



Nasos stansiyalarining elektr tizimlari rejimlariga ta'sirini tadqiq etish

Obid Y. Nurmatov

PhD, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; obidjon444@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6084-9282>

Dolzarbli: elektr energiyani eng ko'p isti'mol qiladigan tarmoqlarga yirik nasos stansiyalarining elektr tizimlari hisoblanib bularga neft va suv uzatish quvurlari kiradi. Shuning uchun yuqori quvvatli nasos stan stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish, ularning rejimlarini optimallashtirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi.

Maqsad: nasos stansiyalarining elektr energetika tizimlarining ish rejimlariga ta'sirini tahlil qilish metodikasi ko'rib chiqishdan iborat

Usullari: belgilangan vazifalarni hal qilish uchun Park-Gorev va Jukovskiy tenglamalari asosida elektr energetikasi va gidromexanik tizimlarning barqarorlashgan va o'tkinchi rejimlarini hisoblash usullari.

Natijalar: nasos stansiyalarini hisobga olgan holda murakkab elektr energetika tizimlarining barqaror va vaqtinchalik rejimlari o'rganildi.

Kalit so'zlar: EET, nasos stansiya, o'tkinchi jarayon, qo'zg'atishni rostlash, sinxron motor.

Исследование влияния насосных станций на режимы электроэнергетических систем

Обид Ё. Нурматов

PhD, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; obidjon444@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6084-9282>

Актуальность: отраслями, потребляющими больше всего электроэнергии, являются электрические системы крупных насосных станций, нефте- и водопроводы. Поэтому повышение энергоэффективности мощных насосных станций, оптимизация их режимов является одной из актуальных задач.

Цель: рассмотреть методы влияния насосных станций на режимы работы электроэнергетических систем.

Методы: для решения поставленных задач использовались методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем, методы расчета на основе уравнений Парка-Горева Жуковского, методы определения гидравлического удара, теории устойчивости электрических систем.

Результаты: исследованы установившиеся и переходные режимы сложных электроэнергетических систем с учетом насосных станций.

Ключевые слова: ЭЭС, насосные станции, переходные процессы, регулирование возбуждения, синхронные двигатели.

Research of the influence of pumping stations on the modes of electric power systems

Obid Y. Nurmatov

PhD, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; obidjon444@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6084-9282>

Relevance: the industries that consume the most electricity are the electrical systems of large pumping stations, oil and water pipelines. Therefore, increasing the energy efficiency of powerful pumping stations and optimizing their modes is one of the urgent tasks.

Aim: consider a method for analyzing the impact of pumping stations on the operating modes of electric power systems.

Methods: To solve the set tasks, methods for calculating steady-state modes of electric power systems, calculation methods based on the Park-Gorev-Zhukovsky equations, and methods for determining hydraulic shock and theories of stability of electrical systems were used.

Results: the steady state and transient modes of complex electric power systems were studied taking into account pumping stations

Key words: EPS, pumping stations, transient excitation control, synchronous motors.

1. Введение (Introduction)

Значение электроэнергетики и её инновационное развитие в мире и Республике Узбекистан отражено и регламентировано многими документами. Режимы работы насосных установок существенно зависят от изменения режимов водопотребления. Режим водопотребления обычно характеризуется суточными, недельными и годовыми графиками водопотребления. Кроме то-

For citation: O.Y. Nurmatov.

Research of the influence of pumping stations on the modes of electric power systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 74-81.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14564743>

Received: 20.10.2024

Revised: 13.11.2024

Accepted: 5.12.2024

Published: 27.12.2024

Copyright: © Obid Y. Nurmatov, 2024. 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/>).

го, режим водопотребления характеризуется кривой распределения подач, которая дает представление о диапазоне изменения водопотребления за тот или иной промежуток времени (месяц, год и т.п.) и длительности работы системы с тем или иным водопотреблением. Графики водопотребления характеризуются коэффициентами неравномерности.

Максимальный коэффициент неравномерности [1,2,3]:

$$K_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{ср}}}; \quad (1)$$

где Q_{\max} – максимальное водопотребление; $Q_{\text{ср}}$ среднее значение водопотребления.

Минимальный коэффициент неравномерности:

$$K_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{\text{ср}}}; \quad (2)$$

где Q_{\min} – минимальное водопотребление.

