

КАВИТАЦИЯНИНГ НАСОС АГРЕГАТЛАРИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИГА ТАЪСИРИ

Р.Ж.Баратов – т.ф.н., доцент, Я.Э.Чўлчиев – ассистент,

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” миллий тадқиқот университети

Аннотация

Ушбу мақолада насос агрегатларида кавитация ҳосил бўлиш сабаблари ва электр энергия истеъмолига таъсири ташхислаш тизимини ишлаб чиқиш бўйича назарий ва экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган. Кавитацияни ўлчашда ўта кичик сиғимни ўлчаш датчигидан фойдаланиш самарали, ўлчаш аниқлиги юқори ва нархи арзон бўлган ўлчаш ва назорат қилишнинг интеллектуал тизимини ишлаб чиқиш имконияти мавжудлиги келтирилган. Эксперимент натижалари микроконтроллерлар ёрдамида ўта кичик сиғимларни юқори аниқликда яъни нисбий хатолик 1.5% гача бўлган хатоликда ўлчаш имкониятини яратади. Насос станцияларидаги сўриш қувурида кавитацияни ўлчаш ва назорат қилиш орқали электр энергия истеъмолини 5 -7% гача камайтириш имконияти мавжуд.

Таянч сўзлар: насос, пуфакча, бошқариш, кавитация, ўлчаш, интеллектуал ўлчаш тизими, датчик, микроконтроллер, статик босим, конденсатор, структура схема.

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Р. Ж. Баратов - к.т.н., доцент, Я. Э. Чуллиев - ассистент,

Национальный исследовательский университет “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”

Аннотация

В данной статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке системы диагностики причин возникновения кавитации в насосных агрегатах и ее влияния на потребление электроэнергии. Представлено, что использование сверхмалого емкостного датчика измерения кавитации дает возможность разработать интеллектуальную систему измерения и управления с высокой точностью измерения и низкой стоимостью. Результаты эксперимента позволяют измерять очень малые емкости с помощью микроконтроллеров с высокой точностью, то есть с погрешностью до 1,5% относительной погрешности. Измеряя и контролируя кавитацию во всасывающем трубопроводе на насосных станциях, можно снизить потребление электроэнергии на 5-7%.

Ключевые слова: насос, пузырьки, управление, кавитация, измерение, интеллектуальная измерительная система, статическое давление, конденсатор.

INFLUENCE OF CAVITATION ON THE CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY OF PUMPING UNITS

R.J.Baratov – associate professor, Ya. E. Chulliev - assistant

National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”

Abstract.

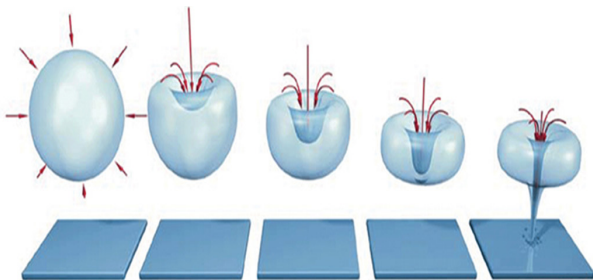
This article presents the results of theoretical and experimental studies on the development of a system for diagnosing the causes of cavitation in pump units and its effect on electricity consumption. It is presented that the use of ultra-small capacitance measurement sensor in cavitation measurement has the possibility of developing an intelligent measurement and control system with high measurement accuracy and low cost. The results of the experiment make it possible to measure very small capacitances with the help of microcontrollers with high accuracy, that is, with an error of up to 1.5% relative error. By measuring and controlling cavitation in the suction pipe at pumping stations, it is possible to reduce electricity consumption by 5-7%.

Key words: Pump, bubble, control, cavitation, measurement, smart measurement system, sensor, microcontroller, static pressure, capacitor, block diagram.



