ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 1

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

BOSIMLI SUV UZATISH TIZIMLARIDA PLASTMAS VA PO‘LAT QUVURLARNING GIDRAVLIK HAMDA ENERGETIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Samiyev Luqmon Nayimovich
Dotsent, “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti
Abdurahimova Durdona Fazliddin qizi
Tayanch doktorant, “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti
E-mail: abdurakhimovadurdona.gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik qarshiliklarning shakllanishi hamda quvur ichki yuzasi g‘adir-budurligining energetik samaradorlikka ta’siri nazariy-hisobiy yondashuv asosida baholandi. Hisoblashlar ichki diametri D=0.1m bo‘lgan bosimli quvur uchun Darcy–Weisbach tenglamasi va Colebrook–White munosabati asosida bajarildi. Plastmas quvur uchun absolut g‘adir-budurlik Δpl=0.025 mm, po‘lat quvur uchun esa Δst=0.5 mm deb qabul qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, Reynolds soni ortishi bilan quvur ichki yuzasining g‘adir-budurligi ishqalanish koeffitsienti va solishtirma gidravlik qarshilikka sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Yuqori Reynolds sonlari sharoitida po‘lat quvurdagi solishtirma gidravlik qarshilik plastmas quvurga nisbatan taxminan 1.9–2.0 marta yuqori bo‘ldi. To‘liq rivojlangan turbulent oqim, ya’ni kvadrat qarshilik sohasida ushbu farq 2.1 martagacha yetishi aniqlandi. Olingan natijalar plastmas quvurlarning past g‘adir-budurligi bosim yo‘qotishlarini kamaytirishi, nasos quvvatiga bo‘lgan talabni pasaytirishi va bosimli suv uzatish tizimlarining energetik samaradorligini oshirishini ko‘rsatadi. Shu sababli plastmas quvurlar yuqori sarfli va uzoq masofali gidrotizimlarda energiya tejamkor muhandislik yechimi sifatida tavsiya etilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Gidravlik qarshilik, plastmas quvur, po‘lat quvur, Darcy–Weisbach tenglamasi, Colebrook–White tenglamasi, Reynolds soni, ishqalanish koeffitsienti, g‘adir-budurlik, solishtirma qarshilik, energetik samaradorlik.

Аннотация. В данной статье на основе теоретико-расчётного подхода оценено формирование гидравлических сопротивлений в пластмассовых и стальных трубах, а также проанализировано влияние шероховатости внутренней поверхности труб на энергетическую эффективность. Расчёты выполнены для напорной трубы внутренним диаметром D=0.1м с использованием уравнения Darcy–Weisbach и соотношения Colebrook–White. Абсолютная шероховатость для пластмассовой трубы принята равной Δpl=0.025 мм, а для стальной трубы — Δst=0.5. Результаты показали, что с увеличением числа Reynolds влияние шероховатости внутренней

ISSN 3030-3907

поверхности на коэффициент гидравлического трения и удельное гидравлическое сопротивление становится более существенным. При высоких значениях числа Reynolds удельное гидравлическое сопротивление в стальной трубе оказалось примерно в 1.9–2.0 раза выше, чем в пластмассовой трубе. В области полностью развитого турбулентного потока, то есть в квадратичной зоне сопротивления, данное различие достигает примерно 2.1 раза. Полученные результаты показывают, что меньшая шероховатость пластмассовых труб способствует снижению потерь напора, уменьшению требуемой мощности насосов и повышению энергетической эффективности напорных водопроводных систем. Поэтому пластмассовые трубы могут рассматриваться как энергоэффективное инженерное решение для высокорасходных и протяжённых гидравлических систем.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, пластмассовая труба, стальная труба, уравнение Darcy–Weisbach, уравнение Colebrook–White, число Reynolds, коэффициент гидравлического трения, шероховатость, удельное гидравлическое сопротивление, энергетическая эффективность.

Abstract. This paper evaluates the formation of hydraulic resistance in plastic and steel pipes and analyzes the influence of internal surface roughness on energy efficiency using a theoretical and computational approach. The calculations were performed for a pressure pipe with an internal diameter of D=0.1 m based on the Darcy–Weisbach equation and the Colebrook–White relationship. The absolute roughness was assumed to be Δpl=0.025 mm for the plastic pipe and Δst=0.5 mm for the steel pipe. The results show that as the Reynolds number increases, the effect of internal surface roughness on the friction coefficient and specific hydraulic resistance becomes more significant. Under high Reynolds number conditions, the specific hydraulic resistance in the steel pipe was approximately 1.9–2.0 times higher than that in the plastic pipe. In the fully rough turbulent region, this difference reached about 2.1 times. The findings indicate that the lower roughness of plastic pipes reduces head losses, decreases the required pump power, and improves the energy efficiency of pressure water transmission systems. Therefore, plastic pipes can be considered an energy-efficient engineering solution for high-flow and long-distance hydraulic systems.

Keywords: Hydraulic resistance, plastic pipe, steel pipe, Darcy–Weisbach equation, Colebrook–White equation, Reynolds number, friction coefficient, roughness, specific resistance, energy efficiency.

KIRISH.

Suv ta’minoti, sug‘orish, sanoat gidrotizimlari, kommunal xo‘jalik va energetika infratuzilmalarida suyuqliklarni quvurlar orqali uzatish eng muhim

ISSN 3030-3907

muhandislik jarayonlaridan biri hisoblanadi. Bunday tizimlarda suvni belgilangan masofaga, talab etilgan sarf va bosimda yetkazib berish uchun nasos agregatlari, bosimli quvurlar, armaturalar va mahalliy qarshilik elementlaridan iborat gidravlik tarmoq shakllanadi. Quvur bo‘ylab harakatlanayotgan oqim energiyasining ma’lum qismi quvur devori bilan suyuqlik o‘rtasidagi ishqalanish kuchlarini yengishga sarflanadi. Natijada bosim yo‘qotishlari yuzaga keladi, nasos quvvatiga bo‘lgan talab ortadi va tizimning umumiy energetik samaradorligi pasayadi [1–3].