Диапазон колебания водопотребления характеризуется отношением $\lambda = Q_{\min}/Q_{\max}$, которое может быть также выражено через коэффициенты максимальной и минимальной неравномерности:

$$\lambda = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}, \quad (3)$$

Режим притока сточных вод характеризуется графиками притока, которые имеют вид, аналогичный графикам водопотребления, а также коэффициентами неравномерности. Режим работы насосных установок промышленных предприятий определяется главным образом технологическим процессом предприятия. Существуют режимы водопотребления и перекачки, аналогичные режимам работы городских водопроводных и канализационных насосных станций. Насосные установки промышленных предприятий могут быть с явно выраженным ночным или дневным режимом водопотребления [4-7].

Режимы работы теплофикационных насосных установок, систем оборотного водоснабжения существенно зависят от температуры наружного воздуха, а следовательно, и от времени года, климатических условий.

Подача насосных установок, работающих непосредственно в сеть без промежуточных емкостей в каждый момент времени, равна водопотреблению (при отсутствии утечек и непроизводительных расходов). В действительности в любой системе водоподачи имеются утечки и непроизводительные расходы, значения которых достигают во многих случаях 15-20% общей подачи. Следовательно, подача насосной установки должна быть больше водопотребления на это значение [4,8,9].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Обосновывается применением проверенных на практике математических методов расчета установившихся режимов, теории устойчивости электрических систем и многочисленными экспериментальными расчетами с использованием современных средств и методик. На основе вышеприведенных структурных схем, составим виртуальную модель простейшей ЭЭС в пакете Simulink Matlab [10,11].

В качестве примера обработки сигналов автоматическими регуляторами возбуждения рассмотрим следующие типы регуляторов: АРВ-СД и АРВ-СДП-1.

На рис. 1 показана структурная схема АРВ типа АРВ-ПТ.

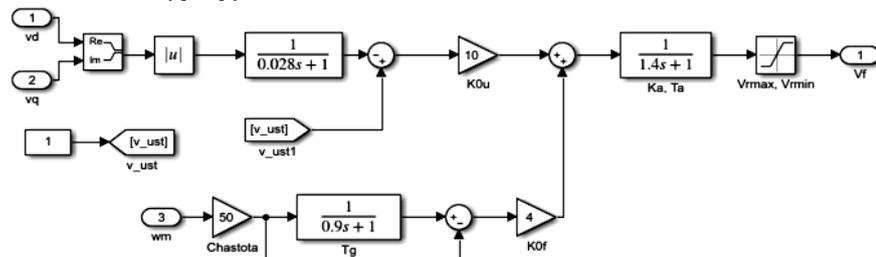


Рис.1. Структурная схема АРВ-ПТ

Fig.1. Structural diagram of the AER-PT

Канал отклонения напряжения представлен последовательным соединением аperiodического звена с передаточной функцией:

$$W_v = \frac{1}{1 + sT_v},$$

где T_v – постоянная времени блока напряжения; $T_v=0;0235$ с усилительного инерционного звена, передаточная функция которого:



$$W_{0u} = \frac{0.8}{1 + sT_{0u}},$$

где T_{0u} – постоянная времени канала отклонения напряжения; причем $T_{0u} = 0,006K_{0u}$, что обеспечивает зависимость выходного сигнала канала отклонения напряжения от частоты. Параметр K_{0u} – коэффициент усиления по каналу отклонения напряжения, фиксированная величина из следующего набора значений: $K_{0u} = 15; 25; 50; 75; 100; 200$.

Передаточная функция канала производной напряжения имеет вид [12,13]:

$$W_{1u} = \frac{0.03s}{(1 + sT_{1u})^2},$$

где T_{1u} – постоянная времени: $T_{1u} = 0,03с$. K_{1u} – коэффициент усиления по каналу производной напряжения.

Блок частоты представляется инерционным дифференцирующим звеном:

$$W_F = \frac{s}{1 + sT_F},$$

где T_F – постоянная блока частоты; $T_F = 0,0047с$.

Канал отклонения частоты напряжения является последовательным соединением инерционного усилительного звена и дифференцирующего звена :

$$W_{0\omega} = \frac{0.536s}{(1 + sT_{y1})(1 + sT_{0\omega})},$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_{y1} = 0,037с$. и $T_{0\omega} = 2,244с$.

