



Ko'p fazali nasoslarning energiya samaradorligini tahlil qilish

Faxriddin J. Nosirov¹, Ravshan K. Dusmatov^{1,a}, Gulnoza S. Azizova^{1,b}

¹⁾ Texnika fanlari doktori, professor Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; nosirov-0173@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3295-8187>

^{1a)} Doktorant (DSc) Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston dusmatov41@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-6572-8359>

^{1b)} Doktorant (PhD) Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston azizovagulnoza764@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9992-1752>

Dolzarbli: hozirgi vaqtda qattiq sirt bilan o'zaro ta'sir qilishda ko'p fazali suv oqimining muhim xususiyatlarini aks ettiruvchi gidravlik modelni ishlab chiqish sug'orish tizimlarida nasoslarning energiya samaradorligini oshirish usullarini takomillashtirish bo'yicha ustuvor tadqiqotlarga kiritilgan.

Maqsad: ko'p fazali nasoslarning oqim yo'lining gidrodinamik jarayonlarini nazariy va eksperimental tadqiqotlar asosida analitik bog'liqliklarni olish.

Usullar: tadqiqotda matematik modellashirish usullaridan foydalangan holda laboratoriyada olingan ma'lumotlar tahlili qo'llanildi, nasoslarning oqim tezligi va oqim qismining chiqishidagi bosim, tarmoqdan iste'mol qilinadigan quvvat o'lchandi va ko'p fazali nasoslarning turli darajalarida o'lchovlar o'tkazildi. Eksperimental o'lchovlar va nazariy hisob-kitoblarni taqqoslash asosida operatsion xarakteristikalar aniqlandi. Nasos poydevorini himoya qilish uchun himoya moddalarini qo'shishning uchta yondashuvi ko'rib chiqilmoqda.

Natijalar: nasosning oqim yo'lidagi ko'p fazali oqimning xususiyatlarini olish uchun eksperimental modellashirish qo'llanildi, bu ko'p fazali nasosning energiya samaradorligi va ish barqarorligini oshirish uchun rivojlanish yo'nalishini asosladi. Pervanelning kirish joyidan diffuzor chiqishigacha bo'lgan fazalararo kuch taqsimotining xarakteristikalari tahlil qilindi. Ushbu tahlil asosida moslashuvchan siyrak mesh modeli yordamida oqimni optimallashtirish uchun integratsiyalangan platforma ishlab chiqildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, suvni ko'p fazali nasos bilan quyish sharoitida bosimning oshishi va samaradorligi mos ravishda 13,1 kPa va 2,2% ga oshirilishi mumkin.

Kalit so'zlar: ko'p fazali nasos, energiya tizimi, ishlash xususiyatlari, oqim yo'li, interfaza kuchlari, nasos parametrlari.

Анализ энергоэффективности работы многофазных насосов

Фахриддин Ж. Носиров¹, Равшан К. Дусматов^{1,a}, Гульноза С. Азизова^{1,b},

For citation: F.J. Nosirov, R.K. Dusmatov, G.S. Azizova. Energy efficiency analysis of multiphase pumps. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no.3, pp. 166-172.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23220067>

Received: 04.02.2026

Revised: 08.02.2026

Accepted: 17.02.2026

Published: 25.09.2026

Copyright: © Fakhridin J. Nosirov, Ravshan K. Dusmatov, Gulnoza S. Azizova, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

¹⁾ DSc, профессор, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; nosirov-0173@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-3295-8187>

^{1a)} Докторант (DSc) Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; dusmatov41@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-6572-8359>

^{1b)} Докторант (PhD) Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; azizovagulnoza764@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9992-1752>

Актуальность: в настоящее время разработка гидравлической модели, отражающей важные особенности многофазного потока воды в процессе взаимодействия с твердой поверхностью включена в приоритетные исследования по совершенствованию способов повышения энергоэффективности насосов в ирригационных системах.

Цель: получение аналитических зависимостей на базе теоретических и экспериментальных исследований процессов гидродинамики проточной части многофазных насосов.

