–239, April 1976.
- [9] Maturi Foad et al. (2019) – *Experimental Study of Shear Stress in a Rectangular Channel with Vegetation*. Journal of Applied Engineering Sciences, Vol. 9(2), pp. 155–160. DOI: 10.2478/jaes-2019-0021

- [10] Guo, J. & Julien, P. Y. (2005) – *Shear Stress in Smooth Rectangular Open-Channel Flows*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, No. 1, pp. 30–37. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:1(30)
- [11] Wall Shear Stress in Open Channel Flow using Different Groynes (2023) – ISH Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 29(2). DOI: 10.1080/09715010.2022.2026827
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Eshev, S. S., Gayimnazarov, I. X., Latipov, S. A., Rahmatov, M. I., & Kholmamatov, I. K. (2023, March). Calculation of parameters of subsurface ridges in a steady flow of groundwater channels. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2612, No. 1, p. 050033). AIP Publishing LLC.
- [15] G‘ayimnazarov, I. X. (2024). OQIZIQLAR HARAKATINING BOSHLANISHINI TAHLIL QILISH. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 4(10), 142-147.