Кириш. Бугунги кунда Ўзбекистоннинг суғориладиган ерларининг 60 % га яқини насос станциялар ёрдамида суғорилиб ушбу тизимда 43 та йирик, 1600 дан ортиқ ўрта ва 30000 дан ортиқ кичик насос станциялари мавжуд ва уларнинг йиллик сув узатиши 60млрд. м³ дан ортиқни ташкил этмоқда. Насос станциялар томонидан истеъмол қилинаётган йиллик электр энергия миқдори 8-10 млрд.кВт×соатни ташкил қилиб, мамлакатимизда жами ишлаб чиқарилаётган электр энергиянинг 23% га етмоқда. Насос станцияларининг энергия самарадорлигини ошириш ва улардан фойдаланиш харажатларини камайтириш, шунингдек насосларнинг фойдали иш коэффициентини ошириш муаммони чуқур таҳлил этиш ва илмий-тадқиқот ўтказиш, янги ўлчаш ва информацион техник воситалардан фойдаланишни тақоза этмоқда. Юқориди қайд этилган муаммоларни ижобий ҳал этишда насос станцияларида ҳар хил физик табиатга эга бўлган катталикларни ўлчаш ва назорат қилишнинг (электр, магнит, механик, гидравлик ва ҳ.к) интеллектуал датчикларнинг автоном электр манбаидан таъминландиган янги авлодини ишлаб чиқиш заруриятини пайдо қилмоқда [1,2,3,4,5,6].

Суғориш тизимларида фойдаланаётган катта қувватли насос агрегатларида электр энергия истеъмолининг ортиши ва фойдали иш коэффициентининг пасайишига олиб келадиган асосий сабаблардан бири бу кавитация жараёнидир. Насос агрегатларида сувнинг статик босими сувнинг буғланиш босимидан кичик бўлганда сувда ҳажми унчалик катта бўлмаган шар шаклидаги қуйидаги 1-расмда келтирилган сингари пуфаклар пайдо бўлади [1,5,6,13].



1-расм. Кавитация жараёнида ҳосил бўладиган пуфаклар.

Бундай пуфаклар ҳосил бўлиш ҳодисаси кавитация дейилади. Насос камераси ичида пайдо бўлган бундай пуфаклар катта босим остида насос паррақларига ёки камеранинг ички қисмига урилиб ёрилиши оқибатида зарб тўлқини ҳосил бўлади. Зарб тўлқинлари катта энергияга эга бўлганлиги сабабли металлнинг юза қисмини емиради ва насос паррақларининг тезда ишдан чиқишига сабаб бўлади [12,14,20].

Кавитация жараёнининг пайдо бўлишини олдиндан ташхислаш жуда мураккаб техник масала ҳисобланади. Шунинг учун ҳозирги вақтда кавитацияни ўлчаш ва назорат қилиш тизимларини ишлаб чиқишда кавитация оқибатида юзага келадиган физик ҳодисалар, жумладан шовқин, вибрация ва насос камерасида температура-нинг ўзгариши каби параметрларни ўлчаш орқали ўлчаш амалга оширилмоқда. Ҳозирги кунда шундай кавитация оқибатлари натижасида юзага келадиган физик жараёнларни ўлчаш орқали кавитацияни ташхислашнинг бир қанча усуллари мавжуд [7,8,9,10,11].

Аммо бундай усуллар орқали кавитация жараёнини ўлчаш ва назорат қилиш самарасиз бўлиб ушбу усуллар

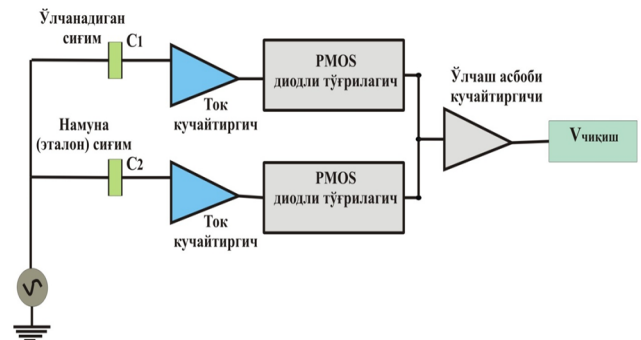
кавитация оқибатида юзага келадиган паррақларнинг емирилиш даврини камайтира олмайди.

