



INNOVATIVE WORLD
Ilmiy tadqiqotlar markazi

YANGI RENESSANS

RESPUBLIKA ILMIY JURNALI

2026



+998335668868



www.innoworld.net

Google Scholar



zenodo





YANGI RENESSANS

RESPUBLIKA ILMIY JURNALI

2026

3-JILD 1-SON



YANGI RENESSANS

RESPUBLIKA ILMIY JURNALI

TO'PLAMI

3 - JILD, 1 - SON

2026



www.innoworld.net

O'ZBEKISTON-2026



Nikuradze tajribasi asosida quvurlarda gidravlik qarshilik koefitsientini aniqlashning analitik va sonli yondashuvlari

Maxmudova Muqaddasxon Abdurashid qizi

Farg'ona Davlat Texnika Universiteti

Arx va Q fakulteti M7-25MKQ guruh magistranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada quvur ichida suyuqlik oqimi jarayonida yuzaga keladigan gidravlik qarshilik koefitsientini aniqlash masalasi o'rganilgan. Tadqiqot Nikuradze tomonidan o'tkazilgan klassik tajribalar asosida olib borildi. Gidravlik qarshilik koefitsienti analitik usullar — Puazeyl, Blazius va Alshul formulalari yordamida hisoblandi. Shuningdek, ushbu jarayon COMSOL Multiphysics dasturining CFD moduli orqali turbulent k-e modeli orqali sonli modellashirildi. Analitik va sonli hisoblash natijalari o'zaro solishtirilib, ularning aniqlik darajasi va qo'llanish chegaralari baholandi. Tadqiqot natijalari quvur tizimlarini loyihalashda energiya yo'qotishlarini kamaytirish va gidravlik hisoblarning ishonchligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Nikuradze tajribasi, bosim yo'qotilishi, gidravlik qarshilik koefitsienti, Puazeyl formulasi, Blazius formulasi, CFD, COMSOL Multiphysics, turbulent oqim.

Kirish. Quvur tizimlarida suyuqlik va gazlarning harakati bilan bog'liq gidravlik jarayonlar muhandislik amaliyotida muhim ahamiyatga ega. Oqim jarayonida yuzaga keladigan gidravlik qarshilik koefitsienti energiya sarfi, nasos va kompressorlarning quvvatini tanlash hamda butun tizimning samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Shu sababli gidravlik qarshilik koefitsienti aniqlash masalasi gidravlika fanining asosiy tadqiqot yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Bosim yo'qotilishi asosan quvur devori bilan oqim o'rtasidagi ishqalanish natijasida yuzaga keladi va u oqim rejimi, quvur geometriyasi hamda suyuqlik xossalari bog'liq bo'ladi. Ushbu jarayonlarni chuqur o'rganish maqsadida XX asr boshlarida bir qator fundamental tajribalar o'tkazilgan bo'lib, ular orasida Nikuradzening ishlari alohida ahamiyatga ega.

Nikuradze silliq va qo'pol quvurlarda turbulent oqimni tajriba yo'li bilan o'rganib, gidravlik qarshilik koefitsientining Reynolds soni va quvur sirtining nisbiy qo'poligiga bog'liqligini aniqlagan. Ushbu tadqiqotlar natijasida keyinchalik Moody diagrammasi ishlab chiqilgan va u hozirgi kungacha muhandislik hisoblarida keng qo'llanilmoqda.

Nazariy jihatdan quvurdagi gidravlik qarshilik koefitsienti aniqlash uchun bir qator analitik va empirik formulalar taklif etilgan. Laminar oqim rejimida Puazeyl formulasi yuqori aniqlik beradi, turbulent oqimda esa Blazius va Alshul formulalari amaliyotda keng qo'llaniladi. Biroq ushbu formulalar muayyan shartlar doirasida amal qiladi va murakkab oqim holatlarida ularning aniqligi pasayishi mumkin.

So'nggi yillarda hisoblash gidrodinamikasi (CFD) usullarining rivojlanishi quvur ichidagi oqimni sonli modellashtirish imkonini yaratdi. COMSOL Multiphysics kabi zamonaviy dasturlar yordamida oqimning tezlik va bosim maydonini to'liq tahlil qilish mumkin. Shu sababli mazkur maqolada Nikuradze tajribasi misolida bosim yo'qotilishi analitik va sonli usullar orqali hisoblanib, ularning natijalari o'zaro solishtirildi.

