

UO‘K: 532.595.2

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-m.15>

SUYUQLIK BUTUNLIGI UZILISHI BILAN KECHADIGAN SUV ZARBI BOSIMINING PULSATSIIYASI HISOBI

Jonqobilov Ulugmurad Umbarovich¹ - texnika fanlari doktori, professor,
E-mail: ulugmurad@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0871-0317, Science ID: DQD-0626-0015;

Jonqobilov Sobir Ulug‘murodovich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: jonqobilovsobir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0619-936X,
Science ID: FQD-0626-0092;

Rajabov Ulug‘bek Mamashoyevich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: 020267@mail.ru, ORCID: 0009-0007-6110-1111, Science ID: FQD-0626-0094;

Jonqobilov Bektemir Ulug‘murodovich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: bektemirzonqobilov@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7523897X,
Science ID: FQD-0626-0093;

Ruzimurodov Zoir Husniddinovich¹ - assistent, E-mail: ruzimurodovzoir1@gmail.com,
ORCID: 0009-0008-6317-5760, Science ID: MQD-0626-0133;

Bahodirov Shohruh Baxodir o‘g‘li¹ - doktorant (PhD),
E-mail: bahodirovshohruh2613@gmail.com, ORCID: 0009-0000-6269-1220,
Science ID: MQD-0626-0131;

Mamashoyev Umid Ulug‘bek o‘g‘li² - assistent,
E-mail: umidmamashoyev@gmail.com, ORCID: 0009-0005-9904-4728,
Science ID: MQD-0626-0134.

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Suyuqlik oqimining butunligi uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosim pulsatsiyalarini o‘lchash uchun birlamchi o‘zgartirgichga ega o‘lchash qurilmasi ishlab chiqildi va tajribada sinovdan o‘tkazildi. Gidravlik zarba paytida yuzaga keladigan yuqori chastotali bosim tebranishlarini qayd etish uchun pyezoelektrik va tenzorezistorli o‘zgartirgichlarning ishlash xususiyatlari o‘zaro taqqoslandi. Suyuqlik oqimining butunligi uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosimning o‘zgarish qonuniyatlariga oid yangi eksperimental natijalar taqdim etildi. Olingan natijalar mavjud nazariy qarashlar va eksperimental ma’lumotlar bilan taqqoslanib, taklif etilgan o‘lchash usulining ishonchliligi hamda amaliy qo‘llash imkoniyatlari asoslab berildi.

Kalit so‘zlar: to‘g‘ri gidravlik zarba, naporli quvur, suyuqlik butunligining uzilishi, pezoelektrik bosim sensori, induktiv bosim sensori.

УДК: 532.595.2

РАСЧЕТ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ГИДРОУДАРЕ С РАЗРЫВАМИ СПЛОШНОСТИ ЖИДКОСТИ

Жонкобилов Улугмурад Умбарович¹ - доктор технических наук, профессор;
Жонкобилов Собир Улугмуродович¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент;

Ражабов Улугбек Мамашоевич¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент;

Жонкобилов Бектемир Улугмуродович¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD);

Рузимуродов Зоир Хусниддинович¹ - ассистент;
Баходиров Шохрух Баходир угли¹ - докторант (PhD);
Мамашоев Умид Улугбек угли² – ассистент.

¹Каршинский государственный технический университет, г.Карши, Узбекистан

²Университет экономики и педагогики, г.Карши, Узбекистан

Аннотация. Разработана и экспериментально апробирована измерительная установка с первичным преобразователем для измерения пульсаций давления при гидравлическом ударе, сопровождающемся разрывом сплошности потока жидкости. Проведено сравнение характеристик пьезоэлектрического и тензорезисторного преобразователей при регистрации высокочастотных колебаний давления, возникающих в процессе гидравлического удара. Представлены новые экспериментальные данные о закономерностях изменения давления при гидравлическом ударе с разрывом сплошности жидкости. Полученные результаты сопоставлены с существующими теоретическими представлениями и экспериментальными данными, что подтверждает надежность и практическую применимость предложенного метода измерения.