Материаллар ва методлар. Бугунги микроэлектроника, сунъий интеллект ва информацион технологиялар ривожланган даврда ўлчаш ва назорат тизимларини интеллектуаллаштириш ва микроконтроллерлардан фойдаланиш ушбу соҳада кенг имкониятлар яратилмоқда. Шунинг учун муаллифлар томонидан насос агрегатларида кавитация ҳосил бўлиш сабабини ўлчаш ва назорат қилишнинг интеллектуал тизими ишлаб чиқилган ва баъзи-бир экспериментлар ўтказилган [1,2,3,6,19].

Насос агрегатларида кавитация ҳосил бўлиш жараёнида тегишли юзада пуфакчалар пайдо бўла бошлайди ва бундай кичик ўлчамга эга бўлган пуфакчалар миқдорини аниқлашнинг энг самарали усулидан бири сиғимий датчиклардан фойдаланиш ҳисобланади [3,5,6,15,16].

Аммо кавитацияни ўлчашда ҳосил бўладиган сиғим қиймати жуда кичик бўлиб қувур ўлчамига боғлиқ равишда бир неча 10pF дан бир неча 100pF гача бўлиш мумкин. Бундай кичик сиғимни мавжуд бўлган ўлчаш асбобларида ўлчашнинг имкони йўқ. Шунинг учун муаллифлар томонидан замонавий микроконтроллер имкониятларидан фойдаланган ҳолда кичик сиғимларни ўлчаш схемаси ишлаб чиқилган бўлиб интеллектуал ўлчаш ва назорат тизимини ишлаб чиқишда асос бўлмоқда.

Қуйидаги 2-расмда кичик сиғимларни ўлчашнинг юқори рухсат этилган қиймат ва чизикли статик характеристикага эга бўлган датчикнинг структура схемаси келтирилган.

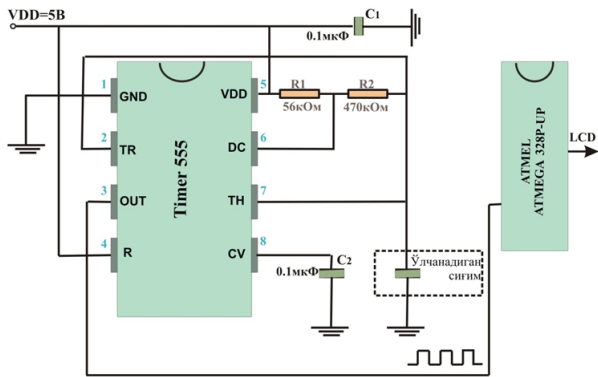


2-расм. Юқори рухсат этилган қиймат ва чизикли характеристикага эга сиғимли датчикнинг структура схемаси

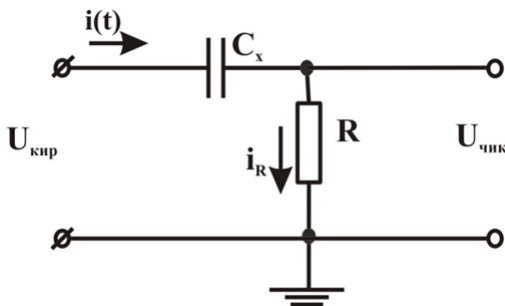
Ушбу структура схемада ўлчанадиган сиғим C1 ва намуна сиғим C2 конденсаторларнинг битта электроди умумий бўлиб унга манбадан бир хил кучланиш берилди. Конденсаторларнинг бошқа электродлари эса ток кучайтиргичларига уланади. Ток кучайтиргичларининг чиқиш сигналлари эса PMOS диодли тўғрилагичларга узатилади ва ўзгармас токка ўзгартирилади. Ўзгармас токка ўзгартиришда PMOS диодининг ҳосил қиладиган шовқини кам бўлганлиги сабабли шундай диоддан фойдаланилади [3,4,17,18].