Методы: в ходе исследования использован анализ данных, полученных в лаборатории методами математического моделирования, измерения расхода насосов и напора на выходе проточной части, потребляемой мощности из сети и измерялись при различных степенях многофазных насосов. По результатам сравнения экспериментальных замеров и теоретических расчетов уточнялись эксплуатационные характеристики. Для защиты фундаментов насосов рассматриваются три подхода по типу добавок защитных веществ.

Результаты: экспериментального моделирования использованы для получения характеристик многофазного потока в проточной части насоса, которые обосновали направление развития улучшения энергоэффективности и стабильности работы многофазного насоса. Проанализированы характеристики распределения межфазных сил от входа рабочего колеса до выхода диффузора. На этой основе создана интегрированная платформа оптимизации режимов на основе адаптивной модели разреженной сетки. Результаты показывают, что в условиях перекачки воды многофазным насосом прирост давления и эффективность может быть увеличен на 13,1 кПа и 2,2%, соответственно.

Ключевые слова: многофазный насос, энергетическая система, рабочие характеристики, проточная часть, межфазные силы, параметры насоса.



Energy efficiency analysis of multiphase pumps

Fakhriddin J. Nosirov¹ Ravshan K. Dusmatov^{1,a}, Gulnoza S. Azizova^{1,b},

¹⁾ Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan, nosirov-0173@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-3295-8187>

^{1a)} DSc student Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan dusmatov41@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-6572-8359>

^{1b)} PhD student Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan, azizovagulnoza764@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9992-1752>

Relevance: currently, the development of a hydraulic model reflecting the important features of multiphase water flow during interaction with a solid surface is included in priority research to improve methods for increasing the energy efficiency of pumps in irrigation systems.

Aim: obtaining analytical dependencies based on theoretical and experimental studies of the hydrodynamic processes of the flow path of multiphase pumps.

Methods: the study used an analysis of data obtained in the laboratory using mathematical modeling methods, measuring pump flow rates and pressure at the outlet of the flow path, power consumption from the network, and measurements at various degrees of multiphase pumps. Based on the comparison of experimental measurements and theoretical calculations, operational characteristics were refined. Three approaches to the addition of protective substances are being considered for protecting pump foundations.

Results: experimental modeling was used to obtain the characteristics of the multiphase flow in the flow path of the pump, which substantiated the direction of development for improving the energy efficiency and operational stability of the multiphase pump. The distribution characteristics of interphase forces from the impeller inlet to the diffuser outlet were analyzed. Based on this analysis, an integrated platform for flow optimization was developed using an adaptive sparse mesh model. The results show that under the conditions of pumping water with a multiphase pump, the pressure gain and efficiency can be increased by 13.1 kPa and 2.2%, respectively.

Keywords: multiphase pump, energy system, performance characteristics, flow path, interphase forces, pump parameters.

1. Введение (Introduction)

В таких отраслях, как сельское и водное хозяйства, перекачиваемые потоки воды фактически состоят из многофазных смесей, содержащих воду, частицы твердой фазы и газы. В последние годы многие ученые проводили исследования методами численного моделирования внутренних характеристик многофазных потоков в лопастных насосах. Совершенствование методик расчета объектов, влияния потерь электроэнергии основаны на определении технических характеристик новых конструкций элементов. Конструкция проточной части горизонтальных центробежных насосов и отсутствие поверхностей трения допускает возможность перекачивания загрязненных жидкостей [1,2].

Большая часть исследований была сосредоточена либо на трёхфазном потоке вода-газ-наносы, либо на двухфазном потоке вода-твердые частицы. В двухфазном потоке используется динамическая декомпозиция для исследования переходных характеристик двухфазного потока в многофазном насосе при изменяющихся объемных долей газа или твёрдых тел, выявляя развитие полосообразных объемов внутри проточной части насоса с ударами струи на входе диффузора и образование газовых карманов в его канале. Вихревые структуры внутри многофазного насоса включают вихрь передней кромки, вихрь разделения, вихрь утечки концевой части и вихрь задней кромки в рабочем колесе и диффузоре [3,4]. Значительные частотные динамические режимы подчеркивают радиальную неоднородность вблизи стороны давления в рабочем колесе и обратный поток вблизи стороны всасывания в диффузоре. Необходимы исследования кавитации в насосах со смешанным потоком, классифицируя ее на первичную и вторичную кавитацию вихревых потоков.

