

## **IX BOB**

### **OCHIQ O‘ZANLARDA SUV OQIMINING SEKIN O‘ZGARUVCHAN BEQAROR HARAKATI**

#### **9. 1. ASOSIY TUSHUNCHALAR**

Ochiq o‘zanlarda suv oqimining sekin o‘zgaruvchan beqaror harakatini o‘rganishda bir o‘lchamli masala qaraladi. Bunda mahalliy tezlikning ko‘ndalang tashkil etuvchisi va uning harakatdagi kesim bo‘ylab notekis taqsimlanganligi hisobga olinadi. Shunga asosan, oqimning butun harakatdagi kesimi bo‘ylab tezlik o‘rtacha tezlikka teng va chuqurlik o‘zgarmas, deb cheklanish qabul qilinadi. Bunday harakatda asosiy masala ochiq o‘zanning turli kesimlarida oqim sarfi va chuqurlikning vaqt davomida o‘zgarishi ( $Q=f(t)$ ,  $h=f(t)$ )ni aniqlashdan iborat bo‘ladi. Ayrim gidravlik masalalarda faqat suv sathining maksimal va minimal qiymatlarini butun uzunligi bo‘yicha aniqlashga to‘g‘ri kelsa, ayrimlarida bu parametrlar faqatgina bir necha kesimlar uchungina talab qilinadi. Bizning mintaqamizda bunday harakat asosan daryolarda harakatlanayotgan suv oqimlarida kuzatiladi.

#### **9. 2. SUV OQIMINING NAPORSIZ BEQAROR HARAKATI HOLATLARI**

Ushbu mavzuda biz faqat oqimning tinch harakati bilan tanishamiz. Amaliyotda ko‘pincha kanalning boshlanish yoki tugash qismida joylashgan qandaydir  $W-W$  kesimidagi oqim sathi gorizontining belgisi  $Z$  va  $Q$  sarf keskin o‘zgargan holatiga duch kelamiz. Bunday keskin o‘zgargan holatlar sababini quyidagilar belgilaydi:

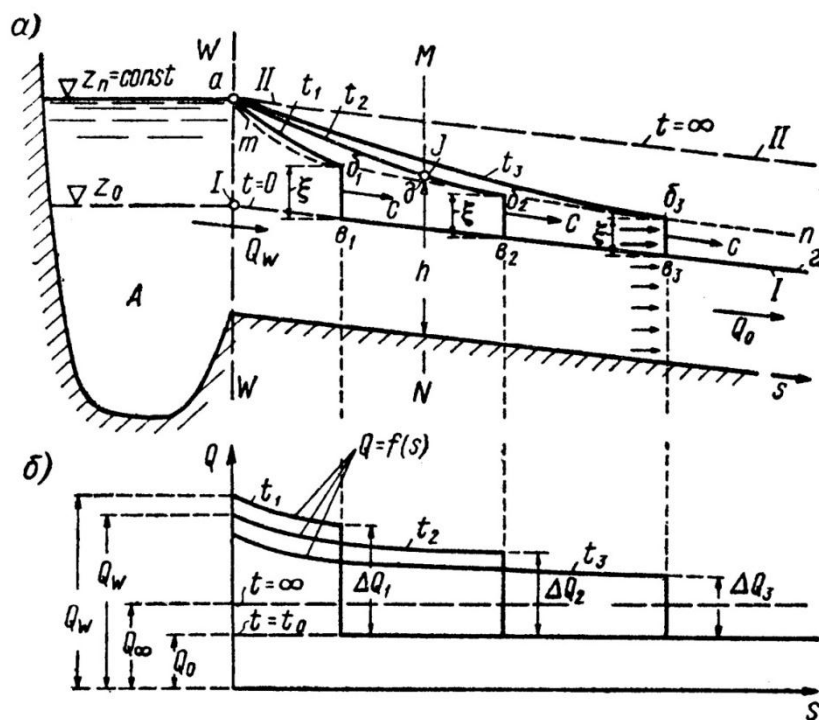
- kanal bilan tutashgan (pastki yoki yuqori beflarda) hovuz sath gorizontining keskin o'zgarishi;
- kanalning boshlanish yoki tugash qismiga qurilgan suv o'tkazuvchi inshootining keskin ochilishi yoki yopilishi.

Albatta  $W-W$  kesimdagi sath gorizonti belgisi  $Z$  va sarf  $Q$  ni o'zgarishi vaqt o'zgarishi bilan o'zanning boshqa qismlaridagi bu parametrlarning o'zgarishiga olib keladi. Bu o'zgarishlar ma'lum bir vaqt oralig'ida ro'y berib, bu vaqt oralig'ida oqimning beqaror harakati amalga oshadi. Oqim sathida esa to'liq paydo bo'lib, to'liqlik harakat vujudga keladi.

Bunda oqimning quyidagi naporsiz beqaror harakatlarini kuzatish mumkin:

1. Musbat pasayuvchi to'liq holati.

(9. 1 va 9. 2-rasmlar). Bunday holat kanalning  $W-W$  boshlang'ich kesimida sath gorizonti belgisi  $Z$  yoki  $Q$  sarf keskin o'zgarganda ro'y beradi.



9. 1-rasm. A xovuzda sath gorizontining keskin ko'tarilishida paydo bo'ladigan musbat pasayuvchi to'liq ko'chishi (a-sxema);  $t$  – vaqtning turli qiymatlarida  $Q$  sarfni oqim bo'ylab o'zgarishi (b-sxema)

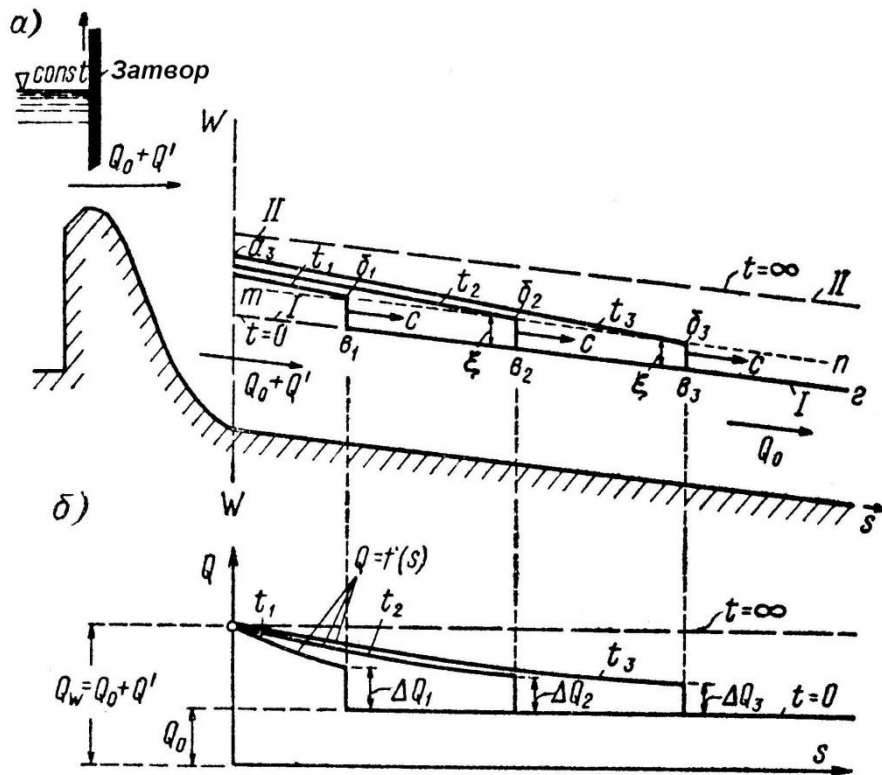
9. 1-rasmda kanalni suv bilan ta'minlayotgan A xovuz sxemasi tasvirlangan deb faraz qilaylik, A xovuzdagi suv sathi gorizonti  $Z_0$  belgidan  $Z_n$  belgigacha ko'tarilib, bu belgida doimiy turadi.

