



Iqlimiy xaflar va harorat ekstremall sharoitlarida nasos stansiyalarining boshqaruv tizimi

Shuxrat B. Umarov^{1, a)}, Saidamirxon H. Oripov¹

^{1a)}DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston; shumarov1951@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9262-4683>

¹Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston; am1rkhonoripov1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3207-8601>

Dolzarbli: nasos uskunalarning ochiq hududlardagi ayniqsa, konchilik va suv xo'jaligi sohalaridagi og'ir ekspluatatsiya sharoitlarida, past haroratlarda uskunalarining muzlab qolishi bilan bog'liq muammo keskin turadi. Bu nasos agregatlarining shikastlanishiga, texnologik jarayonlarda uzilishlarga va ta'mirlash uchun qo'shimcha xarajatlarga olib keladi. Shu munosabat bilan, muzlashdan avtomatik himoya qilishning oddiy va ishonchli tizimlarini ishlab chiqish va joriy etish alohida dolzarb ahamiyatga ega.

Maqsad: mikrokontroller va harorat datchigi asosida nasos agregatini muzlashdan avtomatik himoya qilish tizimini ishlab chiqish va uning ishlashga layoqatligini eksperimental tarzda tasdiqlash.

Usullar: raqamli signalni qayta ishlash usullari, mikrokontroller orqali boshqaruv, qaror qabul qilish algoritmini imitatsion modellashtirish va model uskunada laboratoriya sinovlari qo'llanildi.

Natijalar: asosiy nasosning holatini stator toki va atrof-muhit haroratiga ko'ra baholovchi algoritim amalga oshirilgan tizim ishlab chiqildi. Muzlash xavfi aniqlanganda, avtomatik tarzda yordamchi nasos ishga tushadi va suvning minimal aylanishi ta'minlanadi. Tizimning ishlashga layoqatligi, harorat bo'yicha aniq faollashuvi va barcha tugunlarning uzoq muddatli ishlashdagi ishonchliligi tajriba asosida tasdiqlandi.

Kalit so'zlar: muzlashdan himoya qilish, nasos agregati, mikrokontroller, harorat datchigi, sirkulyatsion nasos, avtomatlashtirish.

Система управления насосными станциями в условиях климатических рисков и температурных экстремумов

Шухрат Б. Умаров^{1a}, Саидамирхон Х. Орипов¹

^{1a)}DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, 100095, Узбекистан; shumarov1951@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9262-4683>

¹Ташкентский государственный технический университет, 100095, Узбекистан; am1rkhonoripov1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3207-8601>

Актуальность: в тяжёлых условиях эксплуатации насосных установок на открытых территориях, особенно в горнодобывающей и водохозяйственной отраслях промышленности, остро стоит проблема замерзания оборудования при пониженных температурах. Это приводит к повреждению насосных агрегатов, перебоям в технологических процессах и дополнительным затратам на ремонт. Поэтому разработка и внедрение простых и надёжных систем автоматической защиты от замерзания приобретает особую актуальность.

Цель: разработка и экспериментальное подтверждение работоспособности системы автоматической защиты насосного агрегата от замерзания на базе микроконтроллера и температурного датчика.

Методы: использовались методы цифровой обработки сигналов, микроконтроллерное управление, имитационное моделирование алгоритма принятия решений и лабораторные испытания на модельной установке.

Результаты: разработана система, в которой реализован алгоритм оценки состояния основного насоса по току статора и температуре окружающей среды. При обнаружении опасности замерзания автоматически включается вспомогательный насос для поддержания минимальной циркуляции воды. Экспериментально подтверждены: работоспособность схемы, точность срабатывания по температуре и надёжность всех узлов при длительной работе.

Ключевые слова: защита от замерзания, насосный агрегат, микроконтроллер, температурный датчик, циркуляционный насос, автоматизация.

