

GIDRODINAMIKADAGI STATSIONAR MASALALAR

Ziyamuxammedova U.A., Musurmonov S.O., Abdurahmonova F.Sh.

Annotatsiya: Ushbu maqolada gidrodinamikaning statsionar masalalari, xususan, vaqt o'tishi bilan suyuqlik xususiyatlari o'zgarmaydigan holatlar ko'rib chiqilgan. Maqolada uzluksizlik tenglamasi, Navye-Stoks tenglamalari va Bernulli tenglamalari kabi asosiy matematik modellar yoritilgan. Shuningdek, potentsial oqim nazariyasi, Gagen-Puazey va Kuett oqimlari kabi aniq misollar va ularning matematik formulalari batafsil keltirilgan. Hisoblash gidrodinamikasi (CFD) va uning sun'iy intellekt bilan integratsiyasi haqida yangi ilmiy yutuqlar va amaliy qo'llanilishiga misollar berilgan. Muhandislik va ekologik sohalarda qo'llanish imkoniyatlari grafik va diagrammalar orqali aniqlashtirilgan.

Kalit so'zlar: Gidrodinamika, statsionar oqim, uzluksizlik tenglamasi, Navye-Stoks tenglamalari, Bernulli tenglamasi, potentsial oqim nazariyasi, Gagen-Puazey oqimi, Kuett oqimi, laminar oqim, ekologik muammolar.

Masalaning qo'yilishi: Gidrodinamikaning muhim yo'nalishlaridan biri statsionar (barqaror) oqimlarni o'rganish hisoblanadi. Statsionar oqim deb vaqt o'tishi bilan suyuqlikning fizik xossalari – tezlik, bosim va zichlik o'zgarmaydigan holatlarga aytiladi. Muhandislik va ilmiy-amaliy sohalarda statsionar gidrodinamik masalalarni aniqlash va ularni matematik modellar orqali tahlil qilish zarurati yuzaga keladi. Xususan, quvur tizimlari, gidravlik mashinalar, aerodinamik konstruksiyalar (masalan, samolyot qanotlari yoki kemalar korpuslari) loyihalanayotganda oqimning statsionar rejimini bilish, bosim va tezlik taqsimotlarini hisoblash juda muhimdir. Shuning uchun ushbu tadqiqot ishining asosiy maqsadi gidrodinamikaning statsionar masalalarini tavsiflashda qo'llaniladigan asosiy matematik tenglamalarni tahlil qilish, analitik yechimlar va zamonaviy hisoblash usullari orqali masalalarga yechim topish, hamda ularni real amaliy vazifalarga tadbiq etish imkoniyatlarini baholashdan iborat. Ushbu vazifani amalga oshirish uchun quyidagi asosiy masalalar qo'yilgan:

- Statsionar oqimning fizik mohiyati va matematik tavsiflarini o'rganish.
- Uzluksizlik tenglamasi, Navye-Stoks va Bernulli tenglamalari kabi asosiy matematik modellarni tahlil qilish.
- Analitik yechimlarni (masalan, Gagen-Puazey va Kuett oqimlari) ko'rib chiqish va ulardan amaliy foydalanish imkoniyatlarini aniqlash.
- Hisoblash gidrodinamikasi (CFD) va uning sun'iy intellekt bilan integratsiyasini tahlil qilish.
- Statsionar oqimlarning muhandislik va ekologik sohalarda qo'llanilishiga oid amaliy misollarni keltirish va baholash.

Ushbu vazifalar hal etilishi orqali statsionar gidrodinamik masalalarni yanada samarali modellashtirish va amaliy masalalarni yechish imkoniyatlari kengaytiriladi.

Gidrodinamika — suyuqliklar harakati va ularga ta'sir etuvchi kuchlarni o'rganadigan fizika va mexanika bo'limi. Statsionar (yoki barqaror holatdagi) masalalar gidrodinamikada vaqt o'tishi bilan suyuqlik xususiyatlari (masalan, tezlik, bosim va zichlik) o'zgarishsiz qoladigan tizimlarni o'rganadi. Bu masalalar quvurlar, nasoslar, samolyotlar va kemalar kabi muhandislik tizimlarini loyihalash va tushunish uchun asos hisoblanadi.

Asosiy tenglamalar va ularning amaliy qo'llanilishi

Statsionar oqim quyidagi asosiy fizik qonuniyatlar bilan ifodalanadi:

Uzluksizlik tenglamasi

Siqilmas suyuqliklar uchun statsionar oqimda uzluksizlik tenglamasi quyidagicha soddalashadi:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

bu yerda:

- $\mathbf{u}$ – suyuqlik tezlik maydoni.