Ma'lum bir vaqt oralig'ida A xovuzdagi suv sathi ko'tarilgandan keyin (beqaror harakat davrida) kanaldagi oqimning erkin sirt chizig'i I-I "boshlang'ich" vaziyatdan II-II "oxirgi" vaziyatgacha pasayadi (A xovuzdagi suvning yangi sathiga mos keladi).

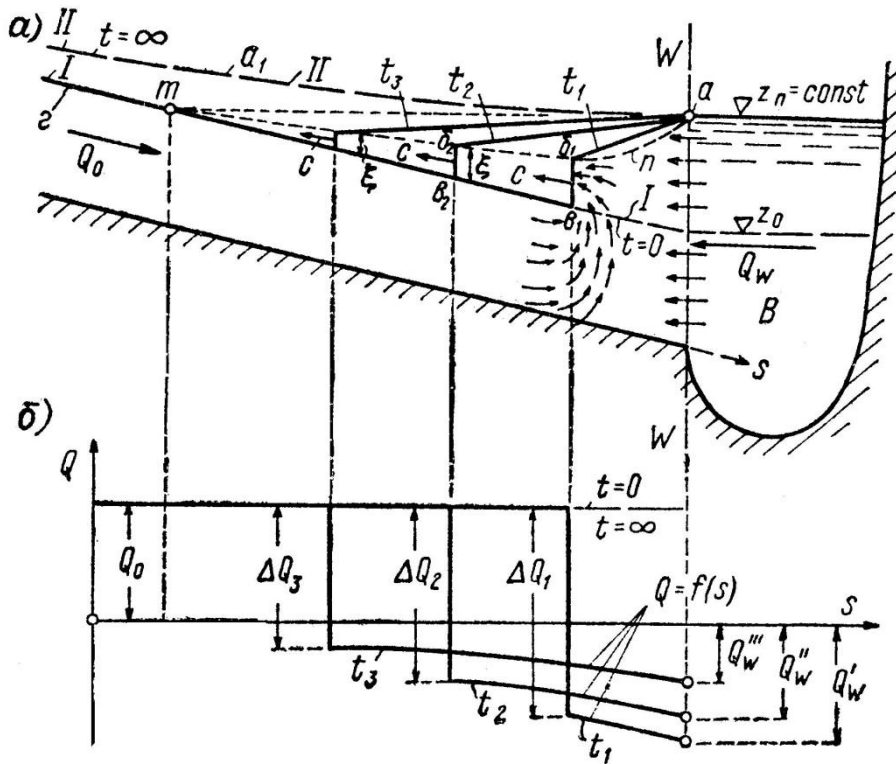
Ko'rinib turibdiki, bu vaqt mobaynida I-I va II-II erkin sirtlar oralig'i suv bilan to'lishi kerak. Xovuzning suv bilan to'lishi  $t_1, t_2, t_3$  ( $t_3 > t_2 > t_1$ ) vaqt oraliqlarida  $abvg$  ( $ab,vg; a\bar{b}_1\bar{v}_1\bar{g}, a\bar{b}_2\bar{v}_2\bar{g}, a\bar{b}_3\bar{v}_3\bar{g}$ ) erkin sirtlar ko'rinishida amalga oshadi. Bu ko'rinishlar 9. 1, a-rasmda tasvirlangan. Turli vaqt oraliqlarida  $Q$  sarf o'zgarishi esa 9. 1, b-rasmda grafik ko'rinishida tasvirlangan.

Kanalning boshlang'ich kesmida to'siqlarning tez ochilishi natijasida unga tashlanayotgan  $Q_0$  oqim sarfi  $Q_0 + Q'$  ga keskin o'zgarib, bu keyinchalik o'zgarmaydigan holatda tasvirlangan.

9. 2, a-rasmda  $abvg$  oqim sxemasi tasvirlangan bo'lsa, 9. 2,b-rasmda  $Q = f(t)$  - turli vaqtlarga mos keluvchi grafik tasvirlangan.



9. 2-rasm. Zatvor ochilganda paydo bo'luvchi musbat pasayuvchi to'liqin. (a sxema) Oqim bo'ylab vaqt o'zgarishi bilan  $Q$  sarfning o'zgarishi grafigi (b sxema)



9. 3-rasm.  $V$  xovuzda suv gorizonti ko'tarilganda paydo bo'lgan musbat ko'tariluvchi to'lqin ( $a$ -sxema); turli vaqt mobaynida  $Q$  sarfning o'zgarishi grafigi ( $b$ -sxema)

### 2. Musbat ko'tariluvchi to'lqin holati.

Bunday holat asosan tugash kesimi  $W-W$  da  $Z$  – sath gorizonti belgisi keskin oshib,  $Q$  sarf keskin kamayib, manfiy qiymatga erishganda ro'y berishi mumkin.

9. 3,  $a$ -rasmida ochiq o'zandan suv tushayotgan  $B$  xovuz tasvirlangan.

Faraz qilaylik, suv sathi gorizonti  $V$  xovuzda  $Z_0$  belgidan  $Z_n$  belgigacha keskin ko'tarilib, keyin doimiy saqlanib qoladi.

$V$  xovuzda sathning ko'tarilishi natijasida kanaldagi erkin sirt  $abvg$  vaqt mobaynida o'z shaklini o'zgartiradi.

$Q$  sarf esa  $Q = f(t)$  grafik shaklida, 9. 3,  $b$ -rasmida tasvirlangan grafik shaklida o'zgaradi.

9. 4-rasmida esa kanalning tugash qismida o'rnatilgan to'siq qisman yopilganda  $W-W$  kesimdagi sarfni  $Q_0$  da  $Q_W$  qiymatga kamaygandagi holat tasvirlangan.

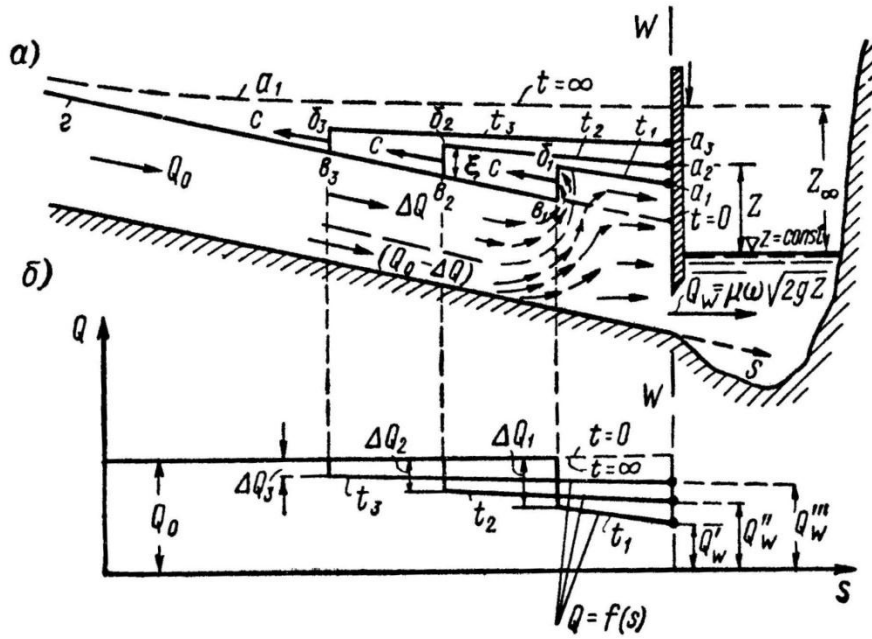
9. 4-rasmdan ko'rinib turibdiki, bunda  $abvg$  deformatsiyalanuvchi erkin sirtga ega bo'lamiz.