Канал производной частоты напряжения описывается последовательно соединенными инерционным усилительным звеном и дифференцирующим звеном [4,11,14]:

$$W_{1\omega} = \frac{0.4s}{(1 + sT_{y2})(1 + sT_{1\omega})},$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_{y2} = 0,2с$. и $T_{1\omega} = 0,02с$.

Канал производной тока возбуждения генератора представлен последовательным соединением инерционного усилительного звена и дифференцирующего звена с передаточной функцией :

$$W_{1\omega} = \frac{0.28s}{(1 + sT_y)(1 + sT_{If})},$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_y = 0,094с$. и $T_{If} = 0,024с$.

Группа элементов, входящих в основной канал регулирования, представляется эквивалентным аperiodическим усилительным звеном с передаточной функцией вида [11,15,16]:

$$W_\Gamma = \frac{K_\Gamma}{1 + sT_\Gamma},$$

где коэффициент усиления $K_\Gamma = 10$, постоянная канала $T_\Gamma = 0.005с$.

Значения коэффициентов усиления каналов стабилизации АРВ-ПТ (K_{1u} , $K_{0\omega}$, $K_{1\omega}$, K_{If}) нормированы и изменяются от 0 до 10. Все коэффициенты усиления входят в закон регулирования с соответствующими знаками, в частности K_{0u} , K_{1u} , K_{If} отрицательны. Коэффициенты линейно зависят от положения переключателей регулятора с коэффициентом пропорциональности 0.1, то есть на каждые 10 делений шкалы коэффициенты в уравнении изменяются на единицу.

Упрощенная схема устройства АРВ-ПТ, полученная на основе приведенного математического описания отдельных звеньев и каналов регулирования представлена на рис.2.

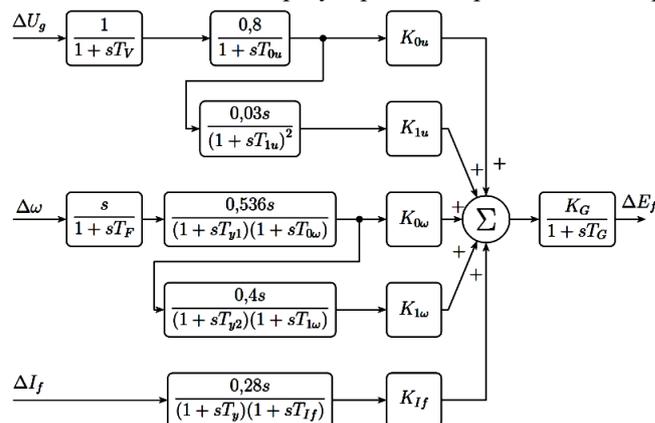


Рис.2. Полная структурная схема регулятора возбуждения АРВ-ПТ
Fig.2. Complete structural diagram of the excitation regulator AER-PT

АРВ-СД является современным быстродействующим микропроцессорным регулятором возбуждения включающий в себя системный стабилизатор. Каждый канал управления имеет встроенные средства самоконтроля и диагностики существенно повышающие надежность системы в целом и сокращающие время на поиск неисправности. Каждый канал управления оснащен собственной автономной системой электропитания, работающей как от напряжения питания тиристорного преобразователя, через разделительный трансформатор, так и от аккумуляторной батареи. Каждый канал управления оснащен блоком аварийного осциллографирования, который обеспечивает запись в память контроллера осциллограмм переходных процессов. Каждый канал управления может быть основным. Резервный канал работает как следящий для обеспечения плавного перехода при переключении каналов с сохранением рабочей точки возбуждения и контролирует при этом исправность активного канала. В состав АРВ-СД входит системный стабилизатор, отвечающий за формирование сигнала стабилизации по изменению и производной частоты генератора (Δf , f'), по производной тока ротора (I_f') для демпфирования колебаний в энергосистеме и увеличения пределов устойчивости [7,17,18,19].

Передаточная функция АРН представляется в виде :

$$W_1(p) = K_{pU} + \frac{K_{\max}}{1 + K_{\max} * p * T_u} + K_{1u} * W_D(p);$$

где K_{pU} - величина коэффициента усиления на высоких частотах; T_u - постоянная времени интегрирования канала АРН; K_{1u} - коэффициент по производной напряжения генератора; $W_D(p)$ - дифференциатор напряжения генератора; K_{\max} - коэффициент ограничения усиления на низких частотах.