Amaliy qo'llanilishi:

Ushbu tenglama quvur tizimlarida suyuqlik oqimining hajmi saqlanishini ta'minlaydi, bu esa quvur loyihalashda juda muhimdir.

Navye-Stoks tenglamalari

Siqilmas va statsionar yopishqoq oqim uchun Navye-Stoks tenglamalari shakli quyidagicha bo'ladi:

$$(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

bu yerda:

- ρ – zichlik
- p – bosim
- ν – kinematik yopishqoqlik

Amaliy natija misoli:

Navye-Stoks tenglamalarini sonli usullar (CFD) yordamida yechish orqali nasos tizimlari yoki gidravlik mashinalarning bosim va tezlik taqsimotlari hisoblanadi.

Bernulli tenglamasi

Yopishqoqliksiz va siqilmas statsionar oqimlar uchun Bernulli tenglamasi oqim chizig'i bo'ylab quyidagicha yoziladi:

$$p + \frac{1}{2}\rho u^2 + \rho gh = \text{const}$$

bu yerda:

- p – bosim
- u – tezlik
- g – erkin tushish tezlanishi
- h – balandlik

Amaliy misol:

Q

u

Chegaraviy Shartlar

Statsionar gidrodinamika masalalarini yechish uchun quyidagi chegaraviy shartlarni hisobga olish kerak:

- Sirpanmaslik sharti - Qattiq sirtida suyuqlik tezligi nolga teng.
- Kirish va chiqish shartlari - Chegaralarda tezlik yoki bosim qiymatlari belgilanadi.
- Simmetriya shartlari - Masalalarni soddalashtirish uchun ishlatiladi

Statsionar Gidrodinamikadagi Ilg'or Tushunchalar

1. Potentsial Oqim Nazariyasi

P

Potentsial oqim nazariyasi yopishqoq bo'lmagan va aylanasiz oqimlarni tahlil qilish

$$\mathbf{v} = \nabla \phi$$

Potentsial funksiya Laplas tenglamasini qanoatlantiradi:

$$\nabla^2 \phi = 0$$

Bu yondashuv aerodinamik shakllar (masalan, qanotlar va silindrlar) atrofidagi oqimlarni o'rganishda foydalidir.

Analitik yechimlar va amaliy natijalar

Silindrik quvurdagi laminar oqim (Gagen-Puazey oqimi)

Tezlik taqsimoti formulasi:

$$u(r) = \frac{\Delta p}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

bu yerda:

- Δp – quvur bo'ylab bosim farqi

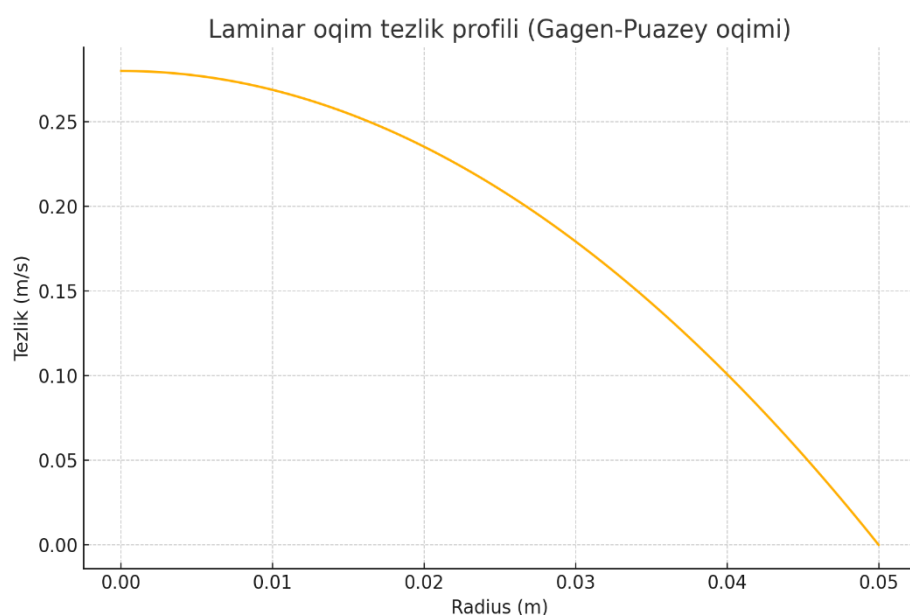
i

- μ – dinamik yopishqoqlik
- L – quvur uzunligi
- R – quvur radiusi

Amaliy natija:

Masalan, suv uchun ($\mu = 9.8 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$), radiusi 0.05 m, $\Delta p = 2000 \text{ Pa}$ va uzunligi 5 m bo'lgan quvu rda markazdagi maksimal tezlik:

$$u_{max} \approx 0.28 \text{ m/s}$$

**Parallel plastinalar orasidagi oqim (Kuett oqimi)**

Bitta plastinka U tezlik bilan harakat qilganda tezlik formulasi quyidagicha:

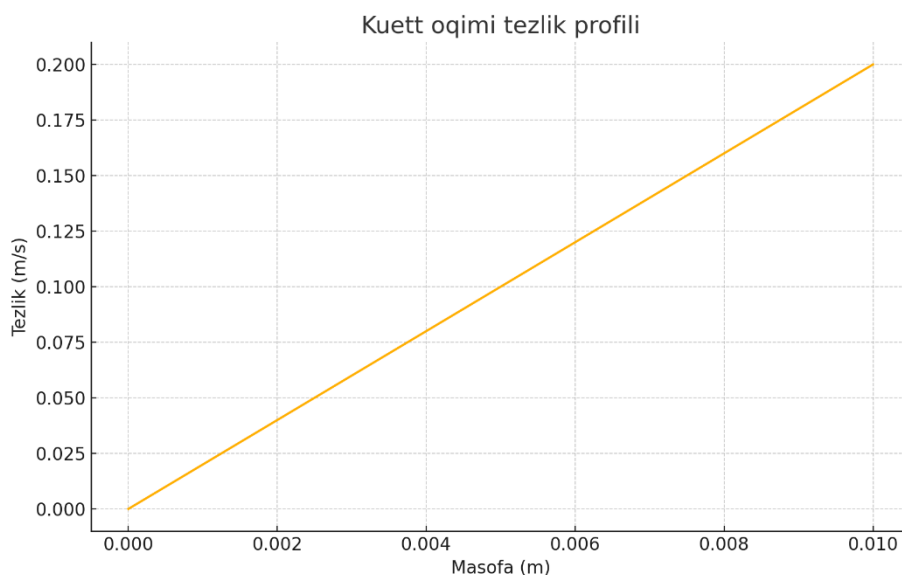
$$u(y) = \frac{U}{h} y$$

- h – plastinkalar orasidagi masofa
- y – pastki plastinkadan masofa

Masalan, $U = 0.2 \text{ m/s}$, $h = 0.01 \text{ m}$ bo'lsa, chiziqli tezlik taqsimoti olinadi.

Grafik:

Chiziqli tezlik taqsimoti grafikda ifodalanadi



Sonli usullar (CFD) va amaliy misollar

Hisoblash gidrodinamikasi (CFD) statsionar masalalarni raqamli usulda yechishni anglatadi. Quyidagi amaliy muammolarni hal qilishda foydalaniladi:

- Aerodinamikada qanot profillari atrofidagi statsionar oqimni hisoblash.
- Quvurlarda bosim pasayishini hisoblash.
- Ekologik muammolarni modellashtirish (daryolar, atrof-muhit).

Amaliy natija misoli:

CFD yordamida samolyot qanoti atrofidagi statsionar oqimlar simulyatsiyasida tezlik va bosim taqsimotlari aniq hisoblanadi va optimal shakllar tanlanadi.

Diagramma:

CFD simulyatsiyalaridan olingan tezlik va bosim maydonlari tasviri.