### 3. Manfiy pasayuvchi to'lqin holati.

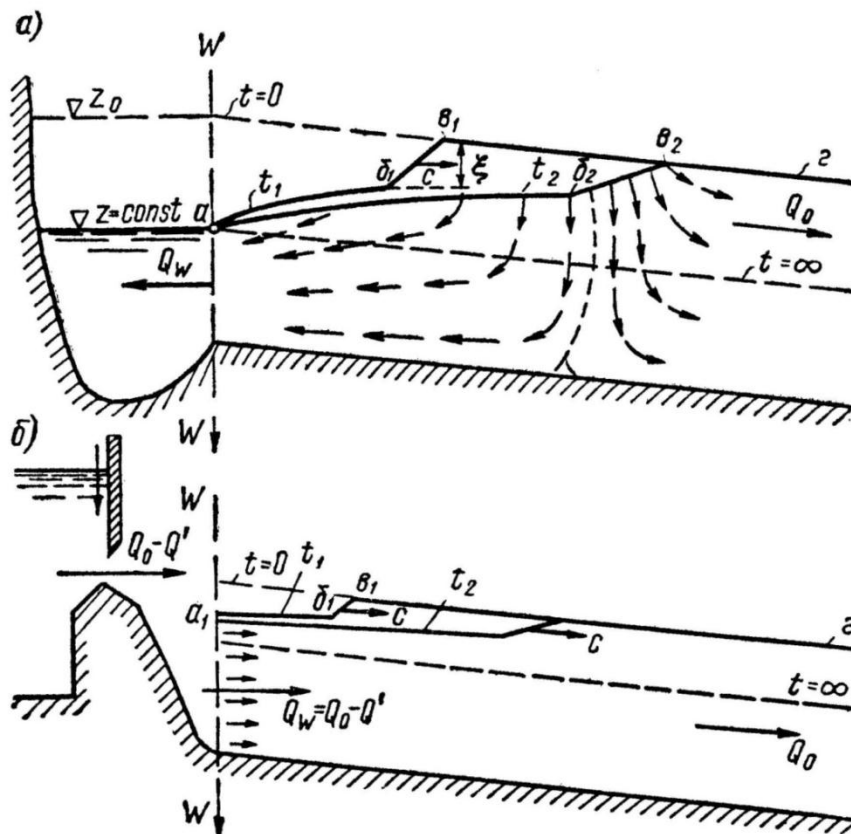
Bu holat kanalning boshlang'ich kesimi ( $W-W$ ) da  $Z$  – sath gorizonti belgisi va  $Q$  sarf kamaya boshlaganda ro'y beradi. (9. 5,  $a$  va  $b$ -rasmlar).

### 4. Manfiy ko'tariluvchi to'lqin holati.

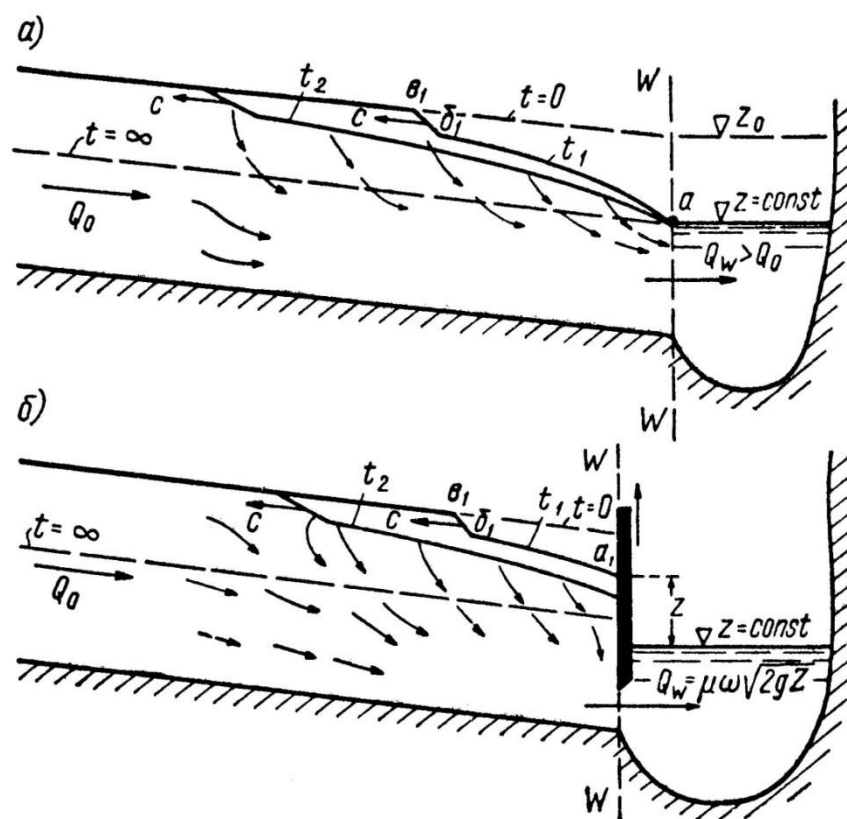
Bunday holat o'zanning tugash qismida  $Z$  belgi keskin pasayganda (9. 6,  $a$ -rasm) yoki  $Q$  sarf keskin oshganda (9. 6,  $b$ -rasm) ro'y beradi.



9. 4-rasm. Zatorning qisman yopilishida paydo bo‘lgan musbat ko‘tariluvchi to‘lqin (a-sxema); turli  $t$  vaqt oralig‘i uchun  $Q$  oqim sarfining o‘zgarish grafigi (b-sxema)



9. 5-rasm. Manfiy pasayuvchi to‘lqin



9. 6-rasm. Manfiy ko'tariluvchi to'lqin

Tasvirlangan rasmlardan ko'rinib turibdiki,  $W-W$  kesimdagi harakat sharti buzilishi – chayqalishni paydo qilib, bu to'lqin ko'rinishda oqim bo'ylab tarqaladi. SHu sababli, beqaror harakat ayrim hollarda *ochiq o'zandagi to'lqinsimon harakat* deyiladi. Albatta, suyuqlikning beqaror harakatida paydo bo'ladigan to'lqinlar o'zining xarakteriga Siz bilan keyingi mavzularda tanishadigan shamol to'lqinlaridan ancha farq qiladi. Shamol to'lqinlari mavjud bo'lganda, ko'pincha suv muhiti bo'ylab, suvning ko'chishini kuzatmaymiz. Oqim to'lqinlari esa ayrim hollarda sezilarli suv hajmini olib o'tadi. SHu sababli, 9. 1÷9. 6-rasmlarda tasvirlangan to'lqinlarko'chish to'lqinlarideb ataladi.

Endi bu mavzularda qo'llaniladigan terminlar bilan tanishamiz:

1. To'lqinlarning “bv” sohasi *to'lqin “peshona”*si deb ataladi. (9. 1-rasm). Ayrim hollarda bu soha buralgan (hattoki, vertikal) bo'lib, bu sohada

keskin o'zgaruvchan harakat bo'lishi mumkin. Boshqa bir vaziyatlarda bu soha qiyalama bo'lishi mumkin (9. 6-rasm qarang). To'lqin peshonasini plandagi ko'rinishining chizig'i *to'lqin fronti* deyiladi.