Дифференциатор напряжения:

$$W_D(p) = e^{-0.01p} \frac{p}{(0.0125p + 1)^2}.$$

Внутренний стабилизатор по производной тока ротора:

$$W_2(p) = K_{1if} \frac{p}{(0.1p + 1)(0.028p + 1)} e^{-0.0033p}$$

Здесь: K_{1if} - коэффициент по производной тока ротора.

Системный стабилизатор - звено по отклонению частоты:

$$W_3(p) = K_{of} \cdot e^{-0.02p} \frac{1}{0.16p + 1} \cdot \frac{2p}{2p + 1} \cdot e^{-0.0033p}.$$

Здесь: K_{of} - коэффициент по отклонению частоты.

Звено по производной тока ротора:

$$W_4(p) = K_{1f} \cdot e^{-0.02p} \frac{1}{0.16p + 1} \cdot \frac{p}{(0.1p + 1)(0.02p + 1)} \cdot e^{-0.0033p}.$$

Здесь: K_{1f} - коэффициент по производной частоты.

На основании этих материалов разработана цифровая модель АРВ-СД для использования в программе расчета переходных процессов. Структурная схема модели показана на рис.3.

На основе вышеприведенных структурных схем АРВ, составим виртуальную модель простейшей ЭЭС в пакете Simulink Matlab [19,20].

На рис.3 приведена смоделированная схема ЭЭС состоящей из моделей синхронного двигателя типа СДН-2-17-89-6УЗ, электрической системы и моделей АРВ.

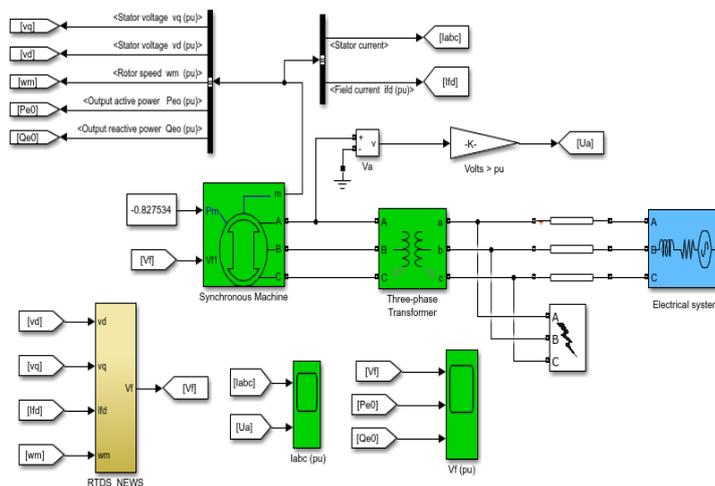


Рис. 3. Схема простейшей ЭЭС в пакете Simulink

Fig. 3. Scheme of the simplest EPS in the Simulink package

3. Результаты (Results)

Проведем опыт виртуального моделирования, связанный с созданием искусственного трехфазного короткого замыкания на шинах подключения синхронного двигателя к энергосистеме. Продолжительность короткого замыкания установим равным 0,1 сек [21,22].

Проанализируем изменение параметром синхронного двигателя и электрической системы в результате короткого замыкания. На рис.4 приведены характеристики изменения параметров синхронного двигателя при установке различных систем АРВ. АРВ-СД возникшие колебания были погашены значительно быстрее за счет наличия в составе схемы АРВ-СД системного стабилизатора.

