



NUMERICAL SIMULATION OF HYDRAULIC ENERGY LOSSES IN PRESSURIZED PIPES USING ANSYS FLUENT

Choriyeu Alibek

“Veolia Energy Tashkent” LLC, Private Enterprise

Abstract

This article examines the numerical simulation of hydraulic energy losses caused by fluid flow in pressurized pipes using ANSYS Fluent. It analyzes the effects of pipe-wall friction, flow velocity, pipe geometry, fluid physical properties, and local flow resistances on pressure drop. The research methodology covers the stages of computational geometry creation, mesh generation, physical model selection, boundary condition specification, and post-processing of numerical results. Particular attention is also given to the theoretical estimation of hydraulic losses, mesh independence verification, and ensuring the reliability of simulation results. Based on theoretical relationships, the effects of pipe length and flow velocity on hydraulic losses are analyzed graphically. The proposed approach can be applied to assess the hydraulic performance of pipelines in water supply and district heating systems and to support engineering decisions aimed at improving energy efficiency.

Keywords: pressurized pipe, hydraulic energy loss, ANSYS Fluent, numerical simulation, computational fluid dynamics, pressure drop, hydraulic resistance, turbulent flow, district heating, energy efficiency.

BOSIMLI QUVURLARDA GIDRAVLİK ENERGIYA YO‘QOTILISHINI ANSYS FLUENT DASTURIDA SONLI MODELLASHTIRISH

Choriyeu Alibek

“Veolia Energy Tashkent” MChJ, XK

Annotatsiya

Ushbu maqolada bosimli quvurlarda suyuqlik harakati natijasida yuzaga keladigan gidravlik energiya yo‘qotishlarini ANSYS Fluent dasturida sonli modellashtirish masalalari o‘rganiladi. Quvur devori bilan ishqalanish, oqim tezligi, quvur geometriyasi, suyuqlikning fizik xususiyatlari va mahalliy qarshiliklarning bosim pasayishiga ta’siri tahlil qilinadi. Tadqiqot metodikasi hisoblash geometriyasini yaratish, hisoblash to‘rini shakllantirish, fizik modellarni tanlash, chegaraviy shartlarni belgilash va sonli natijalarni qayta ishlash bosqichlarini qamrab oladi. Shuningdek,



gidravlik yo‘qotishlarni nazariy baholash, hisoblash to‘rining mustaqilligini tekshirish va modellashtirish natijalarining ishonchliligini ta‘minlash masalalariga e‘tibor qaratiladi. Nazariy bog‘lanishlar asosida quvur uzunligi va oqim tezligining gidravlik yo‘qotishlarga ta‘siri grafik tarzda tahlil qilinadi. Taklif etilgan yondashuv suv va issiqlik ta‘minoti tizimlarida quvurlarning gidravlik rejimini baholash va energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan muhandislik qarorlarini asoslashda qo‘llanishi mumkin.

Kalit so‘zlar: bosimli quvur, gidravlik energiya yo‘qotilishi, ANSYS Fluent, sonli modellashtirish, hisoblash gidrodinamikasi, bosim pasayishi, gidravlik qarshilik, turbulent oqim, issiqlik ta‘minoti, energiya samaradorligi.

KIRISH

Bosimli quvurlar suv ta‘minoti, issiqlik ta‘minoti, sanoat va kommunal infratuzilma tizimlarining muhim tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Ushbu tizimlarning samarali ishlashi suyuqlikning belgilangan sarfda uzatilishi, zarur bosimning ta‘minlanishi va energiya resurslaridan oqilona foydalanishga bog‘liq.

Quvur ichida suyuqlik harakatlanganda mexanik energiyaning bir qismi quvur devori bilan ishqalanish, turbulent aralashish, oqim yo‘nalishining o‘zgarishi va mahalliy qarshiliklar tufayli yo‘qotiladi. Natijada quvur uzunligi bo‘ylab bosim pasayadi. Ushbu yo‘qotishlarning ortishi nasos uskunalari tushadigan yuklamani oshirishi va tizimning ekspluatatsion xarajatlariga ta‘sir ko‘rsatishi mumkin.

An‘anaviy gidravlik hisoblash usullari quvur tizimlaridagi bosim yo‘qotishlarini baholash imkonini beradi. Biroq murakkab geometriya, turbulent oqim va mahalliy qarshiliklar mavjud bo‘lganda oqimning ichki tuzilishini batafsil o‘rganish talab etiladi. Bunday sharoitda hisoblash gidrodinamikasi, ya‘ni CFD usullari samarali vosita hisoblanadi.