Quvurlardagi gidravlik qarshiliklarni aniqlash quvur diametrini tanlash, nasos agregatlari quvvatini asoslash, suv taqsimoti tizimlarini loyihalash va mavjud tarmoqlarni modernizatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega. Amaliy hisoblarda quvur bo‘ylab ishqalanish natijasida yuzaga keladigan napor yo‘qotishlari ko‘pincha Darcy–Weisbach tenglamasi yordamida aniqlanadi. Ushbu tenglama quvur uzunligi, diametri, oqim tezligi va gidravlik ishqalanish koeffitsienti o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi [3, 6]. Gidravlik ishqalanish koeffitsientini to‘g‘ri aniqlash esa bosimli quvurlardagi yo‘qotishlarni baholashning asosiy shartlaridan biridir. Laminar oqim rejimida ishqalanish koeffitsienti asosan Reynolds soniga bog‘liq bo‘lib, quvur devorining g‘adir-budurligi sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Biroq suv ta’minoti, sug‘orish va sanoat quvur tarmoqlarining aksariyatida oqim turbulent rejimda kechadi. Turbulent oqim sharoitida esa ishqalanish koeffitsienti nafaqat Reynolds soniga, balki quvur ichki yuzasining nisbiy g‘adir-budurligiga ham bog‘liq bo‘ladi [4, 5]. Bunday sharoitda Colebrook–White tenglamasi gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlashda keng qo‘llaniladi. Ushbu tenglama Reynolds soni va quvur devorining nisbiy g‘adir-budurligini birgalikda hisobga olib, silliq, o‘tish va to‘liq g‘adir-budur turbulent oqim sohalarini umumlashtirib ifodalaydi [7]. Keyingi tadqiqotlarda Swamee–Jain kabi eksplisit yondashuvlar ham taklif etilgan bo‘lib, ular muhandislik hisoblarini soddalashtirishga xizmat qiladi [8, 9].

Quvur materiali gidravlik qarshiliklar shakllanishida muhim omillardan biridir. Po‘lat quvurlar yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, ekspluatatsiya davomida korroziya, cho‘kindi yig‘ilishi va ichki sirtning yemirilishi natijasida ularning g‘adir-budurligi ortadi. Bu esa ishqalanish koeffitsientining oshishiga, bosim yo‘qotishlarining ko‘payishiga va nasos energiyasi sarfining ortishiga olib keladi [5, 10]. So‘nggi yillarda plastmas quvurlar, xususan HDPE va PVC quvurlar, korroziyaga chidamliligi, ichki yuzasining silliqligi, past absolut g‘adir-budurligi va ekspluatatsion barqarorligi sababli suv ta’minoti, sug‘orish va sanoat gidrotizimlarida keng qo‘llanmoqda [11, 12].

ISSN 3030-3907

Gidravlik nuqtai nazardan plastmas quvurlarning asosiy afzalligi ularning ichki yuzasi silliq bo‘lishi bilan izohlanadi. Ichki sirt g‘adir-budurligining pastligi devor ishqalanishini kamaytiradi, natijada bir xil diametr, suv sarfi va quvur uzunligida plastmas quvurlarda bosim yo‘qotishlari po‘lat quvurlarga nisbatan kamroq bo‘ladi. Ilmiy va amaliy tadqiqotlarda plastmas va po‘lat quvurlar o‘rtasidagi bosim yo‘qotishlari sezilarli farq qilishi ko‘rsatilgan. Jumladan, Durapipe va Wilo tadqiqotida bir xil sharoitlarda plastmas quvur tizimida bosh yo‘qotishi 8.23 m, po‘lat quvur tizimida esa 15.71 m ni tashkil etgani qayd etilgan [13]. Bu natija quvur materialini tanlash nasos quvvati, elektr energiyasi sarfi va ekspluatatsion xarajatlarga bevosita ta’sir qilishini ko‘rsatadi.

O‘zbekiston sharoitida suv resurslaridan oqilona foydalanish, sug‘orish tizimlarini modernizatsiya qilish va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biridir. Nasos stansiyalari va bosimli quvur tarmoqlarida elektr energiyasining katta qismi gidravlik yo‘qotishlarni yengishga sarflanadi. Shu sababli quvur materiali, diametri, ichki sirt g‘adir-budurligi va oqim rejimini hisobga olgan holda gidravlik qarshiliklarni aniqlash muhim ahamiyatga ega [13, 16, 17]. Mavjud tadqiqotlarda quvurlardagi gidravlik qarshiliklarni hisoblashning nazariy asoslari yetarlicha shakllangan bo‘lsa-da, plastmas va po‘lat quvurlarni bir xil hisobiy sharoitlarda taqqoslash orqali ularning gidravlik va energetik samaradorligini miqdoriy baholash masalasi amaliy jihatdan dolzarbligicha qolmoqda. Ayniqsa, yuqori Reynolds sonlari va kvadrat qarshilik sohasida quvur ichki yuzasining nisbiy g‘adir-budurligi ishqalanish koeffitsientiga kuchli ta’sir ko‘rsatadi [7, 9, 10].

Ushbu tadqiqotning maqsadi — plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik ishqalanish koeffitsienti hamda solishtirma qarshilik qiymatlarini Darcy–Weisbach va Colebrook–White tenglamalari asosida aniqlash, quvur g‘adir-budurligining bosim yo‘qotishlariga ta’sirini baholash hamda plastmas quvurlarning po‘lat quvurlarga nisbatan energetik samaradorligini ilmiy-hisobiy jihatdan asoslashdan iborat.

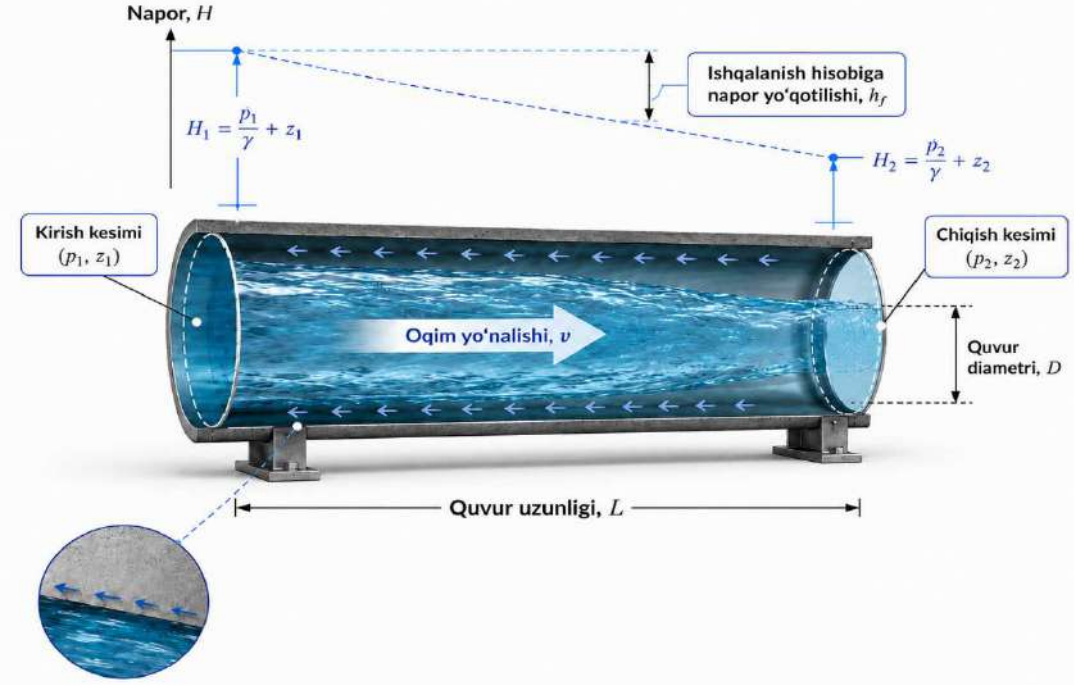
MATERIAL VA METODLAR. Ushbu tadqiqotda plastmas va po‘lat quvurlarda yuzaga keladigan gidravlik qarshiliklarni aniqlash hamda ularning energetik samaradorlikka ta’sirini baholash uchun nazariy-hisobiy yondashuvdan foydalanildi. Hisoblashlar bosimli quvurda suv oqimining harakatiga asoslangan bo‘lib, asosiy gidravlik parametrlar sifatida Reynolds soni, gidravlik ishqalanish koeffitsienti, quvur devorining absolut va nisbiy g‘adir-budurligi, oqim tezligi, solishtirma bosim yo‘qotishi hamda nasos quvvatiga bo‘lgan talab qabul qilindi.