2. *ab* soha *to'lqin tanasi* deb ataladi. To'lqinning tana qismida hamma vaqt sokin va sekin o'zgaruvchan harakat mavjud bo'ladi. Shu sababli, to'lqin peshonasi o'zanning bu kesimidan o'tgandan so'ng suv sathi gorizonti sekin o'zgaradi.

3. To'lqin peshonasidagi *b* nuqtaning traektoriyasini xarakterlovchi *MN* chiziq *to'lqin chegarasi* deb ataladi. (9. 1-rasmga qarang).

Shuni ta'kidlash kerakki, beqaror harakatni tasvirlayotganimizda quyidagi kattaliklar haqida ma'lumotga ega bo'lishimiz kerak:

- front to'lqinining harakat tezligi, buni *s* bilan belgilaymiz;
- to'lqin "peshona"si balandligi, bu kattalik  $\xi$  harfi bilan belgilaymiz;
- *to'lqin sarfi*  $\Delta Q$ , 9. 1, *b*-rasmdagi grafikda ifodalangan kattalik.

Albatta, *c*,  $\xi$  va  $\Delta Q$  kattaliklarni aniqlashga to'g'ri keladigan oqimning naporsiz beqaror harakatlari hisobi gidroelektrostansiyalar quvurlarini loyihalashtirishda yoki to'xtatilishida vujudga keladigan vaziyatlarning tahlilida yoki gidrostansiyada sutkali sarfni boshqarilishida, uni qayta loyihalashtirish jarayonlarida va boshqa bir qancha holatlarda bajariladi.

Biz bu kursda faqat qaralayotgan beqaror harakatdagi asosiy tushunchalar bilan tanishamiz. Quyida ochiq o'zanlarda harakatlanayotgan bir o'lchamli suv oqimining sekin o'zgaruvchan beqaror harakat differensial tenglamasi bilan tanishishni maqsadga muvofiq deb hisobladik.

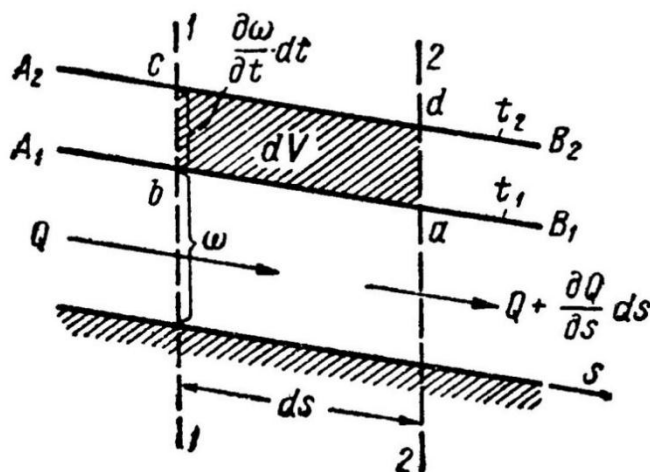
### **9. 3. OQIMNING NAPORSIZ SEKIN O'ZGARUVCHAN BEQAROR HARAKATI UCHUN SEN-VENAN DIFFERENSIAL TENGLAMALARI SISTEMASI VA UNI ECHISHGA DOIR UMUMIY KO'RSATMALAR**



To‘lqin tanasi xududida mavjud bo‘lgan bu harakat turi asosan ikki differensial tenglama orqali ifodalanadi: uzluksizlik va dinamik muvozanat tenglamalari.

1<sup>o</sup>. *Uzluksizlik tenglamasi (sarf balansini tenglamasi).*

To‘lqin tanasining uzunlik bo‘yicha profili kesimini 9. 7-rasmda tasvirlaganidek ko‘rinishda ko‘rib chiqamiz. Rasmda  $t_1$  vaqtga mos keluvchi  $A_1B_1$  va  $t_2$  vaqtga mos keluvchi  $A_2B_2$  erkin sirtlarni kuzatamiz. 1-1 va 2-2 kesimlarni qo‘zg‘almas ko‘rinishda tanlab olib, ularning orasidagi masofani ( $dl$ ) nihoyatda kichik deb qabul qilamiz. Muhitning ikki kesim bilan chegaralangan qismini hisoblaymiz.



9. 7-rasm. Uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga doir

Qaralayotgan kesim doirasida  $A_1B_1$  va  $A_2B_2$  erkin sirtlar bilan chegaralangan, rasmda  $abcd$  yuza bilan ko‘rsatilgan  $dV$  elementar hajmni belgilab olamiz.

Bu  $dV$  elementar hajm uchun ikkita turlicha ifodani yozish mumkin.

Bir tomondan

$$dV = Qdt - \left( Q + \frac{\partial Q}{\partial l} dl \right) dt = - \frac{\partial Q}{\partial l} dl dt \quad (9.1)$$

bunda  $Q$ – 1-1 kesimdagi sarf,  $\left( Q + \frac{\partial Q}{\partial l} dl \right)$ –2-2 kesimdagi sarf.

(9. 1) ifoda 1-1 kesimga  $dt$  vaqt ichida kirib, 2-2 kesimdan chiqayotgan suv hajmi farqini ko‘rsatadi.

Ikkinchi tomondan

$$dV = \left( \frac{\partial \omega}{\partial t} dt \right) dl \quad (9.2)$$

$\frac{\partial \omega}{\partial t} dt$ – 1-1 kesimda  $dt$  vaqt oralig‘ida o‘lchangan harakatdagi kesimning o‘zgarishi.

Shubhasiz (9. 2) ifoda qaralayotgan kesimdagi suv hajmini o‘zgarishini beradi. Suvni siqilmas deb qabul qilib, har ikkala (9. 1) va (9. 2) ifodalarni o‘zaro tenglaymiz va izlanayotgan *birinchi differensial tenglamani* olamiz:

$$- \frac{\partial Q}{\partial l} dl dt = \left( \frac{\partial \omega}{\partial t} dt \right) dl \quad (9.3)$$

yoki

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \quad (9.4)$$

Agar o‘zanning shakli to‘g‘ri to‘rtburchakli prizmatik shaklda bo‘lsa  $\left( \frac{\partial \omega}{\partial l} = 0 \right)$ , tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\frac{\partial q}{\partial l} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (9.5)$$

yoki

$$\frac{\partial(hv)}{\partial l} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (9.6)$$

**2<sup>0</sup>.** *Dinamik muvozanat tenglamasi.*

Bu yerda ham yuqorida mulohaza yuritganimizdek  $A_1B_1$  erkin sirt 1-1 va 2-2 kesimlar bilan chegaralangan elementar hajmni ko'rib chiqamiz. Bu oraliqdagi hajmga tasir etuvchi barcha kuchlarni aniqlab, bu kuchlarni harakat yo'nalishiga proeksiyalaymiz. Dalamber prinsipiga asosan bu proeksiyalar kuchlarining yig'indisini nolga tenglaymiz va qidirayotgan differensial tenglamaga ega bo'lamiz.