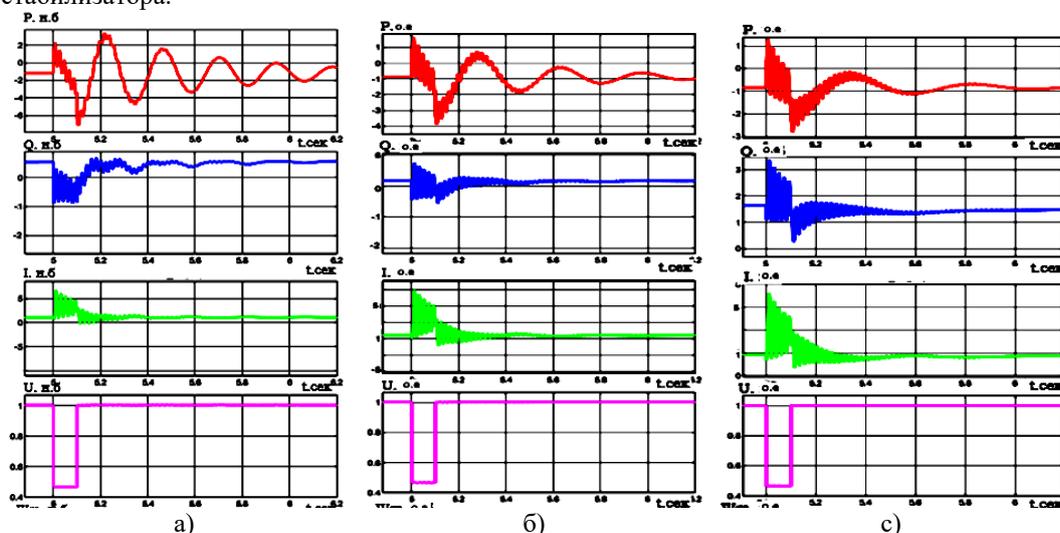


Рис. 4. Характеристики параметров СД при различных АРВ: а) АРВ-пт; б) АРВ-сд; в) АРВ-нечёткая логика

Fig. 4. Characteristics of the parameters of the SD for different AER: a) AER -pt; b) AER -sd; c) AER -fuzzy logic

Как видно из полученных результатов, различные типы АРВ по-разному погасили возникшие колебания в результате короткого замыкания. Сравнивая потребляемые активные и реактивные мощности синхронного двигателя можно сделать вывод о не совсем корректной работе АРВ-ПТ, т.к. в послеаварийном режиме двигатель потреблял значительно больше мощности, что говорит о «запаздывании» работы системы АРВ. При установке АРВ-СД после устранения короткого замыкания наблюдались значительно меньшие колебания тока. В случае установки АРВ-ПТ уровень напряжения в момент КЗ снизился до $0,25U_n$, тогда как при установке АРВ-СД напряжение снизилось до $0,45U_n$, что объясняется значительным уровнем расфорсировки возбуждения АРВ-ПТ. Изменения скорости вращения ротора СГ практически идентичны, хотя при установке АРВ-СД демпфирование более эффективно. Изменение напряжения возбуждения в случае установки АРВ-ПТ носит колебательный характер в течение 0,7 сек, что свидетельствует о некорректном подборе соответствующих коэффициентов усиления [20,23].

4. Обсуждение (Discussion)

Переходные процессы в гидропроводных системах по своей природе относятся к сложным, динамическим процессам. Факторы, определяющие протекание этих процессов, многообразны, и учет их влияния весьма затруднителен.

Определено влияние систем АРВ агрегатов насосных станций на колебания напряжений синхронных генераторов электростанций энергосистемы Узбекистана при различных возмущениях и даны соответствующие рекомендации по улучшению режимов.

Большое значение при анализе электро- и гидромеханических процессов имеет представление других элементов электрической системы, в частности нагрузок, регуляторов возбуждения и т.д. Поскольку многочисленные элементы большой системы являются, разнообразными по своему типу, а их состояние и характеристики в каждый момент неизвестны достаточно точно, они учитываются приближенно или должны рассматриваться статически.

5. Заключение (Conclusion)

На основании вышеприведённых материалов можно сделать следующие выводы:



1. Определено влияние систем агрегатов насосных станций на колебания напряжения синхронных генераторов электростанций энергосистемы Узбекистана при различных возмущениях, а также даны соответствующие рекомендации по улучшению режимов.

2. Использование автоматических регуляторов возбуждения синхронных двигателей предоставляет возможность регулирования реактивной мощности и обеспечения требуемой степени устойчивости, а также эффективного демпфирования возможных колебаний параметров режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Узбекистан «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии»», 14.07. 2020, № ЗРУ-628.

2. Указ Президента РУз № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».

3. Постановление Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 г. № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».

4. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.

5. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. -М.: Наука, 1986, -220 с.

6. Ташилин В.А. Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: Автореф. дис. кан. тех. наук. – Е.: 2018. <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01009789829>.

7. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. - Л.: Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1983. -128 с.