Кроме того с водой смешивают наполнители, связующие вещества и добавки, регулирующие плотность и реологию. Эти параметры изучают закономерности деформации и течения вязких, пластичных жидкостей и твердых сред под действием внешних сил. Толщина принятых стальных элементов увеличивает время до достижения стали теплом. Эти неактивные системы позволяют избежать прямого воздействия источника тепла на основу фундамента насоса за счет теплоизоляции (материалы с низкой теплопроводностью) и удаления воды. Применяемая цементная защита фундамента недорога, проста в применении и устойчива к атмосферным воздействиям.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

В исследованиях авторов основное внимание уделяется многофазному смесительному насосу «газ-жидкость-твердое тело» и используется численное моделирование для анализа его

одноступенчатого блока повышения давления в различных условиях. Результаты показали значительное снижение прироста давления и эффективности в условиях высокого содержания газа и содержания твердой фазы. Рассчитано избыточное давление воздуха в проточной части при эксплуатации насосов [5,6,7]. Для решения этой проблемы в исследовании была создана интегрированная платформа проектирования оптимизации на основе адаптивной модели разреженной сетки. Эта платформа оптимизировала критические насоса с помощью метода адаптивной разреженной сетки и алгоритма MOGA. Результаты показывают, что в условиях воды прирост давления и эффективность могут быть увеличены на 13,1 кПа и 2,2% соответственно. В условиях до 25% газа и 12% твердых наносов прирост давления может достигать 19 кПа, а эффективность может быть увеличена на 4,7%.

Что касается защиты фундаментов насосов рассматриваются три подхода. Первый подход классифицируется по типу добавок защитных веществ, которые механически вводятся в материалы в процессе переработки или производства. Это экономичный и быстрый способ смешивания. Для эффективности требуется высокая концентрация защитного вещества, что может повлиять на совместимость и механические свойства материала [8,9,10]. Второй метод включает модификацию основания для создания огнестойких материалов, что приводит к большей эффективности и большей долговечности даже при относительно низкой концентрации. Однако это требует специфических производственных процессов и может быть неприемлемо для некоторых материалов, таких как гибкие пенопласты, поскольку может привести к изменениям физических свойств (температуры плавления) и механического поведения (прочности на растяжение). Последний подход касается модификации поверхности путем нанесения на поверхность материалов тонких огнестойких покрытий. Они считаются эффективным способом обеспечения противопожарной защиты без влияния на физические и механические свойства материалов. Неорганические вспучивающиеся водорастворимые силикатные покрытия широко использовались благодаря своим характеристикам и низкой стоимости [7]. Однако они имеют некоторые ограничения, связанные с воздействием окружающей среды и старением. Покрытия становятся хрупкими и обладают низкой водостойкостью.

3. Результаты (Results)

Энергетическая эффективность многофазного насоса имеет решающее значение для оценки его комплексных характеристик. Из-за наличия газа энергетическая эффективность многофазного насоса хуже, чем у насоса с однофазным потоком. Содержание газа на входе насоса не является постоянным во время фактической работы и зависит от периодического подсоса воздушной смеси через водоворотные воронки лопастных насосов. Энергетическая эффективность многофазного насоса зависит от очистки стенок и рабочих органов насосов от влияния скопившихся пузырьков. Изменения напора насоса Д12500-24 при водовоздушных фракциях показано на характеристиках (рис. 1,2).