Ключевые слова: прямой гидравлический удар, напорный трубопровод, разрыв сплошности жидкости, тензорезисторный преобразователь, индуктивный преобразователь.

UDC: 532.595.2

CALCULATION OF PRESSURE PULSATIONS DURING WATER HAMMER WITH LIQUID CONTINUITY BROKEN

Jonkobilov, Ulugmurad¹ - Doctor of Technical Sciences, Professor;

Jonkobilov, Sobir¹ - Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate Professor;

Rajabov, Ulugbek¹ - Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate Professor;

Jonkobilov, Bektemir¹ - Doctor of Philosophy in Technical Sciences

Ruzimurodov, Zoir¹ - assistant;

Bahodirov, Shohruh¹ - Doctoral student (PhD);

Mamashoyev, Umid² – assistant.

¹Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

²University of Economics and Pedagogy, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. A measuring system equipped with a primary transducer for measuring pressure pulsations during water hammer accompanied by flow discontinuity was developed and experimentally tested. The performance characteristics of piezoelectric and strain-gauge transducers for recording high-frequency pressure oscillations generated during the water hammer process were compared. New experimental data on the pressure variation patterns during water hammer with flow discontinuity are presented. The obtained results were compared with existing theoretical concepts and experimental data, confirming the reliability and practical applicability of the proposed measurement method.

Keywords: direct water hammer, pressurized pipeline, flow discontinuity, strain-gauge transducer, inductive transducer.

Kirish

Gidravlik zarba bosimli quvur tizimlarida yuzaga keladigan eng murakkab beqaror jarayonlardan biri hisoblanadi. U oqim tezligining keskin o'zgarishi natijasida yuzaga kelib, quvurlarda katta miqdordagi bosim tebranishlari hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Ayniqsa, suyuqlik oqimining butunligi uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosimning keskin ortishi kuzatiladi va bu holat quvur tizimlari hamda gidrotexnik inshootlarning mustahkamligi va ishonchliligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [1-6].

Gidravlik zarba paytida bosimli quvurlarda bosim tebranishlarini o'lchash natijalari tahlili shuni ko'rsatadiki [1-10], bosimning eng katta ortishi suyuqlikning uzluksizligi buzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida kuzatiladi. Ammo suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonining bosim ko'rsatkichlari hamda ularning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari hozirgi kungacha to'liq aniqlashtirilmagan. Shu bois, mazkur jarayonni nazariy jihatdan tavsiflash va talqin qilish bo'yicha ilmiy adabiyotlarda turli, hatto o'zaro zid yondashuvlar uchraydi [11–13]. Shu sababli yuqori chastotali bosim pulsatsiyalarini qayd etish

imkoniyatiga ega bo'lgan o'lchash usullarini ishlab chiqish va ularning imkoniyatlarini tadqiq etish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur holat quyidagi shart bajarilganda sodir bo'ladi:

$$\rho \cdot a \cdot v_0 \rightarrow \bar{p} - p_{H.II},$$

bu yerda: ρ - suyuqlik zichligi; a - gidravlik zarba to'liqining tarqalish tezligi; v_0 - gidravlik zarba yuz berishidan oldingi suyuqlikning barqarorlashgan harakat tezligi; $\bar{p}$ - qo'zg'alish manbai joylashgan kesimdagi absolyut bosim; $p_{H.II}$ - berilgan haroratdagi suyuqlikning to'yingan bug' bosimi.