Maqolaning ilmiy yangiligi shundan iboratki, Nikuradze tajribasidagi gidravlik qarshilik koeffitsienti bir xil boshlang'ich shartlarda analitik formulalar va COMSOL CFD yordamida sonli usulda hisoblanib, natijalar taqqoslandi hamda qaysi yondashuv yuqori aniqlik berishi asoslab berildi.

Materiallar va metodlar

Tadqiqotda silliq dumaloq quvur ichidan o'tayotgan suyuqlik oqimi ko'rib chiqildi. Quvur geometriyasi Nikuradze tajribalarida qo'llanilgan sharoitlarga yaqin holda tanlandi.

Quvur geometriyasi va parametrlar:

Quvur diametri – [100mm]

Quvur uzunligi – [10m]

Ishchi muhit – [suv]

Kinematik qovushqoqlik – [0.396mm]

Tadqiqot ikki asosiy bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda bosim yo'qotilishi va gidravlik qarshilik koeffitsienti analitik formulalar asosida hisoblandi. Ikkinchi bosqichda esa ayni geometriya va boshlang'ich shartlar uchun COMSOL Multiphysics dasturida sonli model qurildi.

Sonli hisoblashlarda oqim turbulent deb qabul qilindi. Kirish chegarasida tezlik profili berildi, chiqish qismida esa bosim nolga teng deb olindi. Quvur devorlarida sirpanmaslik sharti qo'llanildi.

Matematik model

Quvur ichida suyuqlik oqimining gidravlik xususiyatlari, avvalo, oqim rejimiga bog'liq bo'ladi. Oqim rejimi Reynolds soni orqali aniqlanadi va u inersiya kuchlarining qovushqoqlik kuchlariga nisbatini ifodalaydi. Reynolds sonining qiymatiga qarab laminar va turbulent oqim rejimlari farqlanadi.

Laminar oqim rejimida ($Re < 2300$) suyuqlik qatlamli holda harakatlanadi va oqim zarralari o'zaro deyarli aralashmaydi. Bunday sharoitda energiya yo'qotilishi asosan suyuqlikning ichki ishqalanishi bilan bog'liq bo'lib, quvur devori yaqinida tezlik gradiyenti keskin o'zgaradi. Laminar oqim uchun quvurdagi bosim yo'qotilishi Puazeyl formulasi

$$\lambda = Re/64 \quad (1)$$

λ — gidravlik qarshilik koeffitsienti;
Re — Reynolds son

yordamida aniqlanadi. Ushbu formula nazariy asosga ega bo'lib, silliq quvurlarda to'liq rivojlangan laminar oqim sharoitida yuqori aniqlik bilan bosim yo'qotilishini hisoblash imkonini beradi.

Turbulent oqim rejimida ($Re > 4000$) oqim tartibsiz xususiyatga ega bo'lib, tezlik va bosim pulsatsiyalari yuzaga keladi. Natijada quvur devori bilan oqim o'rtasidagi impuls almashinuvi kuchayadi va bosim yo'qotilishi sezilarli darajada ortadi. Silliq quvurlarda o'rta Reynolds sonlari oralig'ida ($4 \times 10^3 < Re < 10^5$) gidravlik qarshilik koeffitsientini aniqlash uchun Blazius formulasi

$$\lambda = 0.3164 Re^{-0.25} \quad (2)$$

Ushbu formula silliq quvurlarda o'rta Reynolds sonlari oralig'ida turbulent oqim uchun qo'llaniladi, empirik formula o'zining soddaligi va amaliy aniqligi bilan ajralib turadi hamda ko'plab muhandislik hisoblarida foydalaniladi.

Reynolds soni juda katta bo'lgan hollarda va oqim to'liq rivojlangan turbulent holatga o'tganda gidravlik qarshilik koeffitsientini aniqlashda Alshul formulasi

$$\lambda = 0.11 (68/Re)^{0.25} \quad (3)$$

qo'llaniladi. Mazkur formula keng Reynolds sonlari diapazonida turbulent oqim uchun mos keladi va yuqori tezliklarda bosim yo'qotilishini baholashda samarali hisoblanadi. Alshul formulasi amaliy muhandislik masalalarida analitik baholash va sonli modellashtirish natijalarini solishtirish uchun qulay vosita bo'lib xizmat qiladi.