Қуйидаги 3-расмда эса Timer 555 интеграл микросхемаси ва ATMEGA 328P-UP микроконтроллеридан фойдаланиб ўта кичик сиғимларни ўлчаш схемаси келтирилган.

Ташқи сезгир элементнинг электр схемаси оддий дифференциалловчи схемадан иборат бўлиб унинг схемаси қуйидаги 4-расмда келтирилган.



3-расм. Timer 555 элементи ва микроконтроллердан фойдаланиб ўта кичик сизимни ўлчаш схемаси.

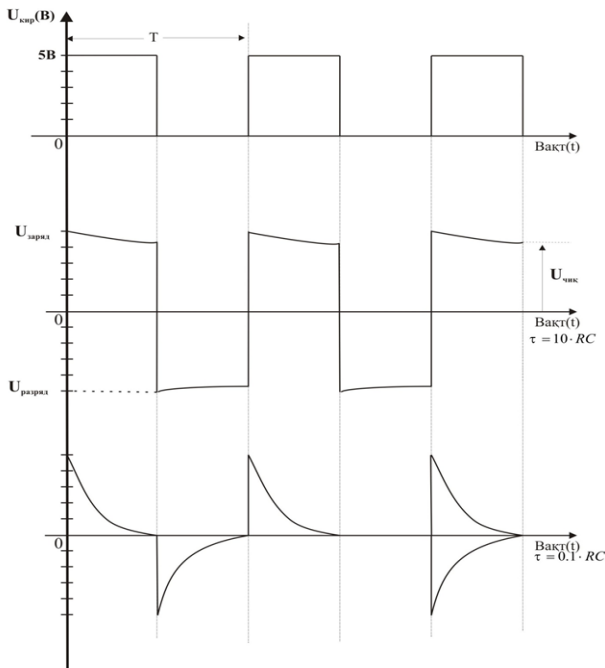


4-расм. RC дифференциалловчи схема

Ушбу дифференциалловчи электр занжирининг чиқиш сигнали кучланиш қуйидагига тенг:

$$U_{чик} = R \cdot i_R = R \cdot C_x \frac{dU_{кир}}{dt} \quad (1)$$

Шунинг учун интеллектуал ўлчаш ва назорат қилиш тизими сезгир элементи чиқиш сигналининг вақт бўйича ўзгариш графиклари қуйидаги 5-расмда келтирилган кўринишда бўлади.



5-расм. RC дифференциалловчи схеманинг чиқиш сигнали

Экспериментал тадқиқотлар ўтказишда дифференциаллаш схемаси тўғри бурчакли импульсли 16МГц частота-ли манбадан қўзғатилди.

Юқорида келтирилган (1) ифодадан маълумки дифференциаллаш схемасининг чиқиш сигнали конденсатор сизими Sx га тўғри пропорционал. Шунинг учун конденсатор сизимини Гаусс қонунига биноан қуйидагича ёзамиз:

$$\epsilon_a \oint \bar{E} \cdot d\bar{S} = \frac{Q}{\epsilon_a \cdot S} \quad (2)$$

бу ерда E - электр майдон кучланганлиги, (В/м), E_a- абсолют электр сингдирувчанлик, S - юза (м²), Q – электр заряд, (Кл).