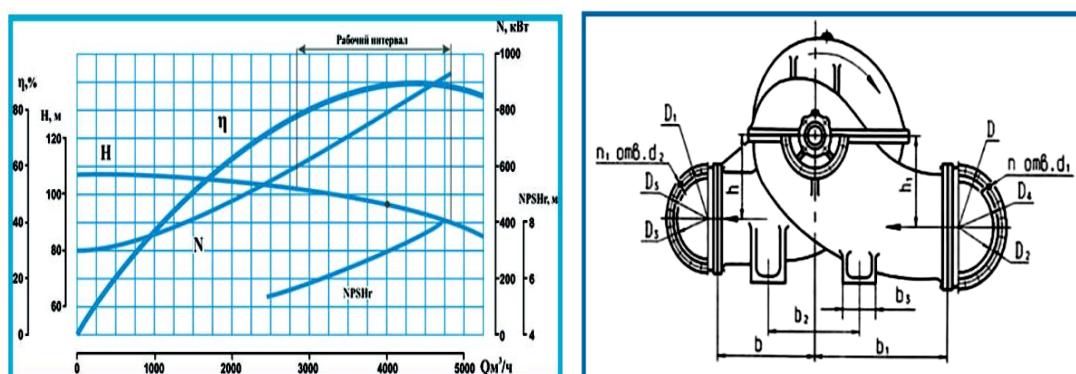


Рис. 1. Характеристика и параметры насоса Д12500-24

Fig. 1. Performance Curve and Parameters of Pump D12500-24

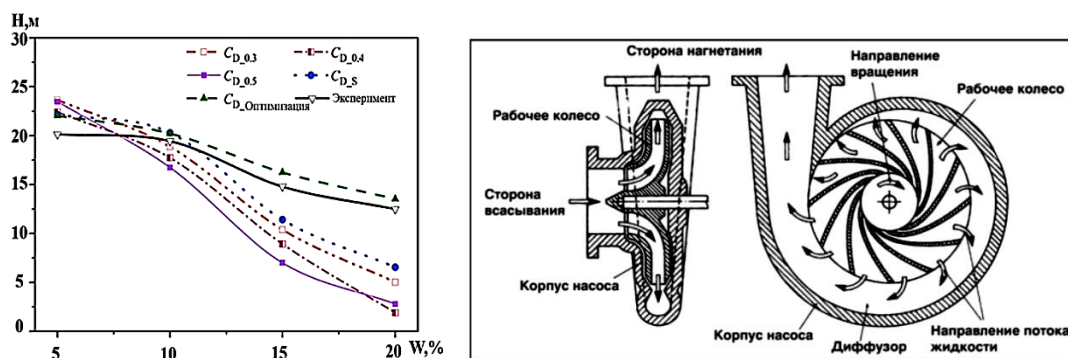


Рис.2 Доли пустотных полостей газа на входе, W

Fig. 2. Gas void fraction at the inlet, W.

На рис. 3 показана расчётная сетка для всего вычислительного процесса, включая впускной и выпускной патрубки, рабочее колесо (РК) и диффузор насоса.

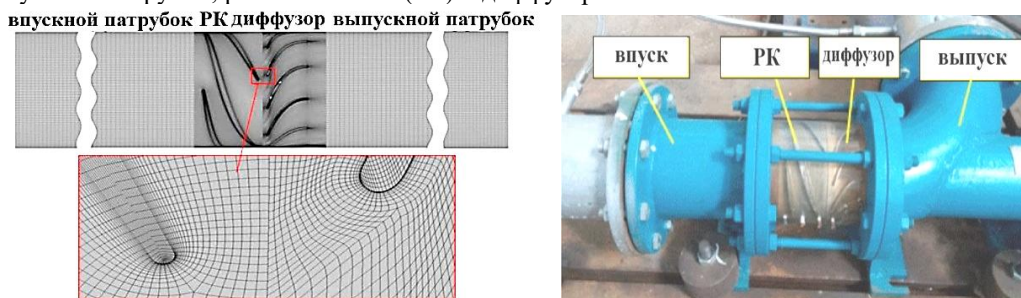


Рис.3. Расчётная сетка для вычислительной области

Fig. 3. Computational mesh for the calculation domain

Были рассчитаны и проанализированы некоторые показатели, используемые для оценки качества сетки РК и диффузорных каналов, такие как угол ортогональности, коэффициент расширения сетки, соотношение сторон. Общий расход и газосодержание на входе для каждой среды устанавливались на входе в вычислительную область, в то время как на выходе задавалось среднее давление. Условие отсутствия скольжения до очистки применялось для всех стенок камеры РК и этот метод накладывался на интерфейсы РК.