Tadqiqotda plastmas va po‘lat quvurlar bir xil geometrik va gidravlik sharoitlarda solishtirildi. Ya’ni quvur diametri, suyuqlik turi, kinematik yopishqoqlik va oqim rejimlari bir xil deb qabul qilindi. Bunday yondashuv quvur

ISSN 3030-3907

materialining, ayniqsa ichki sirt g‘adir-budurligining gidravlik qarshilikka bevosita ta’sirini alohida baholash imkonini beradi.

Bosimli quvurda oqim harakati davomida energiyaning ma’lum qismi quvur devori bilan suyuqlik orasidagi ishqalanish kuchlarini yengishga sarflanadi. Ushbu yo‘qotish quvur uzunligi, diametri, oqim tezligi va ishqalanish koeffitsientiga bog‘liq bo‘ladi. Tadqiqotda quvur bo‘ylab yuzaga keladigan napor yo‘qotishlarini baholashda 1-rasmda keltirilgan hisobiy sxema asos qilib olindi.



1-rasm. Bosimli quvurda ishqalanish natijasida yuzaga keladigan napor yo‘qotilishi sxemasi

Tadqiqot uchun asosiy model sifatida ichki diametri D=0.1 m bo‘lgan bosimli quvur qabul qilindi. Ishchi suyuqlik sifatida suv olinib, uning kinematik yopishqoqligi ν=0.01 cm²/s deb qabul qilindi. Plastmas quvur uchun absolut g‘adir-budurlik qiymati 0.0025 cm, po‘lat quvur uchun esa 0.05 cm sifatida qabul qilindi. Ushbu qiymatlar quvur materiallari ichki sirtining gidravlik holatini ifodalash uchun ishlatildi. Plastmas va po‘lat quvurlarning gidravlik qarshiliklari o‘rtasidagi asosiy farq ularning ichki yuzasi g‘adir-budurligi bilan bog‘liq. Plastmas quvurlar ichki yuzasining silliq bo‘lishi sababli oqim devor yaqinida kamroq energiya yo‘qotadi. Po‘lat quvurlarda esa korroziya, cho‘kindi yig‘ilishi va ichki sirtning g‘adir-budurlashishi natijasida ishqalanish kuchlari ortadi. Ushbu farq 2-rasmda sxematik tarzda ko‘rsatilgan.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Plastmas va po‘lat quvurlar ichki yuzasining sxematik ko‘rinishi

Quvur ichki yuzasining gidravlik holatini baholashda absolut g‘adir-budurlik bilan bir qatorda nisbiy g‘adir-budurlik ham muhim ahamiyatga ega. Nisbiy g‘adir-budurlik quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$\frac{\Delta}{D} \qquad (1)$$

bu yerda Δ-quvur devorining absolut g‘adir-budurligi, m; D- quvur diametri, m.

Plastmas quvur uchun qabul qilingan qiymatlar asosida nisbiy g‘adir-budurlik:

$$\frac{\Delta_{pl}}{D} = \frac{0.000025}{0.1} = 0.00025$$

po‘lat quvur uchun esa:

$$\frac{\Delta_{st}}{D} = \frac{0.0005}{0.1} = 0.005$$

ga teng bo‘ladi. Ushbu qiymatlar po‘lat quvurda nisbiy g‘adir-budurlik plastmas quvurga nisbatan ancha yuqori ekanligini ko‘rsatadi. Aynan shu omil turbulent oqim sharoitida ishqalanish koeffitsienti va solishtirma bosim yo‘qotishlarining ortishiga olib keladi.

Oqim rejimini aniqlash uchun Reynolds sonidan foydalanildi. Reynolds soni inersiya kuchlari bilan yopishqoqlik kuchlari o‘rtasidagi nisbatni ifodalaydi va quvurdagi oqimning laminar, o‘tish yoki turbulent rejimda kechishini aniqlash imkonini beradi. Reynolds soni quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \qquad (2)$$

ISSN 3030-3907

bu yerda Re-Reynolds soni; v-oqimning o‘rtacha tezligi, m/s; D-quvur diametri, m; ν-suyuqlikning kinematik yopishqoqligi, m²/s.

Hisoblash jarayonida Reynolds sonining turli qiymatlari berilib, ularga mos keluvchi oqim tezligi quyidagi ifoda orqali topildi:

$$v = \frac{Re \cdot \nu}{D} \qquad (3)$$

Bu yondashuv turli oqim rejimlarida plastmas va po‘lat quvurlarni bir xil sharoitda solishtirish imkonini beradi. Reynolds sonining kichik qiymatlarida oqim laminar xarakterga ega bo‘ladi, yuqori qiymatlarida esa turbulent oqim shakllanadi. Amaliy suv ta’minoti, nasosli sug‘orish va sanoat gidrotizimlarida oqim ko‘pincha turbulent rejimda kechgani sababli tadqiqotning asosiy e’tibori turbulent oqim va yuqori Reynolds sonlari diapazonidagi gidravlik qarshiliklarni baholashga qaratildi.