8. Allayev K.R., Makhmudov T.: Analysis of small oscillations of complex electrical systems. E3S Web Conf. 216, 01097 (2020).

9. Jing Shi, Ying Xu, Meng Liao, Shuqiang Guo, Yuanyuan Li, Li Ren, Rongyu Su, Shujian Li, Xiao Zhou, Yuejin Tang Integrated design method for superconducting magnetic energy storage considering the high frequency pulse width modulation pulse voltage on magnet Applied Energy, Volume 248, 2019, pp. 1-17.

10. Allayev K.R., Nurmatov O., Makhmudov T. Influence of automatic excitation regulators on modes of hydropower plants//6th International Conference on Electromechanics and Robotics “Zavalishin’s Readings”, ERZR 2021. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85115186020&origin=resultslist#metrics> .

11. Makhmudov T., Nurmatov O. Modernization of automatic excitation control systems of generators in Syrdarya TPP//6th International Conference on Electromechanics and Robotics “Zavalishin’s Readings”, ERZR 2021. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85115188474&origin=resultslist> .

12. Allaev K., Makhmudov T.: Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems. Electrical Engineering 102(1), 309–319 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00876-9> .

13. Felipe M. Pimenta, Arcilan T. Assireu Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system Renewable Energy, Volume 76, 2015, pp. 757-767.

14. Allayev K. Nurmatov O., Makhmaraimova Calculation experimental studies of transition processes in electricity systems with account of hydroenergy installations. Journal of Critical Reviews ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 13, 2020 [http:// www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng=](http://www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng=) .

15. JuanI. Pérez Díaz, M. Chazarra, J. García González, G. Cavazzini, A. Stoppato Trends and challenges in the operation of pumped-storage hydropower plants Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 44, 2015, pp. 767-784.

16. Nurmatov O. Large pumping stations as regulators of power systems modes. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. E3s Web of Conferences (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.

17. Nosirov F.J., A.Juraev, I.Karabaev, N.Kerimzatov Economic Calculation of a Photoelectric Station for Degradation Processes//Cite as: AIP Conference Proceedings 2552, 050035 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0130642> .

18. Mirzabaev A., Isakov A.J., Mirzabekov S., Makhkamov T., Kodirov D.//Problems of integration of the photovoltaic power stations with the grid systems//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 614(1), 012016//.



19. Makhmudov T., Nurmatov O., Ramatov A.N. Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants Using GIS and Remote Sensing Techniques//AIP Conference Proceedings, 2024, 3152(1), 060002 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198077400&origin=resultlist>.
20. Nurmatov O., Makhmudov T.: Pulatov N. Control of the excitation system of synchronous motors pumping stations //AIP Conference Proceedings, 2024, 3152(1), 060002 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198041903&origin=resultlist>.
21. Urishev B., Nosirov F.J. Reduced Pump Power Consumption Micro Accumulating Power Plants.// International Journal of Advanced Science and Technolog, Vol. 29, No. 7 (2020), p. 2128 – 2136 <http://sersec.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17478/8832>.
22. Nosirov F.J., Glovatsky O., Khamdamov B., Gazaryan A. Increasing the stability of the supply hydraulic structures//Preface: III International Scientific and Technical Conference “Actual Issues of Power Supply Systems” (ICAIPSS2023) AIP Conf. Proc.3152, 040010 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.021867>.
23. Wejia Yang, Jiandong Yang, Wei Zeng, Renbo Tang, Liangyu Hou, Anting Ma, Zhigao Zhao, Yumin Peng Experimental investigation of theoretical stability regions for ultra-low frequency oscillations of hydropower generating systems Energy, Volume 186, 2019, Article 1158.