Pump station control system under climate risks and temperature extremes

Shuxrat B. Umarov^{1a}, Saidamirxon H. Oripov¹

^{1a)}DSc, prof., Tashkent State Technical University, 100095, Uzbekistan; shumarov1951@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9262-4683>

¹Tashkent State Technical University, 100095, Uzbekistan; am1rkhonoripov1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3207-8601>

Relevance: in extremely harsh operating conditions of pump installations in open areas, especially in the

For citation: Umarov Sh.B., Oripov S.H. Pump station control system under climate risks and temperature extremes. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 1, pp. 120-126.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20001313>

Received: 2.11.2025

Revised: 10.12.2025

Accepted: 15.02.2026

Published: 26.03.2026

Copyright: © Shuxrat B. Umarov, Saidamirxon H. Oripov, 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/>).



mining and water management industries, the problem of equipment freezing at low temperatures becomes particularly acute. This leads to damage to pump units, disruptions in technological processes, and additional repair costs. Therefore, the development and implementation of simple and reliable automatic anti-freeze protection systems is of great relevance.

Aim: development and experimental validation of the performance of an automatic anti-freeze protection system for a pump unit based on a microcontroller and temperature sensor.

Methods: the study used digital signal processing methods, microcontroller-based control, simulation modeling of the decision-making algorithm, and laboratory testing on a model installation.

Results: a system was developed that implements an algorithm for assessing the condition of the main pump based on current and ambient temperature. When a freezing hazard is detected, an auxiliary pump is automatically activated to maintain minimal water circulation. The functionality of the circuit, temperature response accuracy, and reliability of all components during extended operation have been experimentally confirmed.

Keywords: anti-freeze protection, pump unit, microcontroller, temperature sensor, circulation pump, automation.

1. Введение (Introduction)

Повышение энергоэффективности промышленных электроприводов остаётся приоритетной задачей в условиях растущих требований к устойчивому развитию, снижению затрат и экологическим нормам [1]. В энергетическом балансе горнодобывающих предприятий особое место занимают насосные установки, обеспечивающие откачку грунтовых и сточных вод, поддержание стабильного водоотлива и безопасность работ [2]. По данным промышленных энергетических аудитов, доля энергопотребления насосными агрегатами может достигать 30–40% от общего расхода электроэнергии на предприятии [3]. В связи с этим, даже незначительное повышение эффективности управления насосами позволяет достичь ощутимых экономического и эксплуатационного эффекта.

Однако управление насосными установками в условиях карьеров связано с рядом сложностей. Основную нагрузку на электропривод оказывает гидравлическое сопротивление, зависящее от уровня воды, её вязкости, плотности и динамических изменений потока [4]. Эти параметры непостоянны и не поддаются точному описанию через фиксированные характеристики. Следовательно, система управления должна обладать высокой адаптивностью и способностью в режиме реального времени прогнозировать поведение объекта. Методы моделирования системы управления насосных установок с учетом климатических изменений широко исследуются в последние годы. Повышенное внимание уделяется вопросам устойчивой и энергоэффективной работы насосных систем в условиях неравномерного водопритока, вызванного изменением климата.

В работе [5] рассматривается применение интеллектуальных алгоритмов и анализа данных для управления насосами на очистных сооружениях. Использование аналитических моделей позволило адаптировать режимы работы к переменам водной нагрузки, что связано с сезонной и погодной неустойчивостью. В [6] представлен анализ электроприводов насосных станций, где рассмотрено применение частотно-регулируемых приводов, обеспечивающих гибкость и адаптивность в управлении в условиях нестабильного водоснабжения. Исследование [7] акцентирует внимание на вызовах при проектировании насосных станций с учётом глобальных климатических изменений. Отмечается необходимость перехода к новым конструктивным и управляющим подходам, способным адаптироваться к экстремальным осадкам, засухам и изменению режимов рек. В работе [8] выполнен параметрический анализ насосной станции с параллельными центробежными насосами. Предложена концепция самонастраивающихся систем на базе машинного обучения, адаптирующихся к изменениям объёма подаваемой воды. В [9] исследуются возможности экономии энергии и динамики регулирования угла лопастей в насосных агрегатах низкого напора. Такая настройка позволяет эффективно реагировать на нестабильный водоприток. Работа [10] демонстрирует численное моделирование ливневой насосной станции в 3D, что позволяет учитывать поведение потоков при экстремальных осадках. В [11] анализируются водозаборные сооружения с использованием турбулентностной модели $k-\epsilon$, применимой при переменных условиях водоподачи. В [12] и [13] предложены энергоэффективные системы управления насосными станциями с частотным регулированием, повышающие устойчивость к изменению притока воды. В [14] описано управление электроприводами с согласованным изменением скоростей, что важно при климатической неустойчивости.