Bunday yo'l tutib, sekin o'zgaruvchan notekis harakat differensial harakat tenglamasini olamiz, faqat bu tenglama beqaror harakat holatida inersion lokal kuchlarni inobatga oluvchi had bilan to'ladi. Ochiq o'zanlarda harakatlanayotgan suv oqimining sekin o'zgaruvchan beqaror harakatini o'rganishda yuqoridagi mavzudagi cheklanishlar qabul qilinadi. Bundan tashqari, gidravlik qarshilikni, ya'ni napor yo'qolishini, mahalliy yo'qolishlarni inobatga olmasdan, barqaror harakatdagi kabi qabul qilinadi:

$$h_f = h_l = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} l$$

Bizga ma'lumki, napor yo'qolishlarida asosiy faktor bo'lgan gidravlik qarshilik beqaror harakat uchun gidravlikada etarli darajada o'rganilmagan masala hisoblanadi. Beqaror harakat uchun ko'p sonli eksperimental tadqiqotlar natijalari bir-biriga mos kelmasligini ilmiy adabiyotlarda mutaxassislar ta'kidlangan. Ayrim tadqiqotlar natijasiga asosan, barqaror va beqaror harakatlarda gidravlik qarshiliklar o'zaro teng bo'lsa, boshqa tadqiqotlarda tez o'zgaruvchan harakatda uning kattaligi e'tirof etilgan. Boshqa tadqiqotlar natijasi esa buni teskarisini bergan. Dala tadqiqotlari natijalariga esa gidrotexnik inshootlar orasidagi masofa yaqinligi va o'zanning noprizmatikligi ta'sir ko'rsatgan. Ushbu darslikning VII bobida keltirilgan lokal inersiya kuchlarini hisobga oluvchi Bernulli tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right) = \frac{\alpha'}{\rho} + \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial h_f}{\partial l}$$

Beqaror harakatga bag‘ishlangan aksariyat ilmiy ishlarda kinetik energiya  $\alpha$  va harakat miqdori korrektivlari ( $\alpha_0$ ) o‘zaro teng deb olinadi, ya’ni:  $\alpha = \alpha_0 = 1$ . Aniq qilib ifodalaganda, qabul qilingan cheklanishlar bunga imkoniyat beradi. Ochiq o‘zanlardagi barqaror harakat uchun  $z$  kattalik suv sathi o‘zgarishi xarakterini ifodalaydi, bunda  $p = p_a = const$ . U holda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$J = \frac{\partial}{\partial l} \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (9.7)$$

O‘ng tomondagi oxirgi had inersiya kuchining lokal qismini ifodalaydi:

$\frac{1}{g}$  – suyuqliskning birlik og‘irligi massasi;

$\frac{\partial v}{\partial t}$  – tezlanishning lokal qismi: Boshqa hadlar bizga 9.3-mavzudan ma’lum;

$J$  – erkin sirt nishabligi:

$$J = i - \frac{\partial h}{\partial l} \quad (9.8)$$

$\frac{v^2}{C^2 R}$  – ishqalanish nishabligi

$$i_f = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{K^2} \quad (9.9)$$

(9.8) va (9.9) ifodalarni hisobga olgan holda (9.7) ifodani yozamiz:

$$i - \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (9.10)$$

Demak, beqaror harakatlanayotgan bir o‘lchamli suyuqlik oqimining naporsiz sekin o‘zgaruvchan harakati differensial tenglamalar sistemasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ i - \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

O‘zanning yon tomonidan oqimga qo‘shimcha sarf kelib qo‘shilayotgan bo‘lsa, tenglamalarni quyidagi ko‘rinishda o‘zgartirib yozishimiz mumkin:

$$\begin{cases} i - \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{q_{\text{e.h.kup.}} \cdot v}{n \omega} \\ \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = q_{\text{e.h.kup.}} \end{cases}$$

Olingan tenglamalar – *beqaror harakatlanayotgan bir o‘lchamli suyuqlik oqimining naporsiz sekin o‘zgaruvchan harakati Sen-Venan differensial tenglamalari sistemasi* deb yuritiladi.

Shubhasiz, bu beqaror harakat tenglamalaridan barqaror tekis harakat va barqaror notekis harakat tenglamalari kelib chiqadi. Bunda  $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$  deb qabul

qilinadi va  $h$  chuqurlik  $t$  vaqtga bog‘liq bo‘lmaganligi sababli,  $\frac{\partial h}{\partial l}$  hususiy

hosila  $\frac{dh}{dl}$  to‘g‘ri hosila bilan almashtiriladi.

3<sup>o</sup>. 1 va 2 differensial tenglamalarni echishni aniqlashga doir umumiy eslatmalar.

Yuqorida olingan ikkita sarf balansi va dinamik muvozanat tenglamalari bir differensial tenglamalar sistemasini tashkil qiladi.

Bu tenglamalarni echish natijasida ikkita funksiyaga ega bo‘lishimiz kerak.

$$Q = f_1(t, l) \text{ va } \omega = f_2(t, l)$$

Agar bu funksiyalar bizga ma'lum bo'lganda, biz to'liqin "peshona"si vertikal balandligini ( $\xi$ ) to'liqinning harakat tezligini va qaralayotgan vaqt oralig'i uchun to'liqin tanasi erkin sirtini osonlik bilan aniqlagan bo'lardik.

Bu ikki chiziqli bo'lmagan va hususiy hosilali giperbolik tipdagi differensial tenglamalar sistemasidir.

Shu sababli, ularni echishda ma'lum matematik qiyinchiliklar mavjuddir.

Bularni echish uchun bir necha variantlar taklif qilingan bo'lib, ular taqribiy xarakterga egadir. Ularni quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin:

1. *Oxirgi farq metodi yoki soniy integrallash metodi.* EHM ning qo'llanilishi masala echishni ancha osonlashtiradi. Ushbu yo'nalishda V. M. Lyatxer, A. V. Fedotov, A. M. Prudovskiy, A. V. Mileteev, A. N. Krutov, D. R. Bozorovlarning ilmiy ishlarini ta'kidlab o'tish mumkin (keyingi mavzularda bu usullar bilan batafsil tanishamiz).

2. *Kichik amplitudali to'liqinlar nazariyasiga asoslangan metodga N. T. Meleshenko, G. E. Samorodva, V. P. Siminova va boshqalarning umumiy ishlari kiradi.* Bu tadqiqotchilar o'z ishlarida *kichik amplitudali to'liqinlar nazariyasidan* keng foydalanshgan. Bu yerda quyidagicha fikr yuritamiz:

Masalan, gidrostansiyaning sutkalik boshqarilishiga egamiz. Suv sathi gorizonti o'rtacha qiymat atrofida o'zgaradi. Bunday sekinlangan differensial tenglamadagi  $h$ ,  $Q$  va boshqa hadlar  $h_{yp} + \Delta h$ ,  $Q_{yp} + \Delta Q$  va boshqa hadlarga almashtiriladi.

Bu kattaliklar yuqorida eslatilgan sath gorizontining o'rtacha qiymatiga mos keladi. Bir necha matematik  $\Delta h \Delta Q$ ,  $(\Delta h)^2$ ,  $(\Delta Q)^2$  ko'paytmalar paydo bo'ladi. Ular nihoyatda kichik qiymatga ega bo'lganligi uchun ularni tashlab yuborish mumkin. Shundan so'ng differensial tenglamalar chiziqli ko'rinish oladi va ularni echish imkoniyati paydo bo'ladi.

3. *Berilgan tenglamalarni to'g'ridan to'g'ri echish usuli.* Bu tenglamalar yangi o'zgaruvchilariga ega bo'lgan koeffitsientlar qatori ko'rinishda

ifodalanadi. Boshlang'ich va chegaraviy shartlardan kelib chiqqan holda bu qatorlar koeffitsientlari aniqlanadi. Buning natijasida masala algebraik va differensial tenglama ko'rinishga keltirilib, *Bubnov-Galerkin metodi* yordamida echiladi.

4. V. A. Arxangelskiy, N. M. Bernadskiy, I. V. Egnazarov, N. V. Mastitskiy, A. N. Raxmanovlar tomonidan qo'llanilgan, ko'pincha takribiy xarakterga ega grafoanalitik usuldir. Bunda oxirgi farq ko'rinishda tenglamalar yozilib, oqimning ketma-ket oniy rejimlari ko'rib chiqiladi.

5. *Xarakteristikalar usulida echish.* Bu metodni S. A. Xristiyanovich beqaror harakat malalarni echishda qo'llagan.