Для объёма фракций 5%, 10%, 15% и 20% получены численные результаты с различными коэффициентами сопротивления ($C_{D_0.3}$, $C_{D_0.4}$, $C_{D_0.5}$, C_{D_s} и $C_{D_оптимизированный}$) и экспериментальные результаты представлены на рис.2. Они показывают, что тенденция изменения напоров насоса аналогична при различных постоянных коэффициентах сопротивления.

Однако по мере увеличения объёмов воздушных фракций напоры насоса с оптимизированными C_D хорошо согласуются с экспериментальными результатами по сравнению с другими коэффициентами ($C_{D_0.3-0.5}$ и C_{D_s}), особенно для больших условий объёма фракций (15%-20%).

Вышеприведенный анализ показал, что оптимизированная модель сопротивления может точно предсказывать внешние характеристики двухфазных насосов газ-жидкость и это способность модели значительно улучшается в условиях больших объёмов фракций [11,12,13].

Напор насоса H_t за время t экспериментальных исследований включает β – массовая доля газа; H_l и H_g – напоры газовой и жидкой фаз по уравнениям:

$$H_t = (1 - \beta)H_l + \beta H_g; \quad (1)$$

$$H_l = \frac{P_0 - P_i}{\rho_l g} + \frac{(v_0^2 - v_i^2)_l}{2g}; \quad (2)$$

$$H_g = \frac{P_0 - P_i}{\rho_g g} + \frac{(v_0^2 - v_i^2)_g}{2g}. \quad (3)$$

В экспериментах точность манометров, установленных на входе и выходе насоса, составляла $\pm 0,15-0,25\%$ скорости воздуха и воды, которые рассчитываются на основе расходов по измерениям ротаметром и турбинным расходомером соответственно с точностью $\pm 0,5\%$. Следовательно, погрешность измерения напора насоса $\Delta_{\sigma H}$ можно определить равной 0,8% по следующему выражению:

$$\Delta_{\sigma H} = \sqrt{E_{p_i}^2 + E_{p_0}^2 + E_{v_i}^2 + E_{v_0}^2}; \quad (4)$$

где E_{p_i} и E_{p_0} – погрешности измерения манометров; E_{v_i} и E_{v_0} – погрешности измерения расходомеров.



Исследование показало, что максимальная скорость распространения переднего значения образования воздушного объема может достигать 0,8 скорости потока с уменьшением напора всасывания. Исследование включает эмпирические функции, описывающие взаимосвязь между проектируемой площадью этого объема. Пузырьки газа захватываются около язычка улитки и большинство пузырьков собирается в центре РК, образуя полость, в результате чего поток жидкости в конечном итоге останавливается, что приводит к газовому запиранию. В двухфазном потоке твердого тела и жидкости применяли двухжидкостную модель смеси для изучения влияния объемной доли и размера частиц на энергетические характеристики насосов. Результаты, полученные с помощью двухжидкостной модели, были аналогичны экспериментальным результатам. Результаты моделирования показали, что с увеличением размера и концентрации частиц напор и эффективность снижаются. Анализ изменений размера частиц и объемной доли осадка на всю характеристику канала потока показал, что распределение твердого объема частиц с разными размерами в РК было одинаковым. Использовалась двухжидкостная модель для моделирования характеристик двухфазного потока твердое тело-жидкость частиц песка в центробежном насосе, и результаты показали, что частицы в канале РК были в основном сосредоточены на выходе РК и на стороне всасывания лопасти. Напор и эффективность насоса увеличиваются, а затем уменьшаются с увеличением концентрации и диаметра частиц. Изучение трехфазного потока газ-жидкость-твердое тело включает взаимодействие между газовой, жидкой и твердой фазами, что делает характеристики потока намного более сложными по сравнению с однофазным или двухфазным потоком [14,15]. Эта сложность затрудняет прогнозирование и управление моделями потока, что представляет значительные проблемы при проектировании и оптимизации насоса.