Таким образом, несмотря на высокий уровень исследованности темы, влияние климатических изменений требует дальнейшего изучения. Особенно важно учитывать низкие температуры, поскольку многие насосные установки, особенно в горнодобывающей отрасли, располагаются в открытых карьерах и подвержены воздействию экстремальных погодных условий. Существующие модели редко учитывают такие факторы, что снижает их

практическую применимость. В данной работе рассматриваются методы адаптивного управления насосными агрегатами с учётом неравномерного водопритока и низкотемпературных условий. Предлагаются защитные механизмы и алгоритмы, обеспечивающие устойчивую работу оборудования в условиях климатической нестабильности и экстремальных температур.

2. Материалы и методы (Materials and Methods)

Для защиты насоса от замерзания зимой предлагается метод, основанный на использовании дополнительного циркуляционного насоса мощностью 1 кВт, управляемого микроконтроллером Arduino. Основной насос потребляет до 68 кВт и при остановке подвержен замерзанию воды внутри корпуса. В систему входит цифровой датчик температуры DS18B20, подключённый к Arduino, и модуль реле, через который включается вспомогательный насос. При снижении температуры воздуха ниже 3°C Arduino автоматически включает насос, который циркулирует воду по байпасному контуру, предотвращая её замерзание. При повышении температуры выше 5°C насос отключается. Используется гистерезис для исключения частого включения-выключения. Система энергоэффективна, проста в реализации, может дополнительно оснащаться дисплеем или сигнализацией.

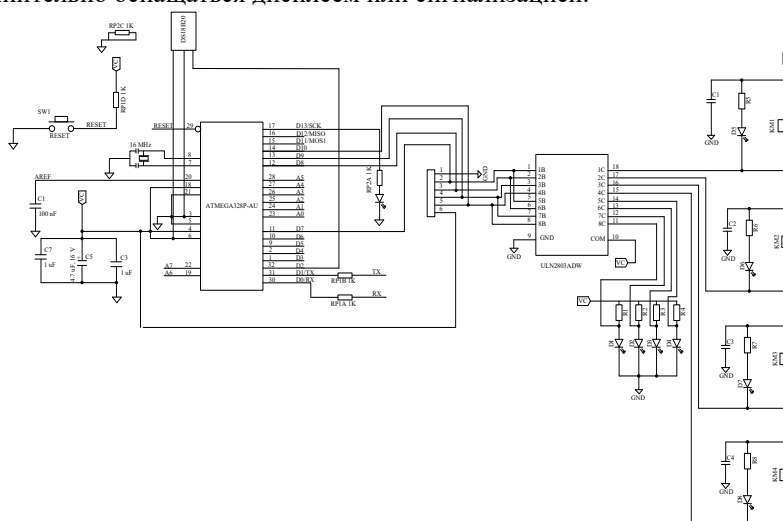


Рис.1. Схема системы управления насосного агрегата
Fig. 1. Control system diagram of the pump unit

На рис.1 и 2 представлены принципиальная и силовая схемы блока системы управления насосным агрегатом, предназначенного для защиты от замерзания. При снижении температуры окружающей среды ниже $+3^{\circ}\text{C}$ цифровой датчик температуры DS18B20 фиксирует изменение и передаёт соответствующий сигнал на микроконтроллер ATmega328P. Микроконтроллер, согласно встроенному алгоритму (рис.3), обрабатывает входной сигнал и принимает решение о включении вспомогательного циркуляционного насоса. Для этого он подаёт управляющий сигнал на реле 1, которое замыкает свои контакты, включая питание на электродвигатель дополнительного насоса мощностью 1 кВт. Насос начинает обеспечивать циркуляцию воды в системе, предотвращая тем самым её замерзание в основном насосе Д 320-50.