REFERENCES

1. Law of the Republic of Uzbekistan "On Amendments and Additions to the Law of the Republic of Uzbekistan "On Rational Use of Energy", July 14, 2020, No. ZRU-628 (In Russ.).
2. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-6079 dated October 5, 2020 "On Approval of the Digital Uzbekistan -2030 Strategy and Measures for its Effective Implementation" (In Russ.).
3. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated August 22, 2019 No. PP-4422 "On Accelerated Measures to Improve Energy Efficiency of Economic Sectors and the Social Sphere, the Introduction of Energy-Saving Technologies and the Development of Renewable Energy Sources" (In Russ.).
4. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development / ed. Salimova A.U. – T.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 p. (In Russ.).
5. Allaev K.R., Khoxlov V.A., Sitdikov R.A., Transient processes of pumping stations/Pod red. prof. M.M. Muxammadiev. - «Fan va texnologiya». –T. 2012, 226 s.
6. Tashilin V.A. Analysis and selection of stabilization parameters of excitation control devices using identification methods: Avtoref. dis. kan. tex. nauk. – Ye.: 2018. – 24 s.
7. Abramovich B.N., Kruglyy A.A. Excitation, regulation and stability of synchronous motors. - L. : Energoatomizdat : Leningr. otd-nie, 1983. - 128 s.
8. Allaev K., Makhmudov T.: Analysis of small oscillations of complex electrical systems. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. E3s Web of Conferences (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.
9. Jing Shi, Ying Xu, Meng Liao, Shuqiang Guo, Yuanyuan Li, Li Ren, Rongyu Su, Shujian Li, Xiao Zhou, Yuejin Tang Integrated design method for superconducting magnetic energy storage considering the high frequency pulse width modulation pulse voltage on magnet Applied Energy, Volume 248, 2019, pp. 1-17.
10. Allayev K.R., Nurmatov O., Makhmudov T. Influence of automatic excitation regulators on modes of hydropower plants//6th International Conference on Electromechanics and Robotics “Zavalishin’s Readings”, ERZR 2021. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85115186020&origin=resultlist#metrics>.
11. Makhmudov T., Nurmatov O. Modernization of automatic excitation control systems of generators in Syrdarya TPP//6th International Conference on Electromechanics and Robotics “Zavalishin’s Readings”, ERZR 2021. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85115188474&origin=resultlist>.
12. Allaev K., Makhmudov T. Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems. Electrical Engineering 102(1), 309–319 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00876-9>.
13. Felipe M. Pimenta, Arcilan T. Assireu Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system Renewable Energy, Volume 76, 2015, pp. 757-767.
14. Allayev K., Nurmatov O., Makhmaraimova. Calculation experimental studies of transition processes in electricity systems with account of hydroenergy installations. Journal of Critical Reviews ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 13, 2020 [http:// www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng=](http://www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng=).



15. JuanI Pérez Díaz, M. Chazarra, J. García González, G. Cavazzini A. Stoppato. Trends and challenges in the operation of pumped-storage hydropower plants *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 44, 2015, pp. 767-784.
16. Nurmatov O. Large pumping stations as regulators of power systems modes. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. E3s Web of Conferences (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.
17. Nosirov F.J., A.Juraev., I.Karabaev, N.Kerimzatov. Economic Calculation of a Photoelectric Station for Degradation Processes//Cite as: AIP Conference Proceedings 2552, 050035 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0130642>.
18. Mirzabaev A., Isakov A.J., Mirzabekov S., Makhkamov T., Kodirov D.//Problems of integration of the photovoltaic power stations with the grid systems//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 614(1), 012016//.
19. Makhmudov T., Nurmatov O., Ramatov A.N. Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants Using GIS and Remote Sensing Techniques//AIP Conference Proceedings, 2024, 3152(1), 060002 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198077400&origin=resultslist>.
20. Nurmatov O., Makhmudov T., Pulatov N. Control of the excitation system of synchronous motors pumping stations //AIP Conference Proceedings, 2024, 3152(1), 060002 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198041903&origin=resultslist>.
21. Urishev B., Nosirov F.J. Reduced Pump Power Consumption Micro Accumulating Power Plants.// International Journal of Advanced Science and Technolog, Vol. 29, No. 7 (2020), p. 2128 – 2136 <http://sersec.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17478/8832>.
22. Nosirov F.J., Glovatsky O., Khamdamov B., Gazaryan A. Increasing the stability of the supply hydraulic structures//Preface: III International Scientific and Technical Conference “Actual Issues of Power Supply Systems” (ICAIPSS2023) AIP Conf. Proc.3152, 040010 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.021867>.
23. Wejia Yang, Jiandong Yang, Wei Zeng, Renbo Tang, Liangyu Hou, Anting Ma, Zhigao Zhao, Yumin Peng. Experimental investigation of theoretical stability regions for ultra-low frequency oscillations of hydropower generating systems *Energy*, Volume 186, 2019, Article 1158.