Laminar oqim rejimida, ya’ni Re≤2500Re bo‘lgan holatda gidravlik ishqalanish koeffitsienti Poiseuille qonuni asosida quyidagicha aniqlandi:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \qquad (5)$$

bu yerda λ- Darcy gidravlik ishqalanish koeffitsienti. Ushbu rejimda ishqalanish koeffitsienti faqat Reynolds soniga bog‘liq bo‘ladi va quvur devorining g‘adir-budurligi deyarli hisobga olinmaydi. Shu sababli laminar oqim sharoitida plastmas va po‘lat quvurlardagi gidravlik qarshiliklar o‘rtasida sezilarli farq kuzatilmaydi.

Turbulent oqim rejimida esa gidravlik ishqalanish koeffitsienti Reynolds soni bilan bir qatorda quvur devorining nisbiy g‘adir-budurligiga ham bog‘liq bo‘ladi. Ushbu tadqiqotda turbulent oqim uchun ishqalanish koeffitsienti Colebrook–White tenglamasi asosida aniqlandi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log_{10}\left(\frac{\Delta}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \qquad (6)$$

bu yerda λ— Darcy ishqalanish koeffitsienti; Δ— quvur ichki yuzasining absolut g‘adir-budurligi, m; D — quvur diametri, m; Re — Reynolds soni.

Colebrook–White tenglamasi implitsi ko‘rinishda bo‘lganligi sababli λ qiymati iteratsion usulda aniqlandi. Dastlabki yaqinlashuv qiymati sifatida turbulent oqim uchun Blasius formulasi bo‘yicha hisoblangan ishqalanish koeffitsienti qabul qilindi:

$$\lambda_0 = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \qquad (7)$$

Keyingi bosqichlarda ushbu boshlang‘ich qiymat Colebrook–White tenglamasiga qo‘yilib, λ qiymati ketma-ket aniqlashtirildi. Iteratsion jarayon ikki ketma-ket qiymat orasidagi farq belgilangan aniqlik darajasigacha kamayguncha

ISSN 3030-3907

davom ettirildi. Bu usul plastmas va po‘lat quvurlarda Reynolds sonining turli qiymatlari uchun gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlash imkonini berdi. Quvur bo‘ylab ishqalanish natijasida yuzaga keladigan umumiy napor yo‘qotishini aniqlashda Darcy–Weisbach tenglamasi asos qilib olindi:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (8)$$

Tadqiqotda quvurning birlik uzunligiga to‘g‘ri keluvchi napor yo‘qotishini baholash uchun solishtirma gidravlik qarshilik ko‘rsatkichi J dan foydalanildi. Solishtirma qarshilik quyidagi formula orqali aniqlandi:

$$J = \lambda \frac{v^2}{2gD} \qquad (9)$$

bu yerda J — quvurning birlik uzunligiga to‘g‘ri keluvchi napor yo‘qotishi, m/m; λ — gidravlik ishqalanish koeffitsienti; v — oqim tezligi, m/s; g — erkin tushish tezlanishi, m/s²; D — quvur diametri, m.

Mazkur formula plastmas va po‘lat quvurlarni bir xil oqim sharoitida taqqoslash uchun qulay hisoblanadi. Chunki D, v va g qiymatlari bir xil bo‘lgan sharoitda J qiymatidagi farq asosan λ koeffitsienti orqali, ya’ni quvur devorining g‘adir-budurligi bilan belgilanadi. Shu sababli solishtirma qarshilik plastmas va po‘lat quvurlar gidravlik samaradorligini baholashda asosiy ko‘rsatkich sifatida qabul qilindi.

Yuqori Reynolds sonlari sharoitida, ya’ni to‘liq rivojlangan turbulent yoki kvadrat qarshilik sohasida ishqalanish koeffitsientining Reynolds soniga bog‘liqligi kamayadi va u asosan quvur devorining nisbiy g‘adir-budurligiga bog‘liq bo‘lib qoladi. Bunday holatda Colebrook–White tenglamasi quyidagi soddalashtirilgan ko‘rinishga keladi:

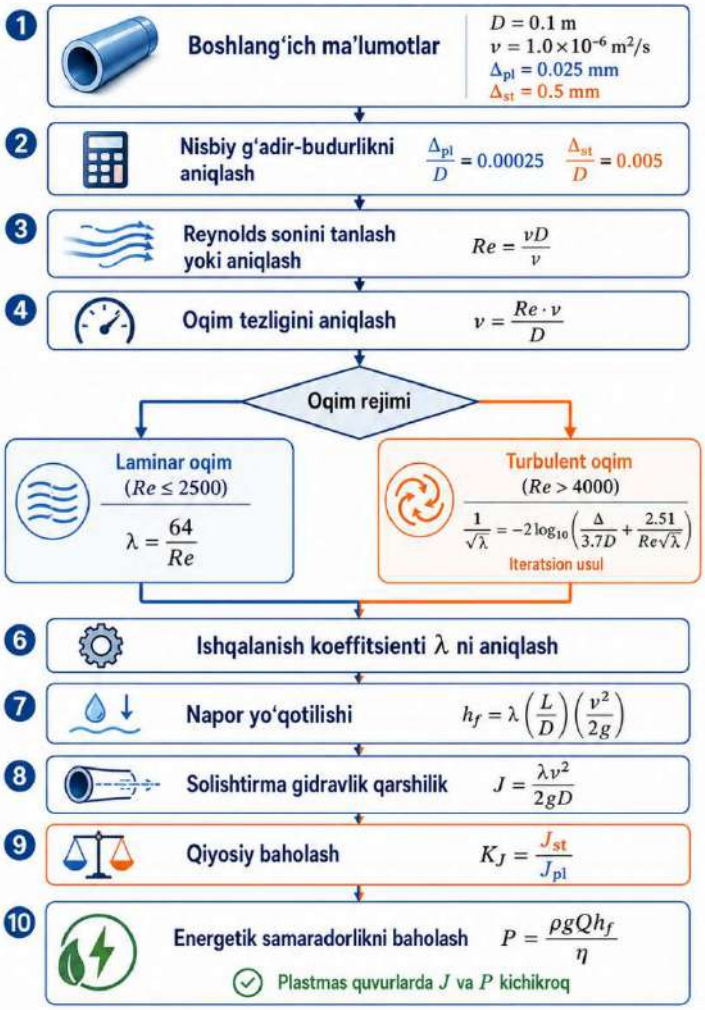
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10}\left(\frac{\Delta}{3.7D}\right) \qquad (10)$$

Bu ifoda kvadrat qarshilik sohasida quvur materialining gidravlik qarshilikka ta’sirini aniqroq ko‘rsatadi. Chunki mazkur sharoitda plastmas va po‘lat quvurlar orasidagi farq asosan ularning ichki yuzasi g‘adir-budurligi bilan izohlanadi. Po‘lat quvurlarda nisbiy g‘adir-budurlik yuqori bo‘lgani sababli λ va J qiymatlari ortadi. Plastmas quvurlarda esa ichki yuzaning silliqligi tufayli ushbu ko‘rsatkichlar nisbatan kichik bo‘ladi.