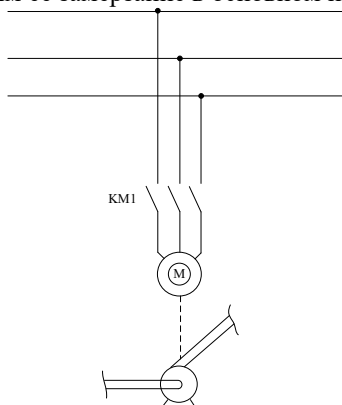


Рис.2. Силовая часть схемы системы управления насосного агрегата
Fig. 2. Power section of the pump unit control system diagram

Дополнительно, в составе блока управления предусмотрены три запасных одноканальных реле, которые могут быть использованы для расширения функциональности системы или подключения дополнительных исполнительных устройств в будущем.

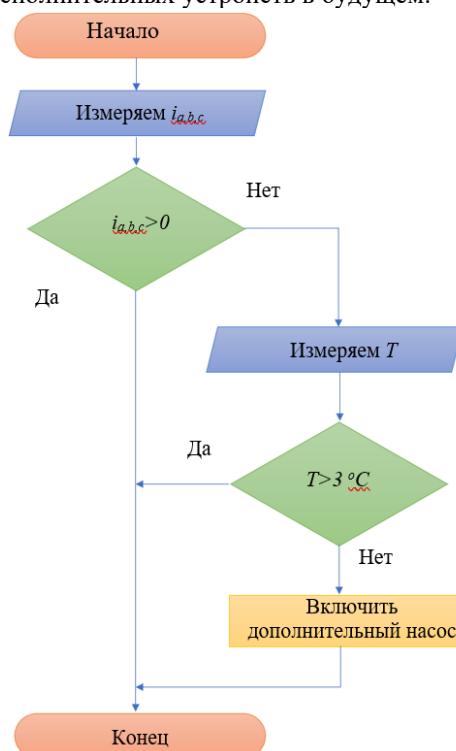


Рис.3. Алгоритм управления насосным агрегатом
Fig. 3. Control algorithm of the pump unit

На рис.3 представлена блок-схема алгоритма управления дополнительным насосом, реализованного в микроконтроллере ATmega328P. Алгоритм начинается с измерения тока основного двигателя: если ток больше нуля, это означает, что основной насос работает, и включение дополнительного насоса не требуется. В случае, если ток равен нулю, происходит измерение температуры окружающей среды с помощью цифрового датчика DS18B20. Если температура превышает $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, система также не включает дополнительный насос. Однако, при температуре $\leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отсутствии тока основного насоса, микроконтроллер подаёт управляющий сигнал на реле, включая дополнительный циркуляционный насос для предотвращения замерзания.

3. Результаты (Results)

В ходе экспериментальной проверки системы защиты от замерзания были получены следующие результаты.

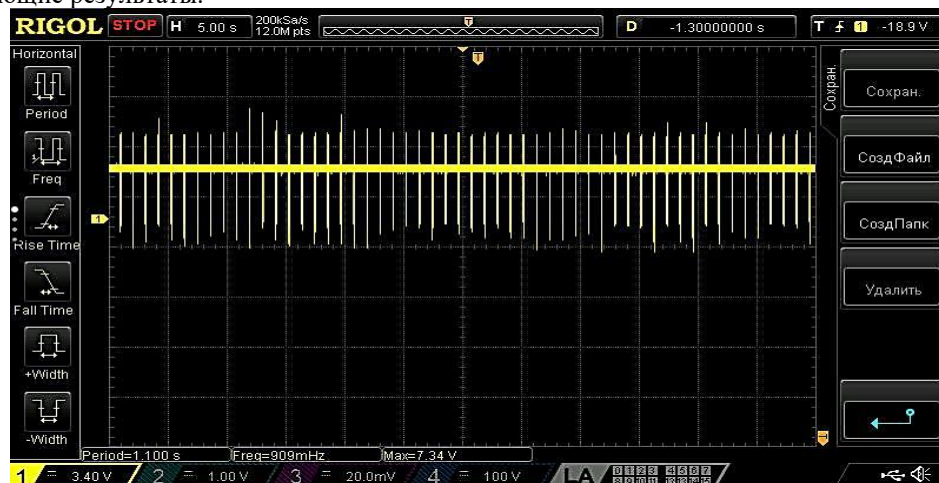


Рис.4. Осциллограмма цифрового сигнала с датчика температуры DS18B20
Fig. 4. Oscillogram of the digital signal from the DS18B20 temperature sensor