Ушбу формулада кавитация туфайли ҳаво пуфакчаси пайдо бўлиши қувурдаги сув-ҳаво нисбатини ўзгартиради ва уни инobatга олиш учун биз қуйидагича коэффициент киритамиз:

$$k = \frac{V_h}{V} \quad (3)$$

Ушбу коэффициентни инobatга олган ҳолда сезгир элементнинг сизимини топамиз:

$$C = \frac{\pi \cdot (R + a) \cdot \epsilon_0 \cdot [k \cdot \epsilon_h + \epsilon_s (1 - k)] \cdot l}{d + 2(R + a) \cdot \sin \phi} \quad (4)$$

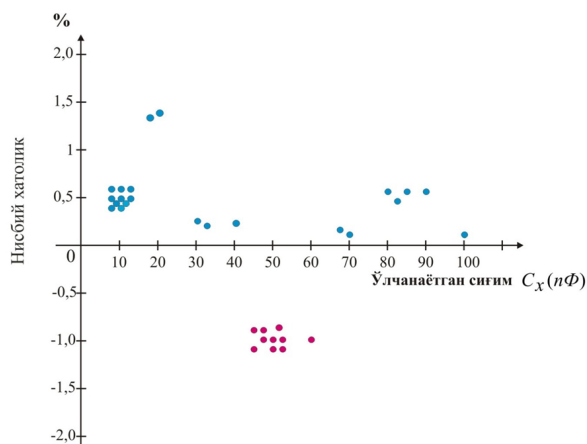
бу ерда R – ярим цилиндрдан иборат конденсатор пластинкаси радиуси (м), - конденсатор пластинкаси узунлиги (м), d- пластиналар орасидаги масофа (м), a - қувур қалинлиги (м), φ- иккита радиус орасидаги бурчак.

Экспериментал тадқиқот натижалари. Графикдан маълумки, насос агрегатида кавитация коэффициенти насос агрегатида кавитация коэффициенти k=10% ни ташкил этса қувват истеъмолнинг 27% га ортиши ёки чиқиш қувурида сув сарфининг 14%га камайиши аниқланди. Диссертация ишида ишлаб чиқилган интеллектуал ўлчаш ва назорат тизимини жорий этишнинг техник – иқтисодий кўрсаткичлари асосланган.



6-расм. Аму-Бухоро машина канали Олот туман бошқармаси тасарруфидаги Жондор-1 кўтарма насос станциясининг 1та насос агрегати қувват истеъмоли графиги

Махсус ясалган кучайтиргичлар ёрдамида насос агрегатининг сўриш қувуридаги сизим ўзгариши тадқиқотлари олиб борилди. Экспериментал тадқиқотлар асосида ушбу ўлчаш усулининг нисбий хатолиги ҳисобланди ва унинг графиги қуйидаги 7 – расмда келтирилган.



7-расм. Сиғимни ўлчашда (C_x) ҳосил бўлган нисбий хатолик графиги.

Графикдан маълумки ўлчанаётган сиғим диапазони 10пФ дан 100пФ гача бўлганда максимум нисбий хатолик 1.5% ни ташкил этди.

Хулоса. Муаллифлар томонидан таклиф этилаётган техник ечим кавитацияни ўлчаш ва назорат қилишнинг интеллектуал тизимини ишлаб чиқишда асос бўлади. Насос агрегатларида ҳосил бўладиган ҳаво пуфакчалар туфайли маълум юзада сув-ҳаво нисбатдан фойдаланиб кавитацияни ўлчаш уни олдиндан ташхислаш имкониятини яратади. Эксперимент натижалари микроконтроллерлар ёрдамида ўта кичик сиғимларни юқори аниқликда яъни нисбий хатолик 1.5% гача бўлган хатоликда ўлчаш имкониятини яратади.

Насос станцияларидаги сўриш қузурида кавитацияни ўлчаш ва назорат қилиш орқали электр энергия истеъмолини 5 -7% гача камайтириш имконияти мавжуд.