Hisoblash jarayoni ketma-ket bosqichlar asosida amalga oshirildi. Dastlab quvur diametri, suvning kinematik yopishqoqligi hamda plastmas va po‘lat quvurlar uchun absolut g‘adir-budurlik qiymatlari qabul qilindi. Keyin Reynolds sonining tanlangan qiymatlari bo‘yicha oqim tezligi hisoblandi. Shundan so‘ng har bir Reynolds soni uchun plastmas va po‘lat quvurlarda ishqalanish

ISSN 3030-3907

koeffitsienti Colebrook–White tenglamasi yordamida aniqlandi. Keyingi bosqichda Darcy–Weisbach tenglamasi asosida solishtirma gidravlik qarshilik qiymatlari hisoblandi. Yakuniy bosqichda esa plastmas va po‘lat quvurlar uchun olingan J qiymatlari taqqoslanib, ularning nisbati asosida gidravlik va energetik samaradorlik baholandi. Mazkur hisoblash ketma-ketligi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik qarshiliklarni hisoblash algoritmi

Plastmas va po‘lat quvurlarni qiyosiy baholash uchun solishtirma qarshiliklar nisbati quyidagi ko‘rinishda aniqlandi:

$$K_J = \frac{J_{st}}{J_{pl}} \qquad (11)$$

bu yerda K_J — po‘lat quvurdagi solishtirma qarshilikning plastmas quvurdagi solishtirma qarshilikka nisbati; J_{st}-po‘lat quvurdagi solishtirma qarshilik; J_{pl}- plastmas quvurdagi solishtirma qarshilik. $K_J>1$ bo‘lsa, po‘lat quvurda bosim yo‘qotishlari plastmas quvurga nisbatan yuqori ekanligini bildiradi. Ushbu nisbatning ortishi plastmas quvurlarning gidravlik jihatdan samaraliroq ekanligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, yuqori Reynolds sonlari va kvadrat

ISSN 3030-3907

qarshilik sohasida K_J qiymatining kattalashishi plastmas quvurlarning energetik afzalligini asoslash uchun muhim mezon hisoblanadi.

Nasos quvvatiga bo‘lgan talabni baholashda quvur bo‘ylab yuzaga keladigan napor yo‘qotishlari asosiy omil sifatida qaraldi. Nasos quvvati quyidagi umumiy ifoda orqali aniqlandi:

$$P = \frac{\rho g Q h_f}{\eta} \qquad (12)$$

bu yerda P— nasos quvvati, W; ρ— suyuqlik zichligi, kg/m³; g — erkin tushish tezlanishi, m/s²; Q — suv sarfi, m³/s; h_f — quvur bo‘ylab napor yo‘qotishi, m; η — nasosning foydali ish koeffitsienti.

Agar plastmas va po‘lat quvurlar bir xil suv sarfi, bir xil quvur uzunligi, bir xil diametr va bir xil nasos foydali ish koeffitsienti sharoitida solishtirilsa, nasos quvvatidagi farq asosan napor yo‘qotishlari bilan belgilanadi. Napor yo‘qotishi esa J qiymatiga bevosita bog‘liq bo‘lganligi sababli, Jst/Jpl nisbati nasos quvvatiga bo‘lgan talabdagi farqni baholash uchun ham qo‘llanilishi mumkin. Shu orqali plastmas quvurlardan foydalanish natijasida erishiladigan energetik samaradorlik nazariy-hisobiy jihatdan asoslandi.

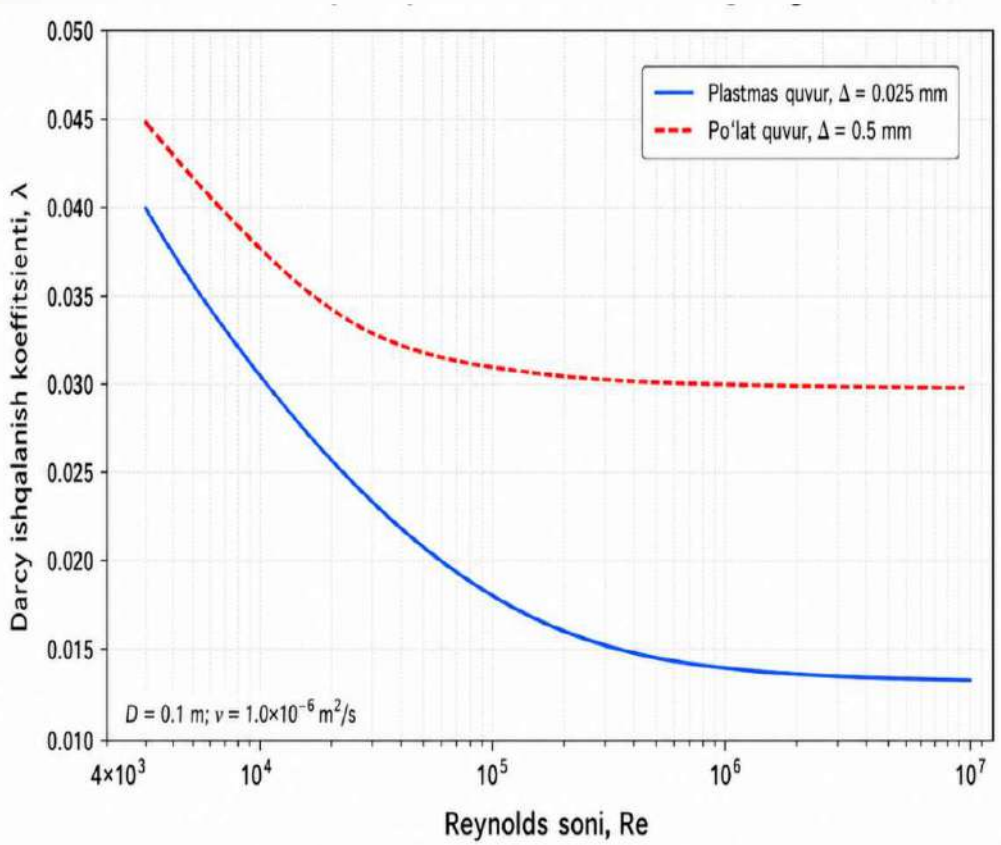
Ushbu metodologiya plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik qarshiliklarni bir xil sharoitda taqqoslash imkonini beradi. Bunda asosiy farq quvur ichki yuzasining g‘adir-budurligi orqali shakllanadi. Shuning uchun olingan natijalar quvur materialini tanlash, nasos quvvatini asoslash hamda suv ta’minoti va sug‘orish tizimlarida energiya tejamkor yechimlarni ishlab chiqishda amaliy ahamiyatga ega.