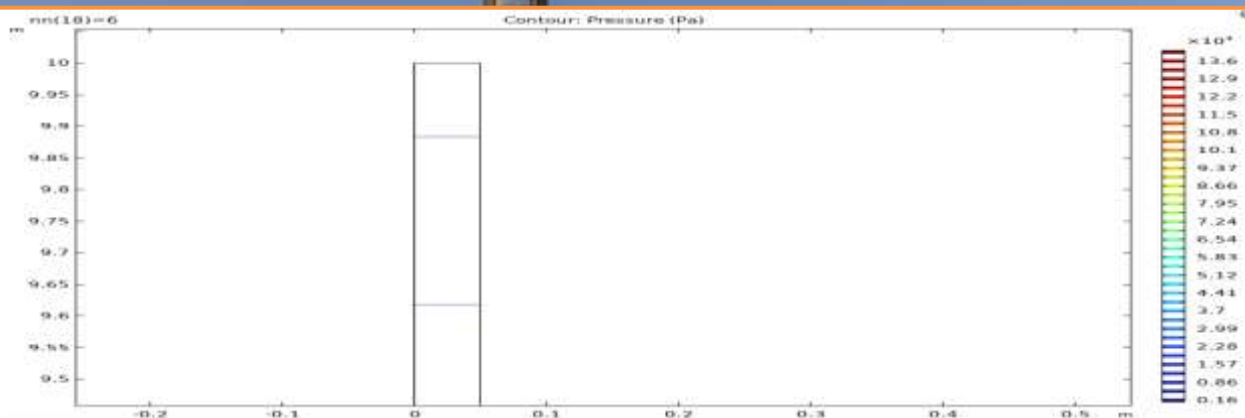
3 soxa uchun Alshulning quyidagi formulasidan foydalaniladi

$$\lambda = 0.11 (D_e/d)^{0.25} \quad (4)$$

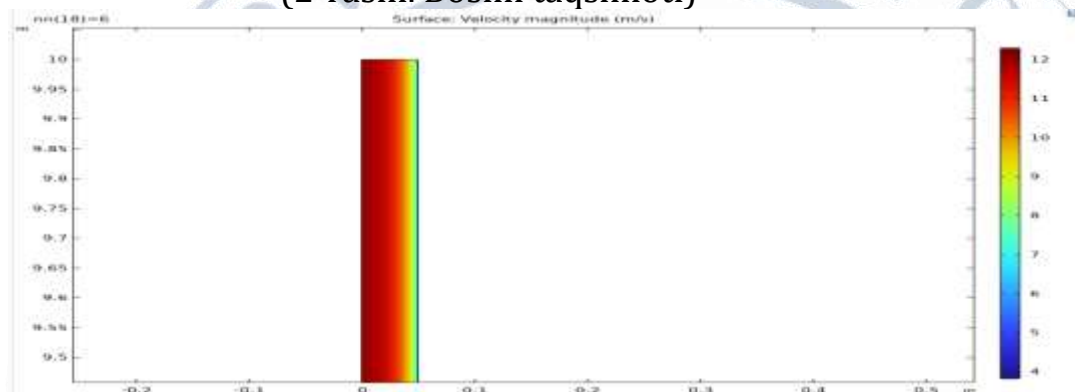
Shunday qilib, ushbu ishda laminar oqim uchun Puazeyl formulasi, turbulent oqim uchun esa Blazius va Alshul formulalari qo'llanilib, turli oqim rejimlarida gidravlik qarshilik koeffitsientining o'zgarishi analitik usulda baholandi.