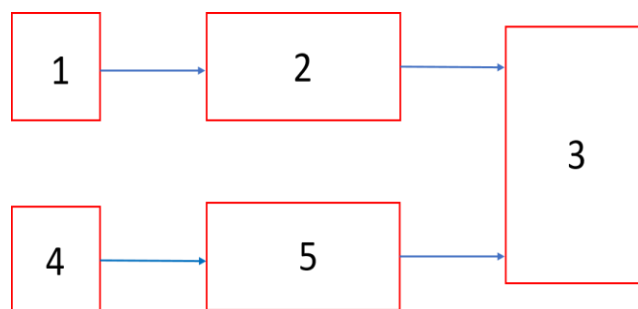
Uslublar va materiallar

Keng ko'lamli eksperimental tadqiqotlar olib borilganiga qaramay, hozirgi vaqtgacha suyuqlik uzluksizligining buzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida nafaqat bosimning ortish miqdori, balki uning o'zgarish xarakteri to'g'risida ham qarama-qarshi fikrlar mavjud [11, 13]. Qo'shimcha eksperimental dalillarni olish maqsadida Qarshi davlat texnika universitetida (QarDTU) bosimli quvurdagi suyuq muhit bosimining o'zgarishini o'lchash uchun pyezoelektrik o'zgartirgichdan foydalangan holda o'lchash qurilmasi ishlab chiqildi va tajribada sinovdan o'tkazildi [3, 4, 6].

Gidravlik zarba natijasida yuzaga keladigan bosim tebranishlarini qayd etish uchun birlamchi tenzorezistorli va induktiv o'zgartirgichlardan foydalanishga asoslangan o'lchash qurilmalari keng tarqalgan [5, 6, 13]. Ammo amaliyotda ayrim hollarda mazkur turdagi o'zgartirgichlar yuqori chastotali bosim pulsatsiyalari bilan tavsiflanadigan dinamik jarayonlarni yetarli darajada sifatli qayd etishni ta'minlay olmaydi [13]. Bosimning birlamchi o'zgartirgichida pyezoelektrik effektga ega dielektrlardan foydalanish ushbu kamchilikni bartaraf etish imkonini beradi [13].

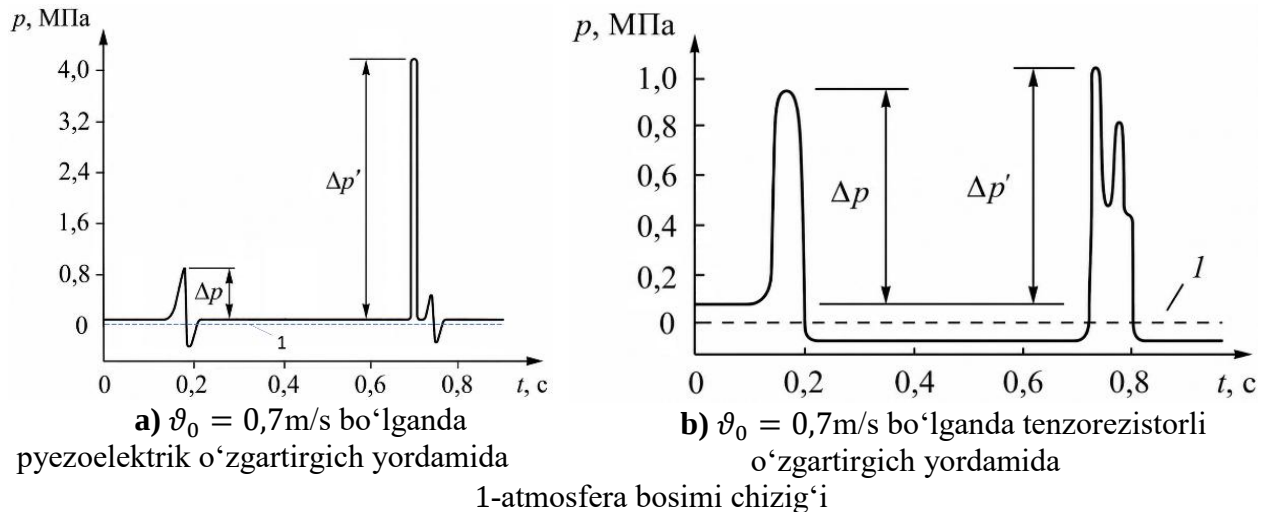
Taklif etilgan o'lchash qurilmasining asosiy asboblari (1-rasm) pyezoelektrik bosim o'zgartirgichi, S1-18 markali elektron-nurli ossillograf va IM-789 indikatori hisoblanadi. Pyezoelektrik o'zgartirgichning sezgir elementi sifatida zavodda tayyorlangan, tashqi muhit bilan bevosita kontaktdan rezina qobiq yordamida himoyalangan ikkita IITC-19 markali pyezokeramika plastinasidan tashkil topgan buyumdan foydalanildi [1-10]. Element maxsus ishlab chiqilgan chizma asosida tayyorlangan po'lat korpusga o'rnatildi. Rezba birikmasi yordamida o'zgartirgich korpusi eksperimental qurilmaning bosimli quvurining pastki qismiga mahkamlandi, uning sxemasi [13] ishda keltirilgan. Eksperimental qurilma gidrostatik nabori $H_{st} = 6,3$ m bo'lgan suv bosimli rezervuar, umumiy uzunligi 147,5 m bo'lgan po'lat quvur, rezervuardan 145,0 m masofada joylashgan $D_u = 50$ mm li tez ishlovchi probkali kran va uchburchak suv o'lchagich ostonadan tashkil topgan. Quvurning ichki diametri 50 mm, devor qalinligi esa 3 mm ni tashkil etgan [6].