NATIJALAR VA MUHOKAMA. Ushbu bo‘limda plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik ishqalanish koeffitsienti hamda solishtirma gidravlik qarshilik qiymatlarining Reynolds soniga bog‘liq holda o‘zgarishi tahlil qilindi. Hisoblashlar bir xil diametrli quvur, bir xil suyuqlik xossalari va bir xil oqim rejimlari uchun bajarildi. Bunda plastmas va po‘lat quvurlar o‘rtasidagi asosiy farq ularning ichki yuzasi g‘adir-budurligi orqali ifodalandi. Plastmas quvur uchun absolut g‘adir-budurlik Δpl=0.025 mm, po‘lat quvur uchun esa Δst=0.5 mm deb qabul qilindi. Ushbu qiymatlar asosida plastmas quvur uchun nisbiy g‘adir-budurlik Δpl/D=0.00025, po‘lat quvur uchun esa Δst/D=0.005 ni tashkil etdi.

Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, kichik Reynolds sonlarida plastmas va po‘lat quvurlardagi ishqalanish koeffitsientlari orasidagi farq nisbatan kichik bo‘ladi. Buning sababi past Reynolds sonlarida yopishqoqlik kuchlarining ta’siri sezilarli bo‘lib, quvur devorining g‘adir-budurligi oqimga kuchli ta’sir ko‘rsatmaydi. Reynolds soni ortib borgani sari oqim turbulent xarakterga ega bo‘ladi va quvur ichki yuzasining g‘adir-budurligi ishqalanish koeffitsientiga

ISSN 3030-3907

tobora kuchliroq ta’sir ko‘rsata boshlaydi. Natijada po‘lat quvurlarda ishqalanish koeffitsienti plastmas quvurlarga nisbatan yuqori qiymatlarni qabul qiladi. Reynolds sonining oshishi bilan plastmas va po‘lat quvurlarda Darcy ishqalanish koeffitsientining o‘zgarish xarakteri 4-rasmda keltirilgan.



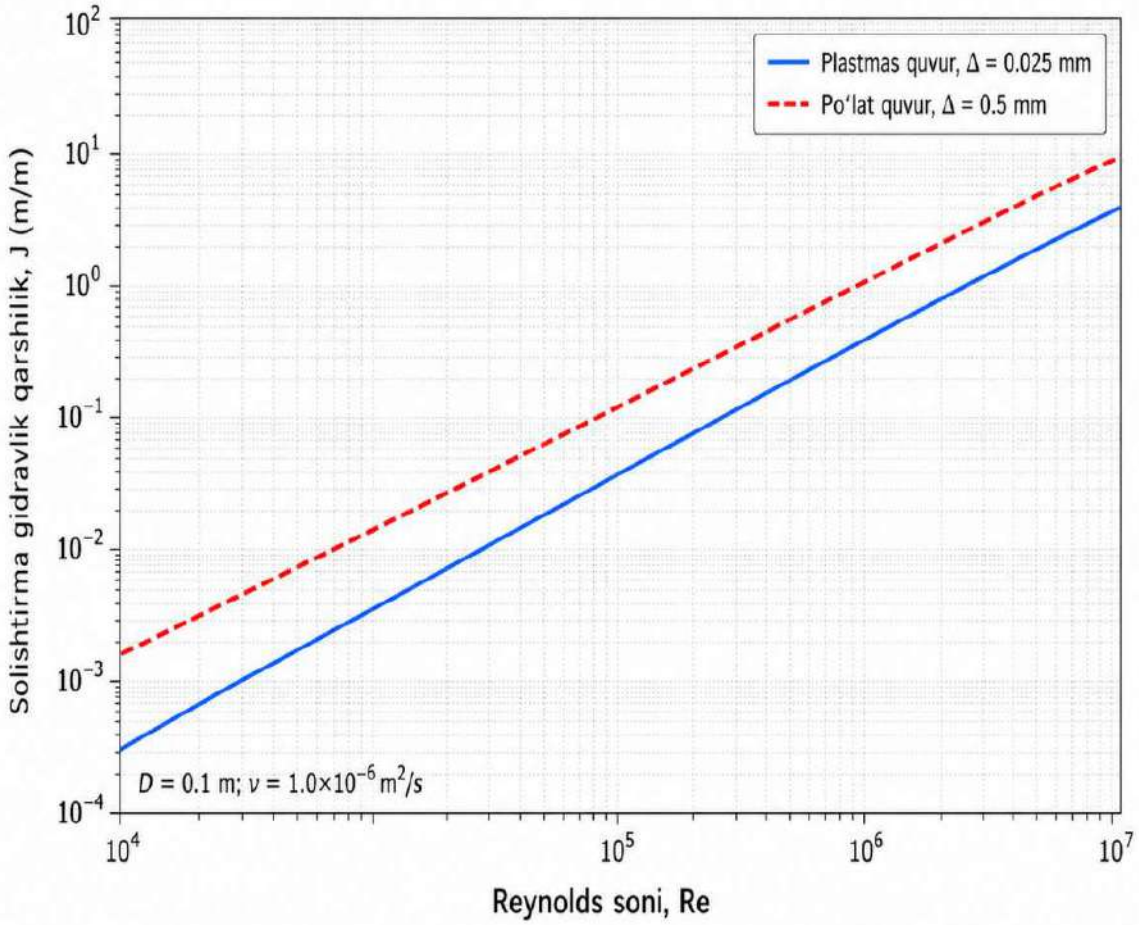
4-rasm. Plastmas va po‘lat quvurlarda Reynolds soni bo‘yicha Darcy ishqalanish koeffitsientining o‘zgarishi

4-rasm tahlili shuni ko‘rsatadiki, plastmas quvurda ishqalanish koeffitsienti Reynolds soni ortishi bilan asta-sekin kamayadi va yuqori Reynolds sonlarida nisbatan barqaror qiymatga yaqinlashadi. Po‘lat quvurda esa ichki yuzaning g‘adir-budurligi yuqori bo‘lgani sababli λ\lambdaλ qiymati plastmas quvurnikiga nisbatan katta bo‘lib qoladi. Ayniqsa, yuqori Reynolds sonlari sohasida po‘lat quvurda ishqalanish koeffitsientining kamayish sur’ati sekinlashadi, chunki bu sharoitda oqim to‘liq rivojlangan turbulent rejimga yaqinlashadi va gidravlik qarshilik asosan nisbiy g‘adir-budurlik bilan belgilanadi.