#### **9. 4. OCHIQ O'ZANLARDA HARAKATLANAYOTGAN BIR O'LCHAMLI SUV OQIMINING SEKIN O'ZGARUVCHAN BEQAROR HARAKATI DIFFERENSIAL – SEN-VENAN TENGLAMALARI SISTEMASI. KO'CHISH TO'LQINLARINING QAYTISHI**

Horizantal tubli ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi prizmatik o'zanni ko'rib chiqamiz.

Prizmatik kanallarda  $B = \frac{\partial \omega}{\partial h}$  bo'lganligi sababli,

Shezi formulasiga asosan,  $i = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{Q^2}{K^2}$

$$\frac{\partial h}{\partial l} = \frac{\partial h}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} = \frac{1}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l}$$

Bunga asosan, prizmatik o'zanlar uchun quyidagi tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{g} \left( v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{1}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} = i - \frac{v^2}{C^2 R} \quad (9. 11)$$

$$v \frac{\partial \omega}{\partial l} + \omega \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0$$

To'g'ri burchakli yoki nihoyatda keng o'zanlar uchun  $\omega = bh$ , u holda uzluksizlik tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

bunda,  $q$  – solishtirma sarf. Demak,

Bu tenglamalar

$$i = 0, i_f = \frac{Q^2}{R^2} = 0$$

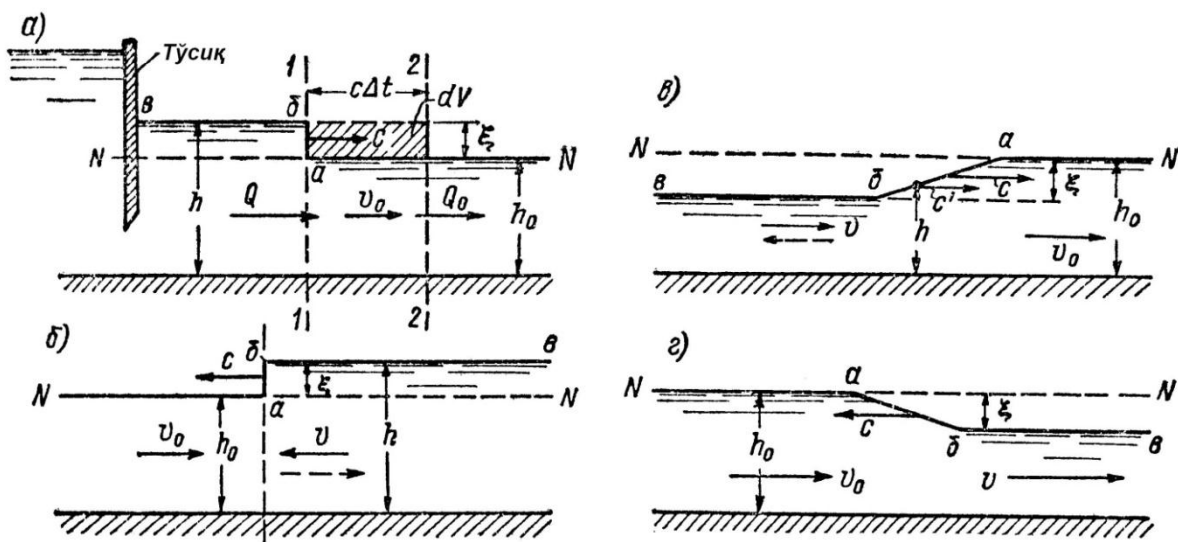
shart bilan xarakterlanib, uning echimini ideal suyuqlik oqimining Sen-Venan to'g'riburchakli gorizonta tubga ega prizmatik o'zamlardagi harakati uchun olganligi sababli, bu tenglama ham *Sen-Venan tenglamalari* sistemasi deb yuritiladi.

Demak,

$$\begin{cases} \frac{\partial(hv)}{\partial l} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ -g \frac{\partial h}{\partial l} = v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases} \quad (9.12)$$

Bu tenglamalarni oddiy matematik metodlar yordamida engilgina echimini topishimiz mumkin. Bu echim natijalari quyidagilardan iborat.





9. 8-rasm. To‘g‘ri to‘rtburchak kesimli prizmatik o‘zandagi to‘lqin ko‘chishi (ideal suyuqlik)

Bu tenglamalarni oddiy matematik metodlar yordamida engilgina echimini topishimiz mumkin. Buechimnatijalari quyidagilardan iborat:

9. 8-chizmada qaralayotgan o‘zanning uzunlik bo‘yicha profili qirqimini ifodalaymiz.  $N-N$  chiziq bilan beqaror harakatga mos keluvchi erkin sirt ifodalangan (eslatib o‘tamiz, napor yo‘qolishi bu holatda inobatga olinmaydi).  $a, b, v, g$  sxemalarda to‘lqin ko‘chishining to‘rt holati ifodalangan.

Olingan tenglamalar tahlili musbat to‘lqinlar (9. 8a,b-rasm) holati uchun to‘lqin “peshona”si  $ab$  vertikal ko‘rinish olishini ko‘rsatadi. Manfiy to‘lqin holati uchun esa “qiyalama” to‘lqin shaklida bo‘lib,  $ab$  peshonaning turli nuqtalarida turlicha (9. 8,v va g-rasmlar) tezlikka ega bo‘lishini ko‘ramiz. Bu  $c$  harfi bilan belgilanadi,  $s$  – to‘lqin fronti tezligi,  $c'$  esa tezlikning o‘rtacha qiymati ko‘rinishida deb qabul qilinadi.

$$c = v_0 \pm \sqrt{gh_0} \left( 1 + \frac{3}{4} \frac{\xi}{h_0} \right) \quad (9. 13)$$

$$c' = v_0 \pm (3\sqrt{gh} - 2\sqrt{gh_0}) \quad (9. 14)$$

bunda “0” indeks bilan beqaror harakat paydo bo‘lgunga qadar mavjud bo‘lgan beqaror harakat elementlari belgilangan;

$\xi$  – to‘lqin “peshona”si balandligi;

$h - c'$  tezlik o‘lchangan  $ab$  chiziq nuqtasidagi oqimning beqaror harakatidagi chuqurligi.

Ko‘pincha  $\xi$  to‘lqin balandligi  $h_0$  chuqurlikka nisbatan nihoyatda kichik bo‘lganligi sababli,  $\xi: h$  munosabat hisobga olinmaydi.

$$\boxed{c = v_0 \pm \sqrt{gh_0}} \quad (9. 15)$$

bunda  $c$  – to‘lqin peshonasi ko‘chish tezligining absolyut qiymatidir.

Agar to‘lqin beqaror harakat paydo bo‘ladigan chegaradagi befda tarqalsa, ( $v_0 = 0$ ) uning fronti harakat tezligi.

$$c_0 = \sqrt{gh_0} \quad (9. 16)$$

$c_0$  – to‘lqin peshonasi nisbiy ko‘chish tezligi bo‘lib, (9. 16) formula *Lagranj formulasi* deyiladi.