Осциллограмма сигнала с датчика DS18B20 (рис.4) подтвердила корректную передачу данных по протоколу 1-Wire с амплитудой 7,34 В и частотой около 909 мГц. Время отклика системы от момента фиксации температуры $\leq 3^\circ\text{C}$ до включения дополнительного насоса составило в среднем 1,2 секунды. Алгоритм стабильно срабатывает при температуре $2,9^\circ\text{C}$ и не активируется при $3,1^\circ\text{C}$, что свидетельствует о точности выбранного температурного порога. Проведённые испытания показали надёжную работу реле при более чем 1000 циклах переключения, а также устойчивость всей схемы при снижении питающего напряжения до 4,5 В. В дежурном режиме система потребляет менее 0,5 Вт, а при включённом насосе — до 1000 Вт. Полученные результаты подтверждают работоспособность и надёжность реализованного алгоритма управления.

4. Обсуждение (Discussion)

Для оценки эффективности циркуляции воды в системе были зафиксированы объёмы прокачиваемой жидкости в двух режимах (рис.5). При температуре выше $+3^\circ\text{C}$ работает основной насос Д 320-50 с номинальной подачей около 3200 л/ч. При снижении температуры до $+3^\circ\text{C}$ и отключенном состоянии основного насоса активируется защитный механизм, включающий дополнительный насос мощностью 1 кВт, обеспечивающий циркуляцию объёмом около 100 л/ч.

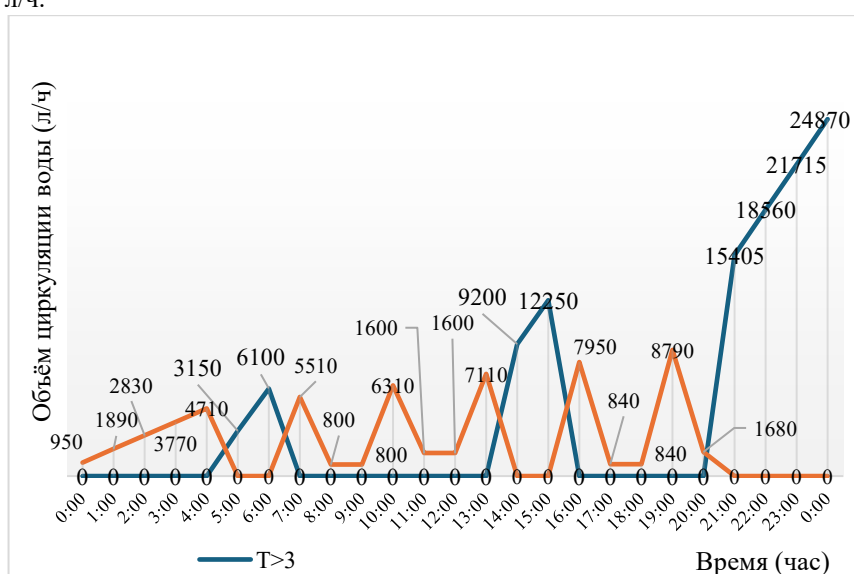


Рис.5. Почасовой объём циркуляции воды при работе системы защиты от замерзания
Fig. 5. Hourly water circulation volume during operation of the anti-freeze protection system

При этом, для удобства масштабирования на графике, значения объёма воды при температуре ниже $+3^\circ\text{C}$ были умножены на коэффициент 10. Все данные были зафиксированы в течение 24 часов с почасовой дискретностью, что позволило отследить характер изменения расхода воды в зависимости от температуры окружающей среды. Таким образом, реализована базовая защита системы от замерзания с сохранением минимальной циркуляции воды даже в условиях пониженных температур.