4. Заключение (Conclusion)

1. Экспериментальное моделирование является способом получения характеристик многофазного потока в проточной части насоса. Стратегия управления потоком газа и воды является направлением развития для улучшения энергоэффективности и стабильности работы многофазного насоса.
2. Проточные части насоса подвержены протечкам из-за старения материалов, что приводит к потере воды и давления. Клапаны для снижения давления в области применения могут приводить к большим потерям энергии. Технические проблемы, связанные с разработкой стратегии управления, более приближенной к реальным условиям работы основаны на проведении экспериментальных работ.
3. При работе многофазного насоса сила сопротивления максимальна в области РК и выпускного патрубка. Анализы увеличения диаметра и скорости вращения пузырька показали, что больший размер пузырька сопровождается меньшим прогнозируемым сопротивлением, но большей массой. Выявлены соотношения между межфазными силами, разностью скоростей потока газа и жидкости, и объемной долей газа. Проанализированы характеристики распределения межфазных сил от входа РК до выхода диффузора. По сравнению с традиционным численным методом, который учитывает только силу сопротивления, относительные погрешности прогнозируемого повышения давления и эффективности могут быть уменьшены на 5% и 3% соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suh J.-W., Kim J.-H., Choi Y.-S., Joo W.-G., Lee K.-Y. A study on numerical optimization and performance verification of multiphase pump for offshore plant // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: Journal of Power and Energy*. – 2017. – Vol. 231. – P. 382–397.
2. Носиров Ф.Ж., Гловацкий О.Я., Дусматов Р.К., Азизова Г.С. Инновационные методы повышения энергоэффективности насосной установки // *Проблемы энерго- и ресурсосбережения*. – 2024. – № 86. – С. 158–164.
3. Verde W.M., Biazussi J.L., Sassim N.A., Bannwart A.C. Experimental study of gas-liquid two-phase flow patterns within centrifugal pumps impellers // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2017. – Vol. 85. – P. 37–51.
4. Shi Y., Zhu H., Zhang J., Zhang J., Zhao J. Experiment and numerical study of a new generation three-stage multiphase pump // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 169. – P. 471–484.
5. Liu M., Tan L., Cao S. Method of dynamic mode decomposition and reconstruction with application to a three-stage multiphase pump // *Energy*. – 2020. – Vol. 208. – Article 118343.
6. Гловацкий О.Я., Носиров Ф.Ж., Дусматов Р.К., Рашидов Ж.И., Азизова Г.С. Повышение энергоэффективности эксплуатации насосных установок ирригационных систем // *Development*



of Specialized Higher Education and Science in the Conditions of Globalization: Problems and Opportunities: материалы междунар. науч. конф. – Ташкент, 2025. – С. 172–179.

7. Kuvatov U.J., Doniyorov T.O., Rakhimov M.O. Analysis of the state of energy supply and operating modes of pumping stations // *Eurasian Journal of Academic Research*. – 2025. – Vol. 5, No. 4. – P. 99–103. – <https://doi.org/10.5281/zenodo.15241452>

8. Rao G.R.N., Sharma K.V. Energy conservation opportunities in municipal water supply systems: a case study // *Journal of Resources, Energy and Development*. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 35–48. – <https://doi.org/10.3233/RED-120003>

9. Pineda H. et al. Phase distribution analysis in an Electrical Submersible Pump (ESP) inlet handling water–air two-phase flow using CFD // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 139. – P. 49–61.

10. Yang X., Hu C., Hu Y., Qu Z. Theoretical and experimental study of a synchronal rotary multiphase pump at very high inlet gas volume fractions // *Applied Thermal Engineering*. – 2017. – Vol. 110. – P. 710–719.

11. Neumann M., Schäfer T., Bieberle A., Hampel U. An experimental study on the gas entrainment in horizontally and vertically installed centrifugal pumps // *Journal of Fluids Engineering*. – 2016. – Vol. 138. – Article 091301.

12. Parikh T., Mansour M., Thévenin D. Investigations on the effect of tip clearance gap and inducer on the transport of air-water two-phase flow by centrifugal pumps // *Chemical Engineering Science*. – 2020. – Vol. 218. – Article 115554.

13. Уришев Б., Носиров Ф.Ж. Вопросы использования возобновляемых источников энергии в системе энергоснабжения насосных станций Каршинского магистрального канала // *Проблемы энерго- и ресурсосбережения*. – 2024. – № 85 (спец. выпуск). – С. 351–358.