ANSYS Fluent dasturi suyuqlik oqimining tezlik va bosim maydonlarini sonli modellashtirish, turbulentlik xususiyatlarini o‘rganish hamda quvur tizimlaridagi gidravlik yo‘qotishlarni tahlil qilish imkonini beradi.

Tadqiqotning maqsadi — bosimli quvurlarda gidravlik energiya yo‘qotilishiga ta‘sir qiluvchi asosiy omillarni o‘rganish va ANSYS Fluent dasturida sonli modellashtirish metodikasini ishlab chiqish.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quvurdagi oqim xususiyatlarini tahlil qilish, hisoblash modelini shakllantirish, bosim taqsimotini baholash hamda sonli natijalarni nazariy gidravlik hisoblar bilan taqqoslashdan iborat.

1. Bosimli quvurlarda gidravlik energiya yo‘qotilishining nazariy asoslari



Bosimli quvurlarda gidravlik energiya yo'qotilishi suyuqlikning harakati davomida mexanik energiyaning bir qismi qayta tiklanmaydigan shakllarga, jumladan, issiqlikka aylanishi bilan bog'liq. Ushbu jarayon suyuqlikning qovushqoqligi, quvur devorining xususiyatlari va oqim rejimi bilan belgilanadi.

Gidravlik yo'qotishlar asosan ikki turga ajratiladi.

Uzunlik bo'yicha yo'qotishlar quvur devori bilan suyuqlik o'rtasidagi ishqalanish natijasida yuzaga keladi. Ularning miqdori quvur uzunligi, diametri, devor g'adir-budurligi, oqim tezligi va suyuqlikning fizik xususiyatlariga bog'liq.

Mahalliy yo'qotishlar quvur burilishlari, klapanlar, armaturalar, torayishlar, kengayishlar va boshqa konstruktiv elementlarda hosil bo'ladi. Bunday hududlarda oqim yo'nalishi yoki tezlik taqsimotining o'zgarishi qo'shimcha gidravlik qarshilikni yuzaga keltiradi.

Oqimning laminar yoki turbulent rejimda bo'lishi ham energiya yo'qotishlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Laminar rejimda suyuqlik qatlamlari nisbatan tartibli harakatlanadi. Turbulent rejimda esa tezlikning pulsatsiyalari va intensiv aralashish kuzatiladi. Shu sababli turbulent oqimlarda quvur devorining holati va gidravlik qarshiliklarni to'g'ri baholash muhim ahamiyatga ega.

2. Gidravlik energiya yo'qotilishiga ta'sir qiluvchi omillar

Bosimli quvurlardagi gidravlik yo'qotishlar bir nechta o'zaro bog'liq omillar bilan belgilanadi.

Birinchidan, **oqim tezligi** muhim omildir. Boshqa shartlar o'zgarmaganda, tezlik ortishi odatda bosim yo'qotishining oshishiga olib keladi.

Ikkinchidan, **quvur diametri va uzunligi** gidravlik qarshilikka bevosita ta'sir ko'rsatadi. Bir xil sarf sharoitida diametrning kamayishi oqim tezligini oshirishi mumkin. Quvur uzunligining ortishi esa ishqalanish bilan bog'liq umumiy yo'qotishlarni ko'paytiradi.

Uchinchidan, **quvur devorining g'adir-budurligi** ayniqsa turbulent oqimlarda muhim ahamiyatga ega. Korroziya, cho'kindi va quvur ichki yuzasining eskirishi gidravlik qarshilikni o'zgartirishi mumkin.

To'rtinchidan, **suyuqlikning harorati va fizik xususiyatlari** hisobga olinishi lozim. Harorat o'zgarishi zichlik va qovushqoqlikka ta'sir ko'rsatadi, bu esa oqim rejimi va gidravlik yo'qotishlarni o'zgartirishi mumkin.

Bundan tashqari, klapanlar, filtrlar, burilishlar va boshqa armaturalarning mavjudligi umumiy bosim yo'qotishlarini oshiradi. Shu sababli amaliy tizimlarda quvurning uzunligi bo'yicha yo'qotishlar va mahalliy qarshiliklar alohida baholanishi zarur.