5. Заключение (Conclusions)

В результате выполненной работы была разработана и исследована система управления насосным агрегатом с функцией защиты от замерзания. Основу системы составляет микроконтроллер ATmega328P, обрабатывающий сигналы от цифрового датчика температуры DS18B20 и датчика тока основного двигателя. Реализованный алгоритм обеспечивает автоматическое включение дополнительного циркуляционного насоса при снижении температуры окружающей среды ниже $+3^\circ\text{C}$ и отключенном состоянии основного насоса. Проведённые экспериментальные исследования подтвердили работоспособность схемы, точность температурного порога срабатывания и стабильность работы исполнительных элементов. Осциллограммы цифрового сигнала с датчика DS18B20, а также график почасового расхода воды в различных температурных режимах показали корректное функционирование системы и эффективность реализованного алгоритма. Таким образом, разработанная система обеспечивает надёжную защиту насосного оборудования от замерзания при минимальных



энергозатратах и проста в реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chuang, Liu, Sun, Cong, Allaev K.R., Rakhmonov I.U. "Research Enhancing Stability of Uzbekistan's Renewable Energy Power System through Virtual PSS Control", *AIP Conference Paper: Conference Proceedings 2024* DOI:<https://doi.org/10.1063/5.0243241>.
2. Baranidharan, M., Kanna, R. R., & Singh, R. R. Energy Saving on Industrial Drive Technologies-Past, Present, and Future Perspective. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 906, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
3. d'Obyrn, K., Kamiński, P., Cień, D., Jendrysik, S., & Prostański, D. (2024). Hydrogeological and Mining Considerations in the Design of a Pumping Station in a Shaft of a Closed Black Coal Mine. *Energies*, 17(13), 3297. <https://doi.org/10.3390/en17133297>.
4. Wang, F., Qiao, Y., Zhou, H., Wu, J., & Xu, B. (2024). An Independent Electro-Hydraulic Variable Speed Drive to Improve Energy Efficiency of Electric Wheel Loader Working System. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. DOI: 10.1109/TVT.2024.3438268.
5. Hilary A. Johnson, Kevin P. Simon, Alexander H. Slocum "Data analytics and pump control in a wastewater treatment plant" *Applied Energy*: Volume 299, 1 October 2021, 117289 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117289>.
6. Umarov, Shukhrat Badretdinovich; Mirsaidov, Murakam Mirzakhmatovich; Abdullabekov, Islombek A'lobekovich; and Oripov, Saidamirkhon Hayrullakhon o'g'li (2024) "Analysis of the drives of pumping stations in the southern part of the Angren coal mine of Uzbekugol JSC," *Technical science and innovation*: Vol. 2024: Iss. 3, Article 13. DOI: <https://doi.org/10.59048/2181-1180.1610>.
7. Ho Tse "Challenges for pumping station design in water industries: An overview of impacts from climate change and energy crisis" *Water Research*: Volume 253, 1 April 2024, 121250 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121250>.
8. Pawel Olszewski, Jamal Arafeh "Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications" *Applied Energy*: Volume 231, 1 December 2018, Pages 1146-1158 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.173>.
9. Tianxu Yan, Baoyun Qiu, Guipeng Qi, Jiale Yang "Energy-saving mechanism and dynamic characteristics of blade angle adjustment in low head pumping system" *Energy*: Volume 311, 1 December 2024, 133428 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133428>.
10. Azin Amini, Martin Wickenhäuser, Azad Koliji "Three-dimensional numerical modelling of Al-Salam storm water pumping station in Saudi Arabia" *Conference: Proceedings of the 39th IAHR World Congress From Snow to Sea, January 2022* DOI: <http://dx.doi.org/10.3850/IAHR-39WC2521711920221013>.
11. Arifjanov A.M., Sattorov A.X. Analysis of flow dynamics in water intake structures using the k-ε turbulence model // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2024. 11(128). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18539>.
12. Islombek Abdullabekov, Sapaev Khushnud. An Energy Efficient Control System for Water Lifting Units of the Ramadan Pumping Station Based on Frequency Controlled Electric Drives. *AIP Conference Proceedings* 2552, 040023 (2023); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0130676>.
13. Sapaev Khushnud, Umarov Shukhrat, Abdullabekov Islombek, Khamudkhanova Nargiza, and Nazarov Maxamanazar. Scheme of effective regulation of pumping station productivity. *AIP Conference Proceedings* 2402, 060016 (2021); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0071557>.
14. K. Abidov, K. Dadajanov, U. Absoatov, S. Sabitov. System of consistent rotation of speeds of drive electric motors of movement mechanisms of overhead cranes. *E3S Web of Conferences* 383, 04053 (2023) DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304053>.