Hisoblash natijalariga ko‘ra, Re=4·103 bo‘lgan holatda plastmas quvur uchun λpl=0 po‘lat quvur uchun esa λst=0.0385 atrofida bo‘ldi. Ushbu qiymatlar orasidagi farq kichik bo‘lib, bu holat turbulent oqimning boshlang‘ich qismida g‘adir-budurlik ta’siri hali to‘liq shakllanmaganligini ko‘rsatadi. $Re=100\cdot10^3$ bo‘lgan holatda esa plastmas quvur uchun λpl=0.0175, po‘lat quvur uchun λst=0.0275 qiymatlari olindi. Bu bosqichda po‘lat quvurdagi ishqalanish koeffitsienti plastmas quvurnikidan sezilarli darajada yuqori bo‘ldi.

ISSN 3030-3907

Solishtirma gidravlik qarshilik J qiymatlari Darcy–Weisbach tenglamasi asosida hisoblandi. Bunda J quvurning birlik uzunligiga to‘g‘ri keluvchi napor yo‘qotishini ifodalaydi. Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, J qiymati faqat ishqalanish koeffitsientiga emas, balki oqim tezligining kvadratiga ham bog‘liq. Shu sababli Reynolds soni ortganda, hatto λ qiymati biroz kamaygan taqdirda ham, v^2 hadining ta’siri sababli solishtirma qarshilik keskin ortadi. Reynolds soni bo‘yicha plastmas va po‘lat quvurlarda solishtirma gidravlik qarshilikning o‘zgarishi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. Plastmas va po‘lat quvurlarda Reynolds soni bo‘yicha solishtirma gidravlik qarshilikning o‘zgarishi

5-rasmdan ko‘rinib turibdiki, Reynolds sonining kichik qiymatlarida plastmas va po‘lat quvurlar o‘rtasidagi J farqi uncha katta emas. Biroq Reynolds soni ortib borgani sari po‘lat quvurdagi solishtirma qarshilik plastmas quvurnikiga nisbatan tezroq ortadi. Bu holat po‘lat quvur ichki yuzasining g‘adir-budurligi yuqori bo‘lgani sababli oqim energiyasining ko‘proq qismi ishqalanish kuchlarini yengishga sarflanishi bilan izohlanadi.

Plastmas quvurlarda ichki yuzaning silliqligi tufayli devor yaqinidagi oqim qatlamida qarshilik kamroq bo‘ladi. Bu esa ishqalanish koeffitsienti va solishtirma napor yo‘qotishlarini kamaytiradi. Po‘lat quvurlarda esa ichki

ISSN 3030-3907

yuzaning g‘adir-budurligi yuqori bo‘lgani uchun turbulent pulsatsiyalar kuchayadi, oqimning devor bilan o‘zaro ta’siri ortadi va energiya yo‘qotishlari ko‘payadi. Shu sababli bir xil diametr, bir xil oqim tezligi va bir xil suv sarfi sharoitida po‘lat quvurlar plastmas quvurlarga nisbatan yuqori gidravlik qarshilik hosil qiladi.

Natijalar shuningdek, quvur materialini tanlash faqat mexanik mustahkamlik yoki qurilish qiymati bilan emas, balki gidravlik va energetik samaradorlik bilan ham baholanishi kerakligini ko‘rsatadi. Agar quvur tarmog‘i uzoq masofaga ega bo‘lsa yoki yuqori sarfli rejimda ishlasa, ishqalanish yo‘qotishlarining kamayishi nasos quvvatiga bo‘lgan talabni sezilarli darajada pasaytirishi mumkin. Bunday sharoitda plastmas quvurlarni qo‘llash ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va energiya tejamkorlikka erishish uchun muhim muhandislik yechimi hisoblanadi.

Muhokama natijalariga ko‘ra, plastmas quvurlarning po‘lat quvurlarga nisbatan gidravlik ustunligi asosan uchta omil bilan izohlanadi. Birinchidan, plastmas quvurlarning absolut g‘adir-budurligi past bo‘lib, bu ishqalanish koeffitsientining kamayishiga olib keladi. Ikkinchidan, plastmas quvurlar korroziyaga chidamli bo‘lgani sababli ularning ichki sirt holati ekspluatatsiya davomida nisbatan barqaror saqlanadi. Uchinchidan, yuqori Reynolds sonlarida quvur devorining nisbiy g‘adir-budurligi gidravlik qarshilikni belgilovchi asosiy omilga aylanadi va bu sharoitda plastmas quvurlarning silliq ichki yuzasi katta afzallik beradi.

Shu bilan birga, olingan natijalarni amaliy gidrotizimlarga tatbiq etishda ayrim omillarni ham hisobga olish lozim. Real quvur tarmoqlarida faqat ishqalanish yo‘qotishlari emas, balki burilishlar, armaturalar, klapanlar, kirish-chiqish elementlari va boshqa mahalliy qarshiliklar ham mavjud bo‘ladi. Bundan tashqari, nasosning foydali ish koeffitsienti, quvur diametrining tanlanishi, suv sarfining o‘zgaruvchanligi va ekspluatatsion sharoitlar ham umumiy energiya sarfiga ta’sir qiladi. Shu sababli plastmas quvurlarning energetik samaradorligi har bir konkret tizim uchun alohida hisoblashlar asosida baholanishi kerak. Biroq ushbu tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, bir xil gidravlik sharoitlarda plastmas quvurlar po‘lat quvurlarga nisbatan sezilarli darajada past gidravlik qarshilikka ega.

Umuman olganda, hisoblash natijalari plastmas quvurlarni suv ta’minoti, sug‘orish va sanoat gidrotizimlarida qo‘llash energetik jihatdan maqsadga muvofiq ekanligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, yuqori Reynolds sonlari va katta oqim tezliklari sharoitida plastmas quvurlar po‘lat quvurlarga nisbatan kamroq napor yo‘qotishiga ega bo‘ladi. Bu esa nasos agregatlarining quvvat talabini

ISSN 3030-3907

kamaytirish, elektr energiyasi sarfini pasaytirish va tizimning umumiy samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Ushbu natijalar asosida aytish mumkinki, plastmas quvurlarning past g‘adir-budurligi ularning asosiy gidravlik afzalligi hisoblanadi. Po‘lat quvurlarda esa nisbiy g‘adir-budurlik yuqoriligi sababli ishqalanish koeffitsienti va solishtirma gidravlik qarshilik qiymatlari yuqori bo‘ladi. Shuning uchun yuqori sarfli va uzoq masofali bosimli quvur tizimlarida plastmas quvurlarni qo‘llash gidravlik hamda energetik jihatdan samarali yechim sifatida qaralishi mumkin.