3. ANSYS Fluent dasturida sonli modellash tirish metodikasi



Sonli modellashtirish jarayoni geometrik model yaratish, hisoblash to'rini shakllantirish, fizik xususiyatlarni belgilash, chegaraviy shartlarni kiritish, hisoblashni bajarish va natijalarni tahlil qilish bosqichlaridan iborat.

3.1. Geometrik modelni yaratish

Dastlab quvurning geometrik modeli ANSYS SpaceClaim yoki DesignModeler muhitida yaratiladi. Modelda quvurning ichki diametri, uzunligi, kirish va chiqish kesimlari hamda mavjud bo'lsa, mahalliy qarshilik elementlari ko'rsatiladi.

Boshlang'ich tadqiqot uchun to'g'ri, aylana kesimli quvurdan foydalanish maqsadga muvofiq. Bunday yondashuv ishqalanish bilan bog'liq yo'qotishlarni boshqa geometrik omillardan ajratib o'rganishga imkon beradi.

Kirishdagi oqim profili to'liq rivojlanmagan bo'lsa, kirish shartlari va hisoblash uzunligi shunga mos tanlanishi kerak. Aks holda, kirish hududidagi jarayonlar quvur uzunligi bo'yicha yo'qotishlarni baholashga ta'sir qilishi mumkin.

3.2. Hisoblash to'rini shakllantirish

Geometrik model tayyorlangandan so'ng suyuqlik egallagan hajm hisoblash elementlariga ajratiladi. Bu jarayon hisoblash to'rini yaratish deb ataladi.

Quvur devori yaqinida tezlik gradientlari katta bo'lishi mumkinligi sababli ushbu hududda to'r zichligiga alohida e'tibor beriladi. To'rning haddan tashqari siyrakligi oqimning ayrim xususiyatlarini yetarlicha aniqlamasligi mumkin. Juda zich to'r esa hisoblash vaqtini va kompyuter resurslariga talabni oshiradi.

Shu sababli bir nechta zichlikdagi to'rlar yordamida hisoblashlar bajarilib, bosim yo'qotilishi va o'rtacha tezlik kabi asosiy natijalar taqqoslanadi. To'r zichlashganda natijalar barqarorlashishi sonli yechimning to'rga bog'liqligi kamayganini ko'rsatadi.

3.3. Fizik model va chegaraviy shartlarni tanlash

ANSYS Fluent dasturida suyuqlikning zichligi, qovushqoqligi va zarur bo'lsa, haroratga bog'liq xususiyatlari belgilanadi. Material parametrlari real ish sharoitlariga mos bo'lishi lozim.

Oqim rejimiga qarab laminar yoki turbulentlik modeli tanlanadi. Turbulent oqimlar uchun k-epsilon va k-omega SST kabi modellar qo'llanishi mumkin. Tanlov quvur geometriyasi, oqim sharoiti va devor yaqinidagi hisoblash to'rining xususiyatlariga mos bo'lishi kerak.

Kirish chegarasida tezlik yoki hajmiy sarf, chiqish chegarasida esa statik bosim belgilanishi mumkin. Quvur devorida sirpanishsiz devor sharti qo'llanadi.

Chegaraviy shartlarning noto'g'ri tanlanishi natijalarning fizik jihatdan ishonchsiz bo'lishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli ularni real quvur tizimining ish rejimiga muvofiq belgilash zarur.



3.4. Sonli hisoblash va natijalarning yaqinlashishini tekshirish

ANSYS Fluent dasturida oqimning matematik modeli massa va impulsning saqlanish qonunlariga asoslanadi. Ushbu tenglamalar sonli usullar orqali yechilib, hisoblash sohasidagi bosim va tezlik maydonlari aniqlanadi.

Hisoblash jarayonida tenglamalar qoldiqlari, kirish va chiqishdagi massa sarflari muvozanati hamda bosim yo'qotilishining iteratsiyalar davomida o'zgarishi nazorat qilinadi.

Faqat qoldiq qiymatlarining kamayishi hisoblash to'liq ishonchli ekanini anglatmaydi. Massa balansi, to'r mustaqilligi va natijalarning fizik jihatdan mantiqiyliigi ham tekshirilishi kerak.

4. Sonli modellashtirish uchun parametrlar va baholash mezonlari

Sonli hisoblash natijalarining aniqligi boshlang'ich ma'lumotlarning to'g'ri tanlanishiga bog'liq. Quvur diametri, uzunligi, suyuqlik sarfi va harorati ma'lum bo'lganda hisoblash modeli real sharoitlarga yaqinlashtiriladi.