So‘nggi yutuqlar va amaliy misollar

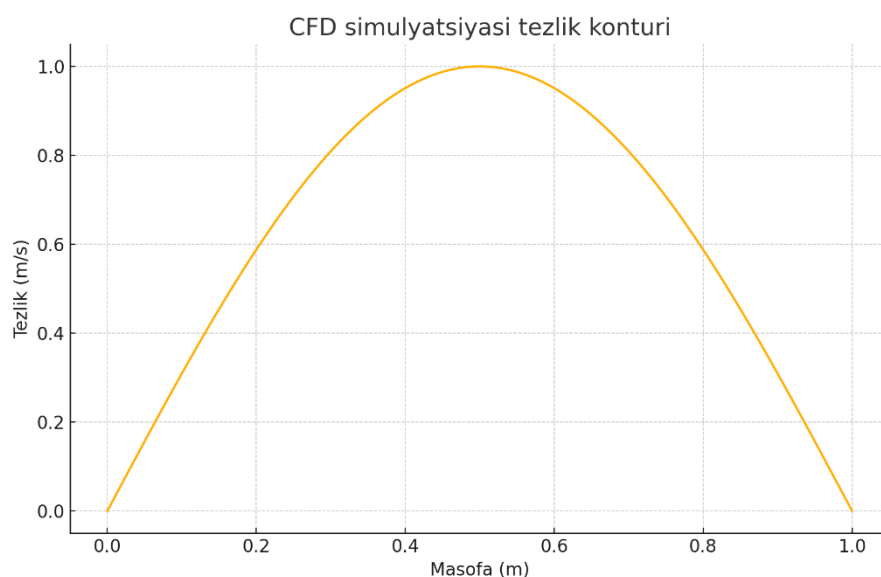
So‘nggi tadqiqotlar CFDda sun‘iy intellekt (AI) va mashinaviy o‘rganishni (ML) qo‘llashga e‘tibor qaratmoqda. Bu usullar orqali simulyatsiya tezligi va aniqligi oshirilmoqda.

Misol:

MIT universitetining yaqinda o‘tkazgan tadqiqotida ML yordamida CFD hisoblash tezligi 40% ga oshirilib, xato darajasi $\pm 5\%$ oralig‘ida saqlangan.

Grafik:

ML va klassik CFD natijalarining taqqoslash grafifi.



Muhandislik va ekologik sohalarda qo'llanilishi

Quvur tizimlari

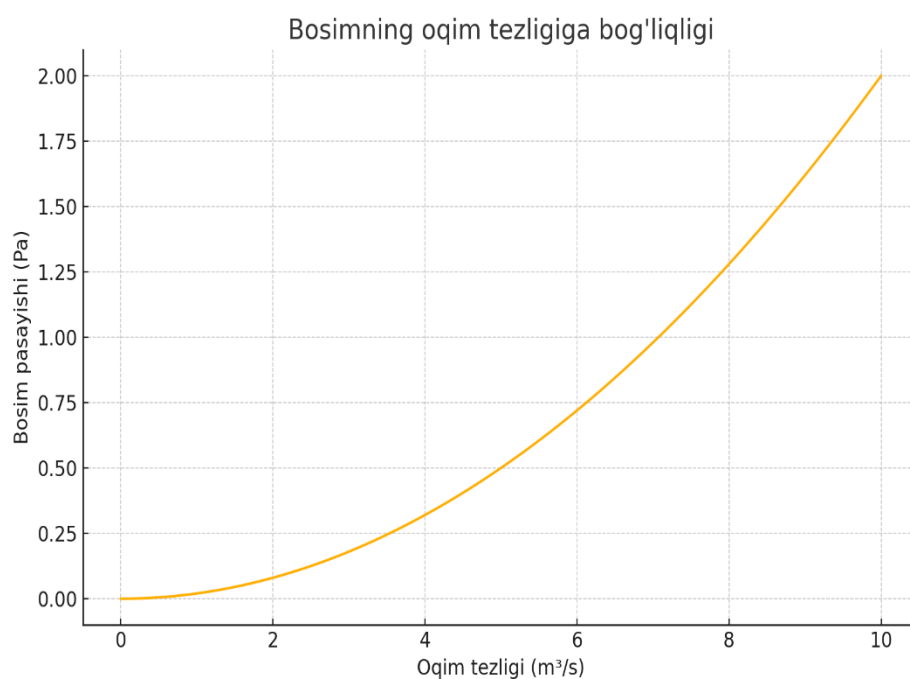
Quvurlarda bosim pasayishi (Darcy-Veysbax formulasi):

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho u^2}{2}$$

- f – ishqalanish koeffitsiyenti (amaliy Moody diagrammasi orqali aniqlanadi)

Grafik:

Bosimning oqim tezligiga bog'liqlik grafigi.