Probkali kran tez yopilganda, quvurdagi suv harakati tezligining keskin o'zgarishi natijasida bosim tebranishlari yuzaga keladi [1-4, 6].



1 - pyezoelektrik bosim o'zgartirgichi; 2 - S1-18 elektron-nurli ossillografi;
3 - IM-789 indikatori; 4 - TDDM-10 tenzorezistorli o'zgartirgich; 5 - 8ANCH-7M
tenzometrik kuchaytirgich

1-rasm. O'lchash kompleksining strukturaviy sxemasi.



2-rasm. Suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosimning o'zgarish diagrammalari.

Pyezoelektrik o'zgartirgichning ishlash prinsipi dielektrik kristallarining mexanik deformatsiyalarni ularning sirtlaridagi elektrostatik zaryadlarning o'zgarishiga aylantirish xususiyatiga asoslangan [6]. Pyezoelektrik o'zgartirgichlar generator tipidagi o'zgartirgichlar guruhiga kiradi va juda kichik inertsiyaga ega bo'lganligi sababli yuqori chastotali jarayonlarni qayd etish imkonini beradi [6]. O'lchash qurilmasi tarkibiga kiruvchi asboblarning ishchi chastotalari diapazoni pasport ma'lumotlariga ko'ra quyidagicha bo'lgan [11, 13]: S1-18 ossillografi uchun $0 \div 1000 \text{ Gs}$, IM-789 indikatori uchun $0 \div 2 \text{ Gs}$, 8ANCH-7M tenzometrik kuchaytirgichi uchun $0 \div 0,5 \text{ Gs}$ va pyezoelektrik o'zgartirgich uchun $30 \div 40 \text{ kGs}$ gacha.

Pyezoelektrik o'zgartirgichdan kelayotgan signal S1-18 elektron-nurli ossillografga uzatilgan bo'lib, u ushbu signalni dastlabki kuchaytirish va uni IM-789 indikatoriga uzatish uchun xizmat qilgan [13]. So'nggi qurilma ekranida quvurdagi bosimning vaqt bo'yicha o'zgarishini aks ettiruvchi elektron nurining siljishi vizual ravishda kuzatib borilgan. IM-789 indikatori ekranidagi yorug'lik nurining siljishi esa fotoapparat yordamida fotoplyonkaga qayd etilgan [11, 13].