Olingan natijalar va ularning tahlili

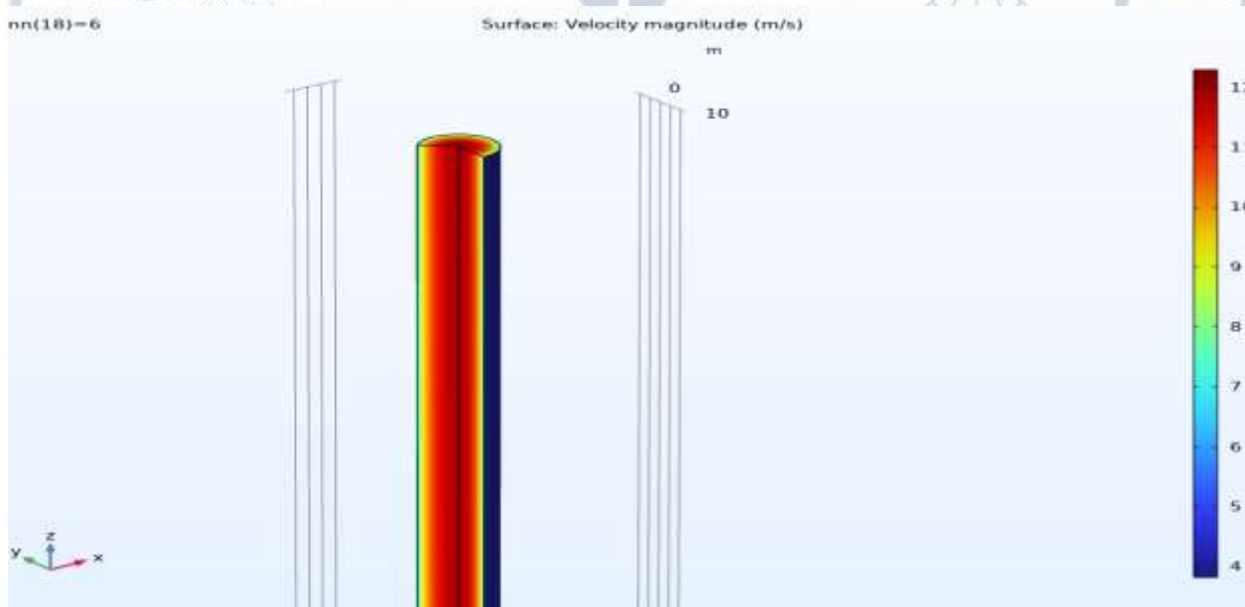
Analitik va sonli hisoblashlar natijasida bosim yo'qotilishi hamda gidravlik qarshilik koeffitsienti qiymatlari aniqlandi. Olingan natijalar jadval va grafiklar ko'rinishida taqdim etildi.



(2-rasm. Bosim taqsimoti)



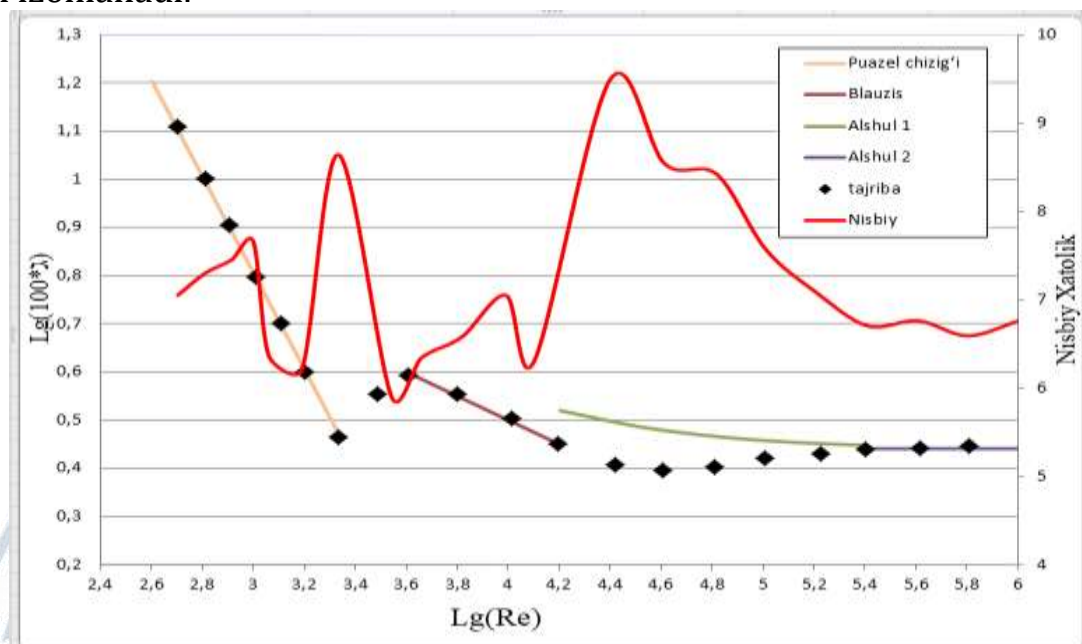
(3-rasm. Tezlik profili)