Etibor bergan bo‘lsangiz (9. 13) – (9. 15) formulalarda  $\pm$  belgilar qo‘yilgan, bunda “–” pasayuvchi, “+” ko‘tariluvchi to‘lqinlar uzunligi bo‘lib, mos ravishda to‘lqinlar oqim bo‘ylab pastga va oqimga qarshi yuqoriga tarqaladi.  $\xi$  kattalik va  $\Delta Q = Q - Q_0$  o‘rtasidagi qo‘shimcha aloqani o‘rnatish uchun musbat to‘lqin (9. 8,  $a$  va  $b$ -rasmlar) bilan tanishamiz. Buning uchun rasmda 1-1 va 2-2 kesimlarni, ular orasidagi masofani  $cdt$  deb qabul qilamiz. 1-2 kesimlar orasida  $dt$  vaqtda  $dV$  suv hajmi joylashishi bizga ma’lum, shubhasiz bu kattalikni quyidagicha ifodalaymiz:

$$dV = Qdt - Q_0dt = (Q - Q_0)dt \quad (9. 17)$$

$$dV = B\xi cdt \quad (9. 18)$$

bunda  $B$  – to‘g‘ri to‘rtburchak o‘zan kengligi.

(9. 17) va (9. 18) ifodalarni o‘zaro tenglab

$$(Q - Q_0)dt = B\xi cdt \quad (9. 19)$$

yoki

$$dQ = Q - Q_0 = B\xi c \quad (9. 20)$$

yoki

$$\xi = \frac{dQ}{Bc} = \frac{Q - Q_0}{Bc} \quad (9. 21)$$

(9. 21) yoki (9. 20) hamda (9. 15) yoki (9. 13) ifodalar yordamida ko‘pgina masalalar echimini topishimiz mumkin:

*a)* faraz kilaylik, to‘siq (9. 8,*a*-rasm) bir zumda ochildi,  $Q$  sarf  $dQ$  kattalikka oshdi. To‘lqin balandligi  $\xi$  va kanal bo‘ylab tarqalish tezligi  $s$  ni topish talab qilinadi. Dastlab, (9.15) ifodadan foydalanib  $s$  kattalik hisoblanadi va (9. 21) yordamida  $\xi$  aniqlanadi va  $s$  kattalik (9.13) formuladan foydalanib aniqlashtiriladi. Keyin bunga asosan yana  $s$  kattalik (9. 21) yordamida qayta hisoblanadi.

*b)* faraz qilaylik, suvning sath gorizontini keskin  $N-N$  chiziqdan  $\xi$  balandlikka ko‘tardik (9. 8,*b*-rasm). To‘lqin sarfli kanal bo‘ylab to‘lqin tarqalish tezligini topish talab qilinadi. Buning uchun (9. 13) yoki (9. 15) ifodalar yordamida  $s$  kattalik hisoblanadi. (9. 20) formula yordamida  $dQ$  hisoblanadi. Manfiy to‘lqin bo‘lgan hollarda bu masalalarning echimini aniqlash birmuncha qiyinlashadi. Chunki, bunda (9. 14) formula yordamida  $av$  chiziqning holatini aniqlab olish kerak.

Xulosada quyidagi mulohazalarni keltiramiz:

1. Yuqoridagi ifodalarni keltirib chiqarishda napor yo‘qolishlari hisobga olinmagan, chunki ular hisob natijasiga kam tasir etadi.
2. Bu echimlar ma’lum bir cheklanishlar bilan har qanday to‘g‘ri silindrsimon o‘zanlar uchun ham qo‘llanilishi mumkin. Faqat bunda

$s$  tezlik uchun formulada  $h_0$  o‘rniga,  $\frac{\omega_0}{B}$  kattalik qo‘yiladi, bunda  $\omega_0$  – beqaror harakat paydo bo‘lgunga qadar oqimning harakatdagi kesim yuzasi,  $B$  – to‘lqin yarim balandligidagi harakatdagi kesim kengligi.

3. 9. 1-rasmdagi suv harakatini misol tariqasida ko‘rib chiqamiz.  $M-N$  ixtiyoriy kesim tanlab olamiz.  $t_2$  vaqtgacha bu kesimda  $h$  chuqurlik mavjud bo‘lgan.

$Q_{MN}$  sarfning bu kesimdagi ( $t_2$  vaqt davomida) miqdori shu kesimdagi erkin sirt nishabligi  $J$  bilan bog‘liq holda (9. 7) formuladan aniqlanadi. Agar inersiya kuchlari qaralayotgan kesimda hisobga olmasak,  $J$  nishablikni Shezi formulasiga asosan hisoblash mumkin.

Shubhasiz,  $Q_{MN}$  carf quyidagi yig‘indi ko‘rinishida yozilishi mumkin:

$$Q_{MN} = Q' + dQ_2 + Q_0 \quad (9. 22)$$

bunda  $Q_0$  – kanalning 1-1 kesimdagi erkin sirtning dastlabki boshlang‘ich vaziyatiga mos keluvchi qiymati.

$dQ_2$  to‘lqinli sarf:

$$dQ_2 = \xi Bc \quad (9. 23)$$

bunda  $s$  – taqriban (9. 15) formula yordamida aniqlanadi.

$Q - a - \sigma_2$  erkin sirtini paydo qiluvchi  $d - \sigma_2$  egrilikdan yuqorida suv sarfi.

Yuqoridagi muloxazalarga tayanib, suv harakatining sxemasini (9. 5, 9. 6-rasmlar) sifat jihatdan tahlil qilish mumkin.

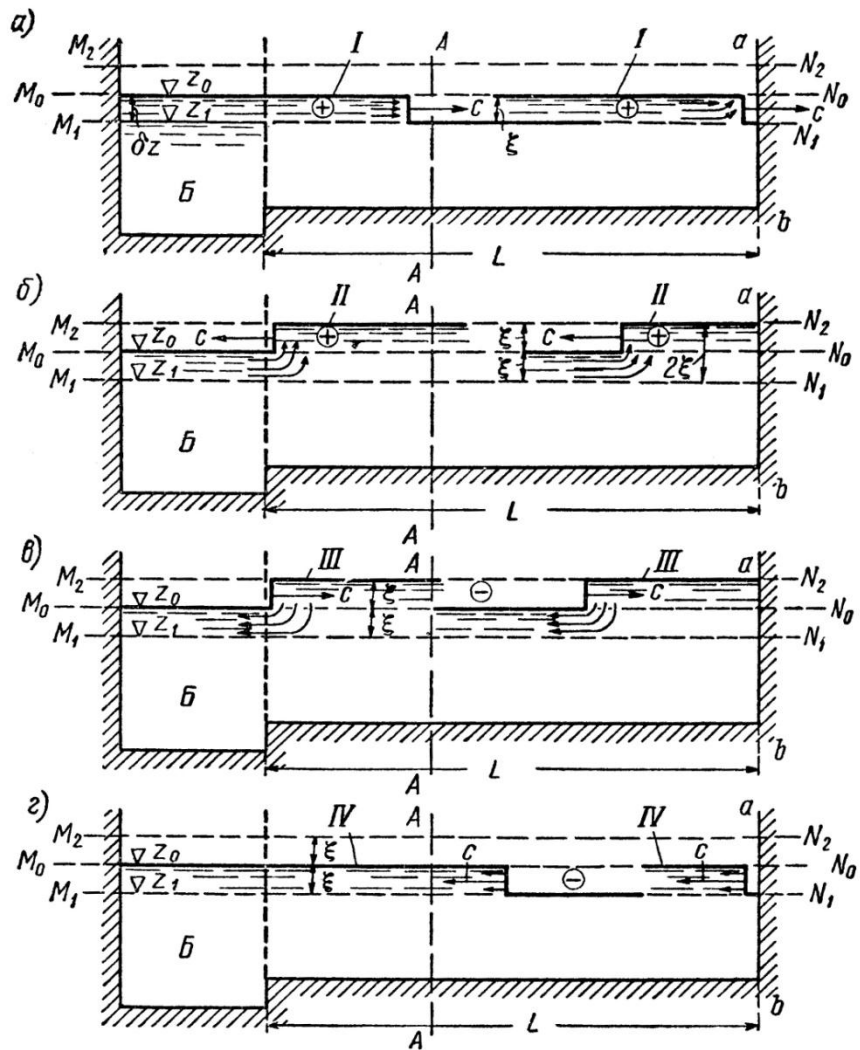
4. Tugallangan uzunlikdagi o‘zanda to‘lqin ko‘chishi bilan tanishamiz. Bunda shu to‘lqining qaytishi muammosiga duch kelamiz. Bu gidravlik zarbdagidek qiyali ko‘rinishida bo‘ladi.