| № | Адабиётлар | References |
|---|--|---|
| 1 | Rustam Baratov, Yakub Chulliyev, and Sodiq Ruziyev., Smart system for water level and flow measurement and control in open canals, E3S Web of Conferences 264, 04082 (2021) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404082 , CONMECHYDRO - 2021 | Rustam Baratov, Yakub Chulliyev, and Sodiq Ruziyev., Smart system for water level and flow measurement and control in open canals, E3S Web of Conferences 264, 04082 (2021) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404082 , CONMECHYDRO - 2021 (in English) |
| 2 | Energy and ThermoFluids Engineering, CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, P.O. Box 56, Highett, VIC 3190, Melbourne, Australia | Energy and ThermoFluids Engineering, CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, P.O. Box 56, Highett, VIC 3190, Melbourne, Australia (in English) |
| 3 | Baratov R.J., Djalilov A.U., Chulliyev Y.E. Low Power Smart System Development for Water Flow Measurement and Level Controls in Open Canals, 6(12), (2019) | Baratov R.J., Djalilov A.U., Chulliyev Y.E. Low Power Smart System Development for Water Flow Measurement and Level Controls in Open Canals, 6(12), (2019) (in English) |
| 4 | M.R.Haider, M.R.Mahfouz, S.K.Islam, S.A.Eliza, W.Qu, E.Pritchard. A low-power Capacitance measurement Circuit with High Resolution and High Degree of Linearity, IEEE, Circuits and Systems, Sep. 2008, pp.261-264. | M.R.Haider, M.R.Mahfouz, S.K.Islam, S.A.Eliza, W.Qu, E.Pritchard. A low-power Capacitance measurement Circuit with High Resolution and High Degree of Linearity, IEEE, Circuits and Systems, Sep. 2008, pp.261-264. (in English) |
| 5 | Р.Ж.Баратов., Я.Э.Чўллийев., С.У.Жонқобилов., М.Х.Абдуллаев., Қувурларда суюқлик ва газ босимини назорат қилиш ва ўлчашнинг интеллектуал датчиги учун ЭХМ дастур// № DGU11168/15.04.2021q | R.J.Baratov., Ya.E.Cho'lliyev., S.U.Jonqobilov., M.H.Abdullaev., Kuvurlarda sujuklik va gaz bosimini nazorat kilish va ulchashning intellektual datchigi uchun JeHM dastur [EHM program for the intelligent sensor of control and measurement of liquid and gas pressure in pipes] // No. DGU11168/ 15.04.2021 y (in Uzbek) |
| 6 | Р.Ж.Баратов., Я.Э.Чўллийев., Ф. Муртазаева. Насос агрегатларининг энергия самарадор иш режимини таъминлаш алгоритми// "Ўзбекгидроэнергетика" илмий-техник журнали, 2022*№1 (13) | R. J. Baratov., Ya. E. Cho'lliyev., F. Murtazaeva. Nасos agregatlarining jenergiya samarador ish rezhimini ta'minlash algoritmi [Algorithm for ensuring the energy-efficient operation mode of pumping units] // "Uzbekhydroenergetics" scientific and technical journal, 2022*№1 (13) (in Uzbek) |
| 7 | J. Magnaudet, I. Eames, The motion of high-Reynolds number bubbles in inhomogeneous flows, Annu. Rev. Fluid Mech. 32 (2000) 659–668. | J. Magnaudet, I. Eames, The motion of high-Reynolds number bubbles in inhomogeneous flows, Annu. Rev. Fluid Mech. 32 (2000) 659–668. (in English) |
| 8 | R. Clift, J.R. Grace, M.E. Weber, Bubbles, Drops and Particles, Academic Press, New York, 1978 | R. Clift, J.R. Grace, M.E. Weber, Bubbles, Drops and Particles, Academic Press, New York, 1978 (in English) |
| 9 | W.E. Asher, L.M. Karle, B.J. Higgins, P.J. Farley, I. Leifer, E.C.Manahan, The influence of bubble plumes on air–seawater gas transfer velocities, J. Geophys. Res. 101C (1996) 1207–12041. | W.E. Asher, L.M. Karle, B.J. Higgins, P.J. Farley, I. Leifer, E.C.Manahan, The influence of bubble plumes on air–seawater gas transfer velocities, J. Geophys. Res. 101C (1996) 1207–12041. (in English) |