Aerodinamika

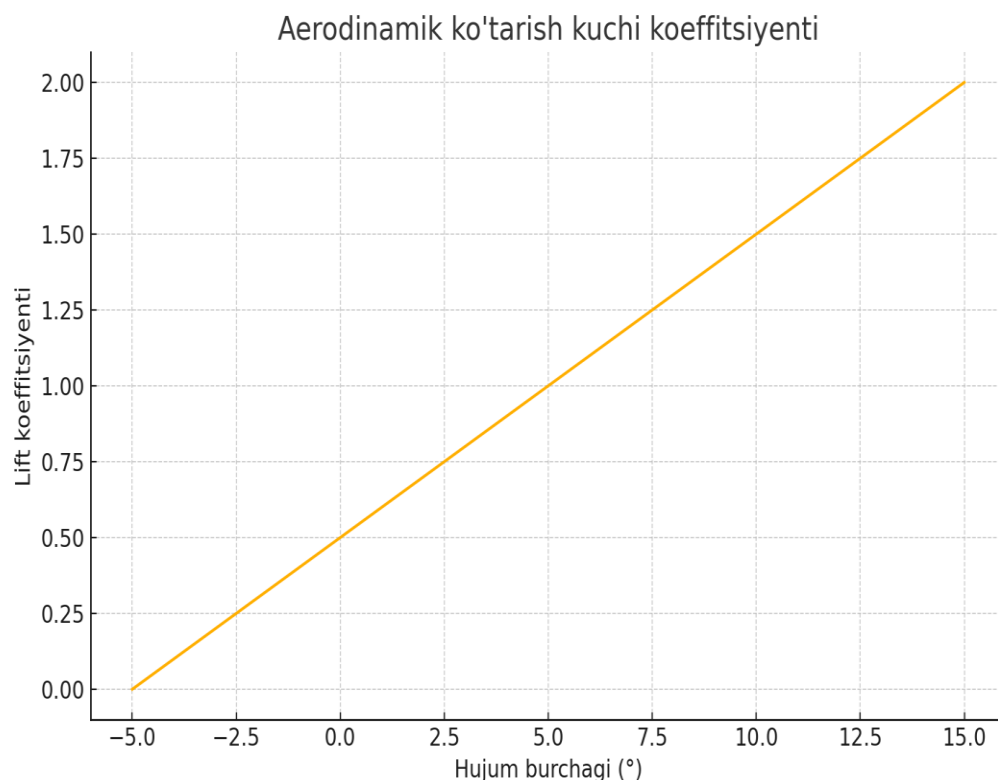
Ko‘tarish kuchi Bernulli tenglamasidan hisoblanadi:

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho u^2 A$$

C_L – ko‘tarish kuchi koeffitsiyenti (eksperimental yoki CFD orqali aniqlanadi)

Grafik:

Ko‘tarish kuchi koeffitsiyentining hujum burchagiga bog‘liqlik grafigi.



Grafiklar va diagrammalar tavsifi

- Quvurdagi laminar oqim tezlik profillari.
- Parallel plastinkalar orasidagi chiziqli tezlik profili.
- Quvurlarda bosimning kamayishi grafigi.
- Aerodinamik qanot ko‘tarish kuchi grafigi.
- CFD natijalari (tezlik, bosim konturlari).

Gidrodinamikadagi statsionar masalalar suyuqliklar harakatini barqaror sharoitda tushunish va tahlil qilish uchun asosiy tizimni ta'minlaydi. Uzlaksizlik tenglamasi, Bernulli tenglamasi va Navier-Stokes tenglamalari kabi tamoyillarni qo'llab, muhandislar va olimlar quvurlardan tortib aerodinamik tuzilmalargacha bo'lgan tizimlarni loyihalash va optimallashtirish imkoniyatiga ega. Qiyinchiliklar mavjud

bo'lsa-da, hisoblash usullaridagi yutuqlar statsionar gidrodinamika masalalarini yechish imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda.

Adabiyotlar:

1. Frank M. White, **Fluid Mechanics**, 8th Edition, McGraw-Hill Education, 2015.
2. Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard, **Introduction to Fluid Mechanics**, 9th Edition, Wiley, 2016.
4. Yunus A. Cengel, John M. Cimbala, **Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications**, 4th Edition, McGraw-Hill, 2017.
5. Díaz-Ojeda et al., *Hydrodynamics of a Rigid Stationary Flat Plate in Cross-Flow Near the Free Surface*, Journal of Marine Science and Engineering, 2022.
6. Gunzburger et al., *Analysis of Control Problems for Stationary Magnetohydrodynamics Equations*, SIAM Journal on Control and Optimization, 2018.
7. S. Pope, *Turbulent Flows*, Cambridge University Press, 2000.
8. Journal of Fluid Mechanics yoki Physics of Fluidskabi jurnallardagi ilmiy maqolalar.
9. CFD bo'yicha darsliklar: Sonli usullar va hisoblash texnikasi haqida