(4-rasm. Tezlik profil 3D ko'rinishi)

Analitik va sonli natijalar solishtirishi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, past Reynolds sonlarida analitik formulalar yetarli aniqlik beradi. Yuqori Reynolds sonlarida esa sonli CFD modeli orqali turbulent k-e modeli orqali oqimning real xatti-harakatini to'liqroq aks ettiradi. Sonli va analitik natijalar

o'rtasidagi farq turbulent pulsatsiyalar va devor yaqinidagi oqim strukturalari bilan izohlanadi.



(5-rasm). Nikuradze tajribasini analitik natijasi.

Laminar oqim uchun mo'ljallangan Puazel formulasi faqat past Reynolds sonlarida tajriba qiymatlariga yaqin natija beradi. Reynolds son oshgan sari laminar model o'z ahamiyatini yo'qotadi. Turbulent oqim uchun ishlatiladigan Blasius va Alshul formulalari esa o'rta va yuqori Reynolds sonlari oralig'ida tajriba natijalariga ancha yaqin keladi. Ayniqsa Alshul formulasi yuqori Reynolds sonlarda eng barqaror natijani beradi. Nisbiy xatolikning kamayib borishi ham analitik modellarning ma'lum ishlash sohasida yetarli darajada aniqligini ko'rsatadi.

Sonli model (COMSOL CFD turbulent k-e modeli orqali)

Sonli modellashtirish COMSOL Multiphysics dasturining **CFD (Computational Fluid Dynamics)** moduli yordamida amalga oshirildi. Hisoblashlarda quvur ichidagi oqim **siqilmaydigan, statsionar va turbulent** deb qabul qilindi. Oqim jarayonini tavsiflash uchun Reynolds o'rtachalangan Navye-Stoks tenglamalariga (RANS) asoslangan **k-ε turbulentlik modeli** tanlandi. Ushbu model muhandislik amaliyotida keng qo'llanilib, quvur oqimlarida bosim yo'qotilishini baholashda barqaror va ishonchli natijalar beradi.

Asosiy boshqaruvchi tenglamalar

Harakat tenglamasi (Momentum saqlanishi):

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F} \quad (5)$$

Massa saqlanishi (siqilmaydigan oqim):

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

(6)

$$\mathbf{K} = (\mu + \mu_T)(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) \quad (7)$$

Turbulent kinetik energiya (k) tenglamasi:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)k = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_k \mu T) \nabla k] + Pk - \rho \epsilon \quad (8)$$

Dissipatsiya (ϵ) tenglamasi:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\epsilon = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_\epsilon \mu T) \nabla \epsilon] + C_{\epsilon 1} k \epsilon Pk - C_{\epsilon 2} \rho k \epsilon^2$$

(9)

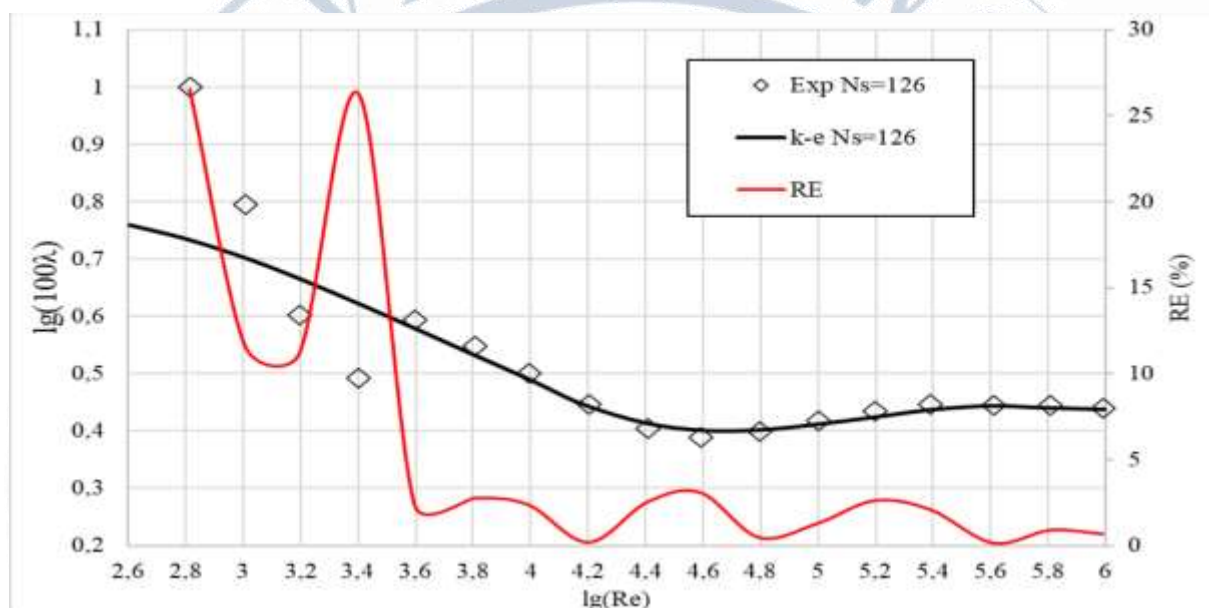
Turbulent yopishqoqlik:

$$\mu T = \rho C_\mu k^2$$

(10)

Turbulent kinetik energiya hosil bo'lishi:

$$Pk = \mu T [\nabla \mathbf{u} : (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] \quad (11)$$



(6- rasm.) Nikuradze tajribasini sonli model (COMSOL CFD turbulent k-e modeli orqali)

Reynolds soni oshishi bilan oqimdagi gidravlik qarshilik koeffitsienti kamayib boradi va ma'lum barqarorlashuv sohasidan so'ng deyarli o'zgarmay qoladi. COMSOL natijalari tajriba nuqtalariga yaqin joylashgani modelning fizik jarayonni yetarli aniqlikda aks ettirayotganini ko'rsatadi. Dastlabki boshlang'ich hududda nisbiy xatolik biroz yuqori bo'lsa-da, Re son oshishi bilan xatolik pasayib, 3–5% atrofida barqarorlashadi. Bu esa sonli modelning yuqori Reynolds sonlarida ishonchliligi yuqori ekanini tasdiqlaydi.

COMSOL CFD turbulent k- e mopdeli natijalari tajriba bilan juda yaxshi mos keladi, ayniqsa turbulent oqim **hududida** aniqligi yuqori.

Analitik usullar esa faqat o'zining **qo'llanish oralig'**ida yaxshi ishlaydi:

Puazel – laminar rejimda

Blazius – o'rta turbulent oqimda

Alshul – yuqori turbulent oqimda eng ishonchli

Xulosa. Ushbu maqolada Nikuradze tajribasi asosida quvurlarda gidravlik qarshilik koeffitsientini aniqlash masalasi analitik va sonli usullar yordamida tadqiq etildi. Puazeyl, Blazius va Alshul formulalari orqali olingan natijalar

COMSOL Multiphysics dasturida bajarilgan CFD hisoblari bilan solishtirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, murakkab turbulent oqimlarda sonli modellashtirish yuqori aniqlik beradi va muhandislik amaliyotida samarali qo'llanishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

- 1.Д.Андерсон, Дж.Таннехилл.Р.Плетчер “ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОМЕХАНИКА И ТЕПЛООБМЕН.
- 2.COMSOL Multiphysics® [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.com> (дата обращения: 19.09.2025).
- 3 Nikuradze, J. (1950). *Laws of Flow in Rough Pipes*. NACA Technical Memorandum 1292.
4. Blasius, H. (1913). *Das Aehnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten*. Forschungsheft.
- 5.Colebrook, C. F. (1939). Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between smooth and rough pipe laws. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 12(4), 1–10.
- 6.Moody, L. F. (1944). Friction Factors for Pipe Flow. *Transactions of the ASME, Mechanical Engineering*, 66(8), 671–684.
- 7.White, F. M. (2015). *Fluid Mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- 8.Schlichting, H., & Gersten, K. (2016). *Boundary-Layer Theory*. Springer.
- 9.Pope, S. B. (2000). *Turbulent Flows*. Cambridge University Press.
- 10.Launder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269–289.
- 11.Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605.
- 12.Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (7th ed.). Wiley.