XULOSA. Ushbu tadqiqotda plastmas va po‘lat quvurlarda gidravlik qarshiliklarning shakllanishi, ishqalanish koeffitsienti va solishtirma gidravlik qarshilikning Reynolds soniga bog‘liq holda o‘zgarishi nazariy-hisobiy usulda baholandi. Hisoblashlar D=0.1 m diametrli bosimli quvur uchun Darcy–Weisbach tenglamasi va Colebrook–White munosabati asosida bajarildi. Plastmas quvur uchun absolut g‘adir-budurlik $\Delta pl=0.025$ mm, po‘lat quvur uchun esa $\Delta st=0.5$ mm deb qabul qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, past Reynolds sonlarida plastmas va po‘lat quvurlar orasidagi gidravlik farq nisbatan kichik bo‘ladi. Masalan, $Re=4\cdot10^3$ da ishqalanish koeffitsienti plastmas quvurda $\lambda pl=0.0362$ po‘lat quvurda esa $\lambda st=0.0385$ atrofida bo‘lib, farq sezilarli darajada katta emas. Bu holat turbulent oqimning boshlang‘ich qismida quvur devori g‘adir-budurligining ta’siri hali to‘liq namoyon bo‘lmasligi bilan izohlanadi.

Solishtirma gidravlik qarshilik bo‘yicha ham plastmas quvurlar ancha samarali ekanligi aniqlandi. $Re=100\cdot10^3$ da Jpl=2.0, Jst=3.1 bo‘lib, po‘lat quvurdagi qarshilik plastmas quvurga nisbatan taxminan 1.55 marta yuqori bo‘ldi. $Re=500\cdot10^3$ da bu qiymatlar Jpl=40.2 va Jst=76.8 ni tashkil etib, nisbat 1.91 martaga yetdi. $Re=800\cdot10^3$ da esa Jpl=99.3, Jst=196.0 bo‘lib, po‘lat quvurdagi solishtirma qarshilik plastmas quvurga nisbatan 1.97 marta yuqori bo‘ldi.

To‘liq rivojlangan turbulent oqim, ya’ni kvadrat qarshilik sohasida ishqalanish koeffitsienti asosan quvur devorining nisbiy g‘adir-budurligiga bog‘liq bo‘lib qoladi. Ushbu sohada plastmas quvur uchun $\lambda pl\approx0.014$, po‘lat quvur uchun esa $\lambda st\approx0.029$ qiymatlar olindi. Bu esa po‘lat quvurdagi gidravlik ishqalanish plastmas quvurga nisbatan taxminan 2.1 marta yuqori ekanligini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, plastmas quvurlarning past g‘adir-budurligi ularning asosiy gidravlik afzalligi hisoblanadi. Ichki yuzaning silliqligi ishqalanish koeffitsienti va solishtirma napor yo‘qotishlarini kamaytiradi. Po‘lat quvurlarda esa yuqori g‘adir-budurlik, korroziya va ichki sirtning yemirilishi gidravlik qarshiliklarning ortishiga sabab bo‘ladi. Shu sababli yuqori Reynolds sonlari, katta suv sarfi va uzoq masofali bosimli quvur tizimlarida plastmas quvurlarni qo‘llash nasos quvvatiga bo‘lgan talabni kamaytirish, elektr energiyasi sarfini

ISSN 3030-3907

pasaytirish va tizimning umumiy energetik samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Kelgusida mazkur yondashuvni turli diametrli quvurlar, real ekspluatatsion sharoitlar, mahalliy qarshiliklar, nasos foydali ish koeffitsienti va iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichlarini hisobga olgan holda kengaytirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Latipov K.Sh. K opredeleniyu koeffitsiyenta gidravlicheskogo treniya. DAN, 1982. pp. 30–35.
2. Latipov K.Sh. Gidravlika, gidromashinalar, gidroyuritmalar. Toshkent: O‘qituvchi, 1992. 335 b.
3. Shterenlixt D.V. Gidravlika. Moskva: Energoatomizdat, 1984. 640 b.
4. Latipov K.Sh., Arifjanov A.M. Voprosy dvizheniya vzvesenesushchego potoka v otkrytykh ruslakh. Toshkent: Mehnat, 1994. 110 b.
5. Altshul A.D. Mestnye gidravlicheskie soprotivleniya pri dvizhenii vyazkikh zhidkostey. Moskva: Gostoptekhizdat, 1962. 114 b.
6. Darcy H. Recherches expérimentales relatives au mouvement de l’eau dans les tuyaux. Paris: Mallet-Bachelier, 1857.
7. Colebrook C.F., White C.M. Experiments with fluid friction in roughened pipes. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, 1937, Vol. 161, pp. 367–381. DOI: 10.1098/rspa.1937.0150
8. Swamee P.K., Jain A.K. Explicit equations for pipe-flow problems. Journal of the Hydraulics Division, 1976, Vol. 102, No. 5, pp. 657–664.
9. Li S., Huai W. United formula for the friction factor in the turbulent region of pipe flow. PLOS ONE, 2016, Vol. 11, No. 5, e0154408. DOI: 10.1371/journal.pone.0154408
10. Basse N.T. Turbulence intensity and the friction factor for smooth- and rough-wall pipe flow. Physics of Fluids, 2018. arXiv:1612.08540.
11. Arifjanov A.M., Fatxulloyev A.M., Rakhimov K.T., Otakhonov M.Y., Allayorov D.Sh. Coefficient of hydraulic friction of plastic pipes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, Vol. 1112, 012135. DOI: 10.1088/1755-1315/1112/1/012135
12. Arifjanov A., Babajanov F., Akhmedov I., Fozilov O., Umarov I. Analysis results of data obtained in natural field research in mountain river Sokhsoy. E3S Web of Conferences, 2023, Vol. 365, 03017. DOI: 10.1051/e3sconf/202336503017
13. Dolan D. How plastic pipes can boost energy efficiency. Modern Building Services, 2016, February.

ISSN 3030-3907

14. Engineer Fix. How the Colebrook Equation Calculates Pipe Friction. Engineer Fix, 2025.
15. Gulf Eternit. HDPE Product Information. Gulf Eternit, 2019.
16. HDPE Pipes. Understanding HDPE Pipe Specifications for Water Supply. Sino Pipe Factory, 2024.
17. America's Plastic Makers. Unlocking Savings with Efficient Pumps and Plastic Water Pipes. America's Plastic Makers, 2024.

ISSN 3030-3907