9. 9-rasmda  $B$  xovuzdagi suyuqlik gorizonti belgisi bir zumda  $dz$  kattalikka ( $M_1N_1$  sathdan  $M_0N_0$  sathgacha) ko‘tarilganda gorizonta tubli prizmatik o‘zandan harakatlanayotgan ideal suyuqlik ko‘rsatilgan.

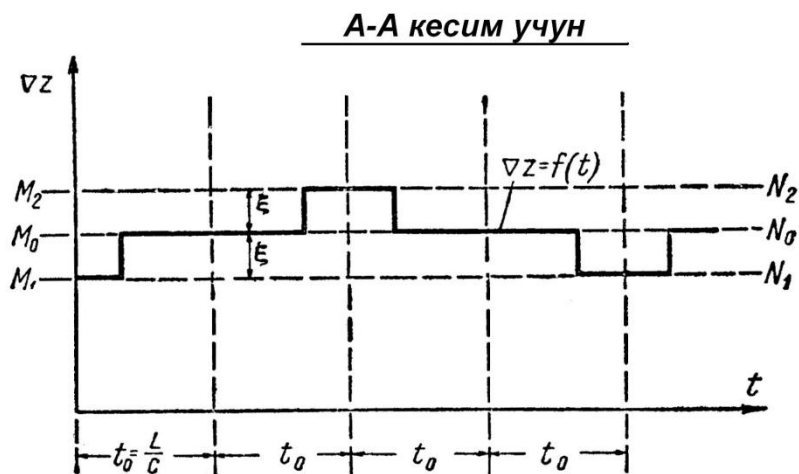
Bu rasmdan ko‘rinib turibdiki, yopiq kanaldan ko‘chish to‘lqini qaytganda ( $ab$  devordan) o‘z belgisini o‘zgartirmaydi; kanalning ochiq tomonidan ( $B$  xovuzdan) qaytganda ko‘chish to‘lqini o‘z belgisini teskarisi bilan o‘zgartiradi.

Yuqoridagi 9. 10-rasmda A-A kesimda ideal suyuqlik gorizontining soʻnubchi gorizonti keltirilgan.

Bu toʻlqinli harakat tufayli vujudga kelgan.



9. 9-rasm. Koʻchish toʻlqinining qaytishi



9. 10-rasm. A-A kesimdagi ideal suyuqlik gorizontining so‘nuvchi tebranishi

**9. 5. OQIMNING NOTINCH (SHOVQINLI) VA TINCH (SOKIN)  
HARAKATLARI TUSHUNCHALARIGA ANIQLIK KIRITISH.  
GIDRAVLIK SAKRASHNI TO‘LQIN KO‘CHISHINING TO‘XTAGAN  
HOLATI DEB QARALISHI**

Yuqoridagi mavzulardan birida biz oqimning shovqinli va sokin harakatlariga ta’rif bergan edik.  $h > h_k$  holatda sokin harakat mavjud bo‘lib,  $h < h_k$  da shovqinli harakat mavjud bo‘ladi deb etirof etilgandi. Biz bu bobda ko‘chish to‘lqinlari va to‘lqin tezligi xaqida etarli ma’lumot olganimizdan keyin bu masalaga aniqlik kiritishimiz mumkin.

(9. 15) formulani tahlil qilaylik. To‘lqinni yuqorida oqim bo‘yicha ko‘tariluvchi deb qabul qilsak, quyidagini yozish o‘rinli bo‘ladi:

$$c = v_0 - \sqrt{gh_0} = v_0 - c_0 \quad (9. 24)$$

bunda  $c_0$  – to‘lqin peshonasining nisbiy ko‘chishi ( $v_0$  tezlikdagi suvga nisbatan).

$$c_0 = \sqrt{gh_0} \quad (9. 25)$$

Shubhasiz,

$$c_0 > v_0 \quad (9.26)$$

u holda to'liqin ko'rinishdagi qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga ko'chadi:

$$c_0 < v_0 \quad (9.27)$$

Bu holatda esa u qo'zg'alish pastga oqim bo'ylab harakatlanadi. Mana shu oxirgi holat (9.27) formula bilan xarakterlanib, *shovqinli harakat* deyiladi. (9.26) formula bilan harakaterlanuvchi holat *sokin harakathisoblanadi*.

Demak, *suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga va pastga tarqaladi. SHovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat pastga tarqaladi.*

Albatta, takidlash kerakki,

$$c_0 = v_0 \quad (9.28)$$

bo'lgan xususiy holat ham bo'lishi mumkin. Bunday holatda ko'chish to'liqini qo'zg'almas holatda bo'ladi, bunda  $c = 0$  bo'ladi.

Bu qo'zg'almas to'liqin bizga ma'lumgidravlik *sakrashdir*. SHu sababli, gidravlik sakrashni *to'liqin ko'chishi qoldig'i* deb atash ham mumkin.

$$c = v \pm \sqrt{1 + \frac{3}{2} \frac{\xi}{h_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{\xi}{h_0} \right)^2} \quad (9.29)$$

(9.29) formula (9.13) formulaning aniqroq ko'rinishidir.

## IXbobga doir test-nazorat savollari

1. Sekin o'zgaruvchan beqaror harakat differensial tenglamalarini ko'rsating.

$$a) \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ i - \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$b) \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial s} - \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ i - \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$c) \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ i + \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$d) \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

2. Sokin harakatni ta'riflang

a) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga va pastga tarqaladi.

b) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat pastga tarqaladi;



- c) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat yuqoriga tarqaladi;
- d) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab tarqalmaydi.

### **3. Shovqinli harakatni ta'riflang.**

- a) Suyuqlikning shovqinli harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab pastga tarqaladi.
- b) Suyuqlikning shovqinli harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat yuqoriga tarqaladi;
- c) Suyuqlikning shovqinli harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab pastga va yuqoriga tarqaladi;
- d) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har kandy erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab tarqalmaydi.

### **4. Gidravlik sakrashni izohlang.**

- a) Suv oqimi sirtida paydo bo'lgan qo'zg'alishni harakatsiz turib qolishi gidravlik sakrash deyiladi;
- b) Suv oqimi sirtida paydo bo'lgan qo'zg'alishni oqim bo'ylab harakatlanishi gidravlik sakrash deyiladi;
- c) Suv oqimi sirtida paydo bo'lgan qo'zg'alishni oqim yo'nalishiga teskari harakatlanishi gidravlik sakrash deyiladi;

d) Oqimning harakat tartibini o'zgarishida ro'y beradigan gidravlik jarayon gidravlik sakrash deyiladi.

**5. Gorizontali tubli to'rtburchak shakldagi prizmatik kanallarda sekin o'zgaruvchan beqaror harakatlanayotgan oqim uchun Sen-Venan tenglamalari sistemasini ko'rsating.**

$$a) \begin{cases} \frac{\partial(hv)}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ -g \frac{\partial h}{\partial s} = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$b) \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ i - \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{Q^2}{K^2} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$c) \begin{cases} \frac{\partial(hv)}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ g \frac{\partial h}{\partial s} = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$

$$d) \begin{cases} \frac{\partial(hv)}{\partial s} - \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ -g \frac{\partial h}{\partial s} = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \end{cases}$$