Pyezoelektrik o'zgartirgich yordamida qayd etilgan ossillogrammalarni deshifrlashda ma'lum qiyinchiliklarga duch kelinadi. Bunga asosiy sabab ularni darajalash (kalibrlash) grafiklarini tuzishning ishonchli usuli mavjud emasligidir. Bu holat pyezoelektrik o'zgartirgich yordamida deformatsiyaning statik tarkibiy qismini o'lchash mumkin emasligi bilan izohlanadi, chunki pyezokeramika plastinalarida hosil bo'lgan elektr zaryadlari qisqa vaqt ichida oqib ketadi [11, 13].

Tadqiq qilinayotgan jarayonni taqqoslash maqsadida IM-789 indikatorining boshqa kanalida seriyali ishlab chiqariladigan TDDM-10 tenzorezistorli o'zgartirgichdan kelayotgan signal sinxron ravishda qayd etib borilgan. Tenzorezistorli o'zgartirgichni darajalash (kalibrlash) masalan, MP-60 moyli pressi yordamida hosil qilinadigan statik bosim bo'yicha amalga oshiriladi. Gidravlik zarbaning boshlang'ich fazalarida bosim ortishi Δp ning qiymati ikkala egri chiziqda ham (2-rasm, a va b) bir xil bo'lgan [6, 11]. Buning sababi shundaki, tenzorezistorli va pyezoelektrik o'zgartirgichlar quvurda, zatvor yaqinida o'zaro juda yaqin masofada o'rnatilgan edi.

Natijalar va muhokama

Pyezoelektrik o'zgartirgich yordamida qayd etilgan to'g'ri gidravlik zarba jarayonidagi bosimning o'zgarish ossillogrammalari ilmiy va amaliy jihatdan katta qiziqish uyg'otadi. Bosimning maksimal oniy ortishi Δp suyuqlik butunligining uzilishi davrlaridan keyingi musbat fazalarning boshlanishida kuzatiladi. Taxminan shunday bosim o'zgarishi xarakteri (asboblarning inertsionligiga tuzatma kiritilgan holda) suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida [1] va [9] ishlarda olingan indikator diagrammalarida ham qayd etilgan.

Bosimning oniy ortishi $\Delta p'$ ning miqdoriy bahosi uning amplitudasini to'g'ri gidravlik zarba vaqtida hosil bo'ladigan bosim ortishi Δp amplitudasi bilan (2-rasm, a) qiyoslash orqali aniqlanishi

mumkin. Bunday taqqoslashning asoslanganligi shundan kelib chiqadiki, ITC-19 markali pyezokeramika elementlari uchun plastinalardan olinadigan kuchlanishning mexanik deformatsiyalar kattaligiga bog'liqligi chiziqli xarakterga ega [8, 9]. Keltirilgan diagrammada bosimning oniy sakrashi $\Delta p'$ amplitudasi to'g'ri gidravlik zarba natijasida hosil bo'ladigan bosim ortishi Δp amplitudasidan besh marta katta bo'lib, ya'ni undan $50\rho g H_{st}$ dan ortiq miqdorga oshadi. Bu yerda g - erkin tushish tezlanishi; H_{st} - kran oldidagi kesimdagi statik napor [6].

[2–4] ishlarda keltirilgan mavjud nazariy qarashlarga muvofiq, suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba vaqtida bosim ortishining maksimal amplitudasining N.E.Jukovskiyning mashhur formulasi [1] bo'yicha hisoblanadigan bosim ortishidan oshishi taxminan $2\rho g H_{st}$ ni tashkil etadi. Olingan eksperimental natijalar yuqorida qayd etilgan nazariy holatni ham, [3, 4] ishlarda ilgari surilgan suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan birinchi davrdan keyingi musbat fazaning oxirida bosim ortishining eng katta qiymatlari yuzaga keladi degan xulosani ham tasdiqlamaydi.

Suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosimning ortishini miqdoriy baholashga oid mavjud nazariy qarashlar va hisoblash usullarini yanada aniqlashtirish zarur [6]. Bosimning impulsli ortishi $\Delta p'$ ning (ta'sir qilish davomiyligi juda qisqa bo'lishiga qaramasdan) turli materiallardan tayyorlangan bosimli quvurlarning mustahkamligiga ta'sirini aniqlashga qaratilgan tadqiqotlar ham zarur hisoblanadi. Ma'lumki, yuklanish davomiyligi materialning deformatsiyalanish tezligi hamda uning yemirilishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi [6]. Taklif etilgan o'lchash usulidan foydalanish suyuqlik butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonida bosimning o'zgarish qonuniyatlarini yanada ishonchliroq tadqiq etish imkonini beradi [13].

Xulosa

Mazkur ishda suyuqlik oqimi butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba paytidagi bosim pulsatsiyalarini o'rganish uchun yangi o'lchash kompleksi taklif etilgan.

Taklif etilgan bosim pulsatsiyalarini o'lchash usuli suyuqlik oqimi butunligining uzilishi bilan kechadigan gidravlik zarba jarayonini tadqiq etishda mavjud beqaror jarayonlarni hisoblash metodikalariga nisbatan ancha ishonchli natijalar beradi.

Adabiyotlar

- [1] Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М.-Л. 1949.- 104-с.
- [2] Мошин Л.Ф., Тимофеева Е.Т. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. – М., Стройиздат, 1961, - 227 с.
- [3] Жонкобилов С.У., Чулиев М.Н., Жонкобилов Б.У., Баходиров Ш.Б. Расчет гидравлического удара с учётом разрыва сплошности потока. “Innovatsion texnologiyalar” jurnali maxsus son, Qarshi 2022, 61-67 bet.
- [4] U. Jonkobilov, S. Jonkobilov, T. Yuldashev, Sh. Xo'shiyev. Influence of the drag coefficient on the maximum pressure of water hammer. VII International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education» (IPICSE 2020). 11–14 November, 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1030. Pp. 012132. DOI:10.1088/1757-899X/1030/1/012129.
- [5] Жонкобилов У., Дусматов Х., Жонкобилов С., Рузикулов Ж., Жонкобилов Б. Отрицательный гидроудар с разрывом неразрывности потока. O'zbekiston Respublikasi Oliy harbiy aviatsiya bilim yurti, Samo qalqonlari ilmiy-axborot jurnali, 3(7) 2023 y. s.31-38. (OAK rayosatining 30.04.2022 yildagi qarori 315/1).
- [6] Jonkobilov U.U., Xushiyev Sh.P., Jonkobilov B.U., Ruzimuradov Z.H., Baxodirov Sh.B. Nasos stansiyasi naporli quvurlarida va tizimlarda suv zarbi va uning so'ndirgichi hisoblari (Monografiya). Kar IEL, Intellect nashriyot. – K., 2024, 130 s.
- [7] Андрияшев М.М. Графические расчеты гидравлического удара в водоводах. Издательство литературы по строительству, М., 1969. -65 с.

- [8] Смирнов Д.Н., Зубов Л.Б. Гидравлический удар в напорных водоводах. – М., Стройиздат, 1975. – 125 с.
- [9] Блохин В. И. Экспериментальные исследования гидравлического удара, сопровождающегося разрывом сплошности потока. – «Водоснабжение и санитарная техника», 1970, № 3, с.11-12.
- [10] Герощенко Л.С. О гидравлическом ударе с разрывами сплошности жидкости. В сб.: Гидравлика и гидротехника, Киев, «Техника», вып.25, 1977, с.60-65.
- [11] Жонкобилов У.У. Исследование максимальных напоров при гидравлическом ударе с разрывом сплошности в газожидкостном напорном потоке // Журнал «Вестник ТашГТУ», №4, Ташкент, 2018, с.132-138.
- [12] Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулирования. «Машиностроение», М., 1965. -928 с.
- [13] Arifjanov A.M., Jonqobilov U.U., Jonqobilov S.U. Bir jinsli va gazli suyuqlik naporli oqimlarining gidravlik zarbaga hisobi. Monografiya, T.: Voris nashriyot. 2019, -155 b.