14. Nosirov F. Purification of the settling chamber of a pumping station from silt sediments using a slurry pump // *Texas Journal of Engineering and Technology*. – 2024. – March. – ISSN 2770-4491.

15. Носиров Ф.Ж., Гловацкий О.Я., Уралов Ж.А., Рахимов Ш.И., Ходжакулова Н.Х. // *Mining Machines and Technology*. – Ташкент: ТашГТУ, 2024. – № 1. – С. 243–446.

REFERENCES

1. Suh J.-W., Kim J.-H., Choi Y.-S., Joo W.-G., Lee K.-Y. A study on numerical optimization and performance verification of multiphase pump for offshore plant // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: Journal of Power and Energy*. – 2017. – Vol. 231. – P. 382–397.

2. Nosirov F.Zh., Glovatskiy O.Ya., Dusmatov R.K., Azizova G.S. Innovative methods for improving the energy efficiency of pumping units // *Problems of Energy and Resource Saving*. – 2024. – No. 86. – P. 158–164.

3. Verde W.M., Biazussi J.L., Sassim N.A., Bannwart A.C. Experimental study of gas-liquid two-phase flow patterns within centrifugal pump impellers // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2017. – Vol. 85. – P. 37–51.

4. Shi Y., Zhu H., Zhang J., Zhang J., Zhao J. Experiment and numerical study of a new generation three-stage multiphase pump // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 169. – P. 471–484.

5. Liu M., Tan L., Cao S. Method of dynamic mode decomposition and reconstruction with application to a three-stage multiphase pump // *Energy*. – 2020. – Vol. 208. – Article 118343.

6. Glovatskiy O.Ya., Nosirov F.Zh., Dusmatov R.K., Rashidov Zh.I., Azizova G.S. Improving the energy efficiency of operation of pumping units in irrigation systems // *Development of Specialized Higher Education and Science in the Conditions of Globalization: Problems and Opportunities: Proc. Int. Sci. Conf.* – Tashkent, 2025. – P. 172–179.

7. Kuvatov U.J., Doniyorov T.O., Rakhimov M.O. Analysis of the state of energy supply and operating modes of pumping stations // *Eurasian Journal of Academic Research*. – 2025. – Vol. 5, No. 4. – P. 99–103. – <https://doi.org/10.5281/zenodo.15241452>.

8. Rao G.R.N., Sharma K.V. Energy conservation opportunities in municipal water supply systems: a case study // *Journal of Resources, Energy and Development*. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 35–48. – <https://doi.org/10.3233/RED-120003>.

9. Pineda H. et al. Phase distribution analysis in an electrical submersible pump (ESP) inlet handling water–air two-phase flow using CFD // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 139. – P. 49–61.

10. Yang X., Hu C., Hu Y., Qu Z. Theoretical and experimental study of a synchronal rotary multiphase pump at very high inlet gas volume fractions // *Applied Thermal Engineering*. – 2017. – Vol. 110. – P. 710–719.

11. Neumann M., Schäfer T., Bieberle A., Hampel U. An experimental study on gas entrainment in horizontally and vertically installed centrifugal pumps // *Journal of Fluids Engineering*. – 2016. – Vol. 138. – Article 091301.
12. Parikh T., Mansour M., Thévenin D. Investigations on the effect of tip clearance gap and inducer on the transport of air–water two-phase flow by centrifugal pumps // *Chemical Engineering Science*. – 2020. – Vol. 218. – Article 115554.
13. Urishev B., Nosirov F.Zh. Issues of using renewable energy sources in the energy supply system of pumping stations of the Karshi main canal // *Problems of Energy and Resource Saving*. – 2024. – No. 85 (Special issue). – P. 351–358.
14. Nosirov F. Purification of the settling chamber of a pumping station from silt sediments using a slurry pump // *Texas Journal of Engineering and Technology*. – 2024. – March. – ISSN 2770-4491.
15. Nosirov F.Zh., Glovatskiy O.Ya., Uralov Zh.A., Rakhimov Sh.I., Khodzhakulova N.Kh. // *Mining Machines and Technology*. – Tashkent: Tashkent State Technical University, 2024. – No. 1. – P. 243–446.