1-jadval. Sonli modellashtirishda foydalaniladigan asosiy parametrlar

Parametr	Belgilanishi yoki turi	Modellashtirishdagi vazifasi
Quvur uzunligi	(L)	Ishqalanish hududini belgilaydi
Ichki diametr	(D)	Oqim tezligi va gidravlik qarshilikka ta'sir qiladi
Hajmiy sarf	(Q)	Oqimning ish rejimini belgilaydi
Suyuqlik harorati	(T)	Zichlik va qovushqoqlikka ta'sir qiladi
Suyuqlik zichligi	(ρ)	Oqimning fizik xususiyatlarini ifodalaydi
Dinamik qovushqoqlik	(μ)	Ishqalanish va oqim rejimiga ta'sir qiladi
Devor g'adir-budurligi	(ν)	Gidravlik qarshilikni baholashda qo'llanadi
Turbulentlik modeli	Tanlangan model	Turbulent oqim xususiyatlarini tavsiflaydi
Hisoblash to'ri	Elementlar soni va sifati	Sonli yechim aniqligiga ta'sir qiladi

Jadvaldagi parametrlarning aniq qiymatlari muayyan quvur tizimining texnik ma'lumotlari asosida kiritilishi lozim.

2-jadval. Sonli modellashtirish natijalarini baholash mezonlari



Baholash mezonlari	Tahlil qilinadigan ko'rsatkich	Maqsad
Bosim taqsimoti	Kirish va chiqish kesimlaridagi bosim	Bosim pasayishini aniqlash
Tezlik maydoni	Kesimlar bo'yicha tezlik taqsimoti	Oqimning rivojlanishini baholash
Massa balansi	Kirish va chiqish sarflarining mosligi	Massa saqlanishini tekshirish
To'rt mustaqilligi	Turli to'rtlardagi natijalar farqi	To'rtning yetarliligini aniqlash
Nazariy taqqoslash	CFD va gidravlik hisob natijalari	Modelning ishonchliligini baholash
Hisoblash barqarorligi	Iteratsiyalar davomida natijalarning o'zgarishi	Sonli yechimning yaqinlashishini tekshirish

5. Grafik tahlil va nazariy bog'lanishlar

Grafiklar gidravlik energiya yo'qotilishiga ta'sir qiluvchi omillarni ko'rgazmali tahlil qilish imkonini beradi.

Birinchi grafikda quvur uzunligi ortishi bilan uzunlik bo'yicha gidravlik yo'qotishning qanday o'zgarishi ko'rsatilgan. Quvur diametri, oqim tezligi va ishqalanish koeffitsiyenti o'zgarmas bo'lsa, uzunlik ortishi bilan ishqalanish yo'qotishi mutanosib ravishda oshadi. Bu bog'lanish quvur tarmoqlarini loyihalashda uzunlikning ahamiyatini ko'rsatadi.

Ikkinchi grafik oqim tezligining ta'sirini ifodalaydi. Boshqa shartlar o'zgarmas bo'lganda, tezlikning ortishi gidravlik yo'qotishning tezroq o'sishiga olib keladi. Shu sababli quvur diametri va sarfini tanlashda tezlikning gidravlik hamda iqtisodiy oqibatlarini hisobga olinishi zarur.

Muhim izoh: ushbu grafiklar nazariy bog'lanishlarni ko'rsatish uchun normallashtirilgan. Ular muayyan quvur uchun olingan haqiqiy o'lchovlar yoki ANSYS Fluent hisoblash natijalari emas. Haqiqiy sonli grafiklarni olish uchun quvur parametrlari va hisoblash natijalari talab qilinadi.

6. Sonli natijalarni nazariy hisoblar bilan taqqoslash

ANSYS Fluent dasturida aniqlangan bosim yo'qotishlarini nazariy gidravlik hisoblar bilan taqqoslash modellashtirishning ishonchliligini baholash imkonini beradi.

Nazariy hisoblarda quvur uzunligi, diametri, suyuqlik xususiyatlari, oqim tezligi va devor g'adir-budurligi hisobga olinadi. Sonli modellashtirishda esa ushbu parametrlar



bilan bir qatorda hisoblash to'ri, turbulentlik modeli va chegaraviy shartlarning ta'siri ham mavjud bo'ladi.

Taqqoslashdan oldin nazariy va sonli hisoblarda bir xil boshlang'ich shartlar qo'llanganini tekshirish zarur. Agar mahalliy qarshiliklar nazariy hisobda mavjud bo'lsa, sonli modelda ham ular mos ravishda ifodalanishi kerak.