| | | |
|----|--|---|
| 10 | I. Leifer, R. Patro R, The bubble mechanism for transport of methane from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study, <i>Continental Shelf Res.</i> 22 (16) (2002) 2409– 2428. | I. Leifer, R. Patro R, The bubble mechanism for transport of methane from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study, <i>Continental Shelf Res.</i> 22 (16) (2002) 2409– 2428. (in English) |
| 11 | H. Medwin, N.D. Breitz, Ambient and transient bubble spectral densities in quiescent seas and under spilling breakers, <i>J. Geophys. Res.</i> 94C (1989) 12571–12759. | H. Medwin, N.D. Breitz, Ambient and transient bubble spectral densities in quiescent seas and under spilling breakers, <i>J. Geophys. Res.</i> 94C (1989) 12571–12759. (in English) |
| 12 | R. Manasseh, Y. Yoshida, M. Rudman, Bubble formation processes and bubble acoustic signals, in: <i>Third International Conference on Multiphase Flow</i> , Lyon, France, June 1998, p. 426. | R. Manasseh, Y. Yoshida, M. Rudman, Bubble formation processes and bubble acoustic signals, in: <i>Third International Conference on Multiphase Flow</i> , Lyon, France, June 1998, p. 426. (in English) |
| 13 | M. Wu, M. Gharib, Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water, <i>Phys. Fluids</i> 14 (2002) L49–L52. | M. Wu, M. Gharib, Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water, <i>Phys. Fluids</i> 14 (2002) L49–L52. (in English) |
| 14 | M. Wu, M. Gharib, Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water, <i>Phys. Fluids</i> 14 (2002) L49–L52. | M. Wu, M. Gharib, Experimental studies on the shape and path of small air bubbles rising in clean water, <i>Phys. Fluids</i> 14 (2002) L49–L52. (in English) |
| 15 | Bram Verhaagen, David Fernandez Rivas, 2016 Measuring cavitation and its cleaning effect, <i>Ultrasonics Sonochemistry</i> 29 (2016) pp619-628. | Bram Verhaagen, David Fernandez Rivas, 2016 Measuring cavitation and its cleaning effect, <i>Ultrasonics Sonochemistry</i> 29 (2016) pp619-628. (in English) |
| 16 | M.R.Haider, M.R.Mahfouz, S.K.Islam, S.A.Eliza, W.Qu, E.Pritchard. 2008A low-power Capacitance measurement Circuit with High Resolution and High Degree of Linearity, <i>IEEE, Circuits and Systems</i> , Sep. pp.261-264. | M.R.Haider, M.R.Mahfouz, S.K.Islam, S.A.Eliza, W.Qu, E.Pritchard. 2008A low-power Capacitance measurement Circuit with High Resolution and High Degree of Linearity, <i>IEEE, Circuits and Systems</i> , Sep. pp.261-264. (in English) |
| 17 | I.S.Pearsall. 1966Acoustic detection of cavitation, <i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Conference (MECH '66)</i> , vol.181, 3A, 14. | I.S.Pearsall. 1966Acoustic detection of cavitation, <i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Conference (MECH '66)</i> , vol.181, 3A, 14. (in English) |
| 18 | Y.Wang, H.L.Liu, S.Q.Yuan, D.Liu and J.Wang, 2013Characteristics of cavitation vibration and noise in centrifugal pumps with different vane wrap angles, <i>Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering</i> , vol.31,5,390–400. | Y.Wang, H.L.Liu, S.Q.Yuan, D.Liu and J.Wang, 2013Characteristics of cavitation vibration and noise in centrifugal pumps with different vane wrap angles, <i>Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering</i> , vol.31,5,390–400. (in English) |
| 19 | X. Duan, Y. Wang, and Y. Su, “Features combined classification of cavitation in waterjet pumps,” <i>Journal of Shanghai Jiaotong University</i> , vol. 45, no. 9, pp. 1322–1326, 2011 | X. Duan, Y. Wang, and Y. Su, “Features combined classification of cavitation in waterjet pumps,” <i>Journal of Shanghai Jiaotong University</i> , vol. 45, no. 9, pp. 1322–1326, 2011 |