REFERENCES

1. Chuang, Liu, Sun, Cong, Allaev K.R., Rakhmonov I.U. "Research Enhancing Stability of Uzbekistan's Renewable Energy Power System through Virtual PSS Control", *AIP Conference Paper: Conference Proceedings 2024* DOI:<https://doi.org/10.1063/5.0243241>.
2. Baranidharan, M., Kanna, R. R., & Singh, R. R. Energy Saving on Industrial Drive Technologies-Past, Present, and Future Perspective. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 906, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
3. d'Obyrn, K., Kamiński, P., Cień, D., Jendrysik, S., & Prostański, D. (2024). Hydrogeological and Mining Considerations in the Design of a Pumping Station in a Shaft of a Closed Black Coal Mine. *Energies*, 17(13), 3297. <https://doi.org/10.3390/en17133297>.
4. Wang, F., Qiao, Y., Zhou, H., Wu, J., & Xu, B. (2024). An Independent Electro-Hydraulic Variable Speed Drive to Improve Energy Efficiency of Electric Wheel Loader Working System. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. DOI: 10.1109/TVT.2024.3438268.



5. Hilary A. Johnson, Kevin P. Simon, Alexander H. Slocum “Data analytics and pump control in a wastewater treatment plant” *Applied Energy*: Volume 299, 1 October 2021, 117289 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117289>.
6. Umarov, Shukhrat Badretdinovich; Mirsaidov, Murakam Mirzakhmatovich; Abdullabekov, Islombek A’lobekovich; and Oripov, Saidamirkhon Hayrullakhon o’g’li (2024) "Analysis of the drives of pumping stations in the southern part of the angren coal mine of uzbekugol jsc," *technical science and innovation*: vol. 2024: iss. 3, article 13.doi: <https://doi.org/10.59048/2181-1180.1610> .
7. Ho Tse “Challenges for pumping station design in water industries: An overview of impacts from climate change and energy crisis” *Water Research*: Volume 253, 1 April 2024, 121250 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121250> .
8. Pawel Olszewski, Jamal Arafeh “Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications” *Applied Energy*: Volume 231, 1 December 2018, Pages 1146-1158 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.173>.
9. Tianxu Yan, Baoyun Qiu, Guipeng Qi, Jiale Yang “Energy-saving mechanism and dynamic characteristics of blade angle adjustment in low head pumping system” *Energy*: Volume 311, 1 December 2024, 133428 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133428>.
10. Azin Amini, Martin Wickenhäuser, Azad Koliji “Three-dimensional numerical modelling of Al-Salam storm water pumping station in Saudi Arabia” *Conference: Proceedings of the 39th IAHR World Congress From Snow to Sea, January 2022* DOI: <http://dx.doi.org/10.3850/IAHR-39WC2521711920221013> .
11. Arifjanov A.M., Sattorov A.X. Analysis of flow dynamics in water intake structures using the k-ε turbulence model // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2024. 11(128). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18539> .
12. Islombek Abdullabekov, Sapaev Khushnud. An Energy Efficient Control System for Water Lifting Units of the Ramadan Pumping Station Based on Frequency Controlled Electric Drives. *AIP Conference Proceedings* 2552, 040023 (2023); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0130676> .
13. Sapaev Khushnud, Umarov Shukhrat, Abdullabekov Islombek, Khamudkhanova Nargiza, and Nazarov Maxamanazar. Scheme of effective regulation of pumping station productivity. *AIP Conference Proceedings* 2402, 060016 (2021); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0071557> .
14. K. Abidov, K. Dadajanov, U. Absoatov, S. Sabitov. System of consistent rotation of speeds of drive electric motors of movement mechanisms of overhead cranes. *E3S Web of Conferences* 383, 04053 (2023) DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304053>.