Agar natijalar orasida sezilarli farq kuzatilsa, buning sabablari alohida tahlil qilinadi. Farq hisoblash to'ring yetarli emasligi, turbulentlik modelining tanlovi, oqimning to'liq rivojlanmaganligi yoki suyuqlik xususiyatlarining noto'g'ri belgilanishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Imkoniyat mavjud bo'lganda sonli natijalarni laboratoriya tajribalari yoki real quvur tizimida o'lchangan bosim ma'lumotlari bilan taqqoslash maqsadga muvofiq.

7. Muhandislik amaliyotidagi ahamiyati

Bosimli quvurlarda gidravlik energiya yo'qotishlarini sonli modellashtirish suv va issiqlik ta'minoti tizimlarining samaradorligini oshirishda muhim vosita hisoblanadi. ANSYS Fluent yordamida turli diametrlar, sarflar, devor g'adir-budurligi va konstruktiv o'zgarishlarning oqimga ta'sirini baholash mumkin.

Issiqlik ta'minoti tizimlarida gidravlik rejimning to'g'ri tanlanishi issiqlik tashuvchining zarur miqdorda uzatilishini ta'minlaydi. Quvur tarmoqlaridagi ortiqcha qarshiliklar nasos uskunalariga qo'shimcha yuklama beradi va elektr energiyasi sarfini oshirishi mumkin.

Sonli modellashtirish oqimning taqsimlanishini o'rganish, muammoli hududlarni aniqlash va quvur tizimining ishlash sharoitlarini yaxshilash bo'yicha muhandislik tavsiyalarini ishlab chiqishga yordam beradi.

Bunda quvur diametrini o'zgartirish, mahalliy qarshiliklarni kamaytirish yoki ish rejimini optimallashtirish kabi yechimlar texnik xavfsizlik, iqtisodiy samaradorlik va ekspluatatsion talablar bilan birgalikda baholanishi lozim.

Xulosa

Bosimli quvurlarda gidravlik energiya yo'qotilishi suyuqlikning quvur devori bilan ishqalanishi, oqim tezligi, quvur geometriyasi, suyuqlikning fizik xususiyatlari va mahalliy qarshiliklar bilan belgilanadi. Ushbu yo'qotishlarni to'g'ri baholash suv va issiqlik ta'minoti tizimlarining samarali ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.

ANSYS Fluent dasturi quvur ichidagi bosim va tezlik maydonlarini sonli modellashtirish, oqim xususiyatlarini tahlil qilish va gidravlik yo'qotishlar yuzaga keladigan hududlarni aniqlash imkonini beradi. Buning uchun geometrik modelni to'g'ri yaratish, sifatli hisoblash to'ridan foydalanish, fizik modellarni asosli tanlash va



chegaraviy shartlarni real sharoitlarga mos belgilash zarur.

Maqolada keltirilgan jadvallar sonli modellashtirishda hisobga olinadigan parametrlar va natijalarni baholash mezonlarini tizimlashtiradi. Nazariy grafiklar esa quvur uzunligi va oqim tezligining gidravlik yo'qotishlarga ta'sirini ko'rgazmali ifodalaydi. Kelgusidagi tadqiqotlarda aniq quvur parametrlari asosida ANSYS Fluent hisoblashlarini bajarish, bosim taqsimoti va tezlik maydonlarini olish, hisoblash to'ring mustaqilligini tekshirish hamda natijalarni nazariy yoki tajribaviy ma'lumotlar bilan taqqoslash tavsiya etiladi. Bunday yondashuv gidravlik rejimni optimallashtirish va energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan muhandislik qarorlarini ilmiy jihatdan asoslash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. White, F. M. *Fluid Mechanics*. 7th ed. McGraw-Hill, 2011.
2. Çengel, Y. A., Cimbala, J. M. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2018.
3. Fox, R. W., McDonald, A. T., Pritchard, P. J., Mitchell, J. W. *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*. 9th ed. Wiley, 2015.
4. Versteeg, H. K., Malalasekera, W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. 2nd ed. Pearson Education, 2007.
5. Moukalled, F., Mangani, L., Darwish, M. *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics*. Springer, 2016.
6. ANSYS, Inc. *ANSYS Fluent Theory Guide*. Nashr yili va versiyasi foydalanilgan dasturga muvofiq ko'rsatilishi lozim.