



Nasos stantsiyalarining sinxron mashinalarining qo‘zg‘atishni rostlagichining energetika tizimi elektr ta’minoti tarmoqlari rejimlariga ta’sirini tadqiq etish

Obid Y. Nurmatov

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

Dolzarblii: respublikamizda sug’orish uchun 1698-ta nasos stansiyasi (NS) mavjud bo’lib, boshqa hududlarda ham ko’plab NS mavjud; Aksariyat NS sinxron motorli elektr dvegatellar bilan jihozlangan. Mamlakat energetika tizimining rivojlanayotgan tuzilmasi bunday NSning turli rejimlarini rostlashning energetika tizimini ta’minlovchi elektr tarmoqlari rejimlariga ta’sirini aniqlash bo‘yicha tadqiqotlarni talab qildi.

Maqsad: NS sinxron mashinalarining qo‘zg‘atishni rostlashning elektr ta’minoti tarmoqlari rejimlariga ta’sirini ko’rib chiqish, ularning birgalikda ishlash samaradorligini oshiradigan tavsiyalarni ishlab chiqish.

Usullari: qo‘yilgan vazifalarni hal qilishda matematik va simulyatsiya modellashtirish usullari, shuningdek, NS va elektr ta’minoti tarmog’ining qo‘shma rejimlari hisob-kitoblarini tahlil qilishdan foydalanilgan.

Natijalar: nasos stantsiyalarining qo‘zg‘atishni boshqarish tizimlarining energiya tizimining elektr ta’minoti tarmoqlari rejimlariga ta’siri ko’rsatilgan, rejimlarni takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so’zlar: nasos stantsiyalar, , qo‘zg‘atishni boshqarish, vaqtinchalik rejimlar, energiya tizimining rejimlari.

Исследование влияния регулирования возбуждения синхронных машин насосных станций на режимы питающих сетей энергосистемы

Обид Ё. Нурматов

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

Актуальность: в нашей республике функционируют 1698 насосных станций (НС) орошения, также имеется множество НС в других сферах; большинство НС оснащены электроприводами с синхронными двигателями. Развивающаяся структура энергосистемы страны требует проведения исследований для выявления влияния регулирования различных режимов таких НС на режимы питающих электрических сетей энергосистемы.

Цель: рассмотреть влияние регулирования возбуждения синхронных машин приводов НС на режимы питающих сетей для разработки рекомендаций, повышающих эффективность их совместной работы.

Методы: при решении поставленных задач использовались методы математического и имитационного моделирования, а также анализ расчётов совместных режимов НС и питающей электрической сети.

Результаты: показано влияние систем регулирования возбуждения насосных станций на режимы питающих сетей энергосистемы, даны рекомендации по улучшению режимов.

Ключевые слова: насосные станции, синхронные двигатели, регулирование возбуждения, переходные режимы, режимы энергосистемы.

Study of the influence of excitation regulation of synchronous machines of pumping stations on the modes of power supply networks of the power system

Obid Y. Nurmatov

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

Relevance: in our republic there are 1698 pumping stations (PS) for irrigation, there are also many PS in other areas; most PS are equipped with electric drives with synchronous motors. The developing structure of the country’s energy system requires research to identify the influence of regulation of various modes of such PS on the modes of the power supply networks of the energy system.

Aim: to consider the influence of excitation regulation of synchronous machines of PS drives on the modes of the power supply networks in order to develop recommendations that improve the efficiency of their joint operation.

Methods: to solving the set problems, the methods of mathematical and simulation modeling, as well as the analysis of calculations of joint modes of PS and the power supply network were used.

Results: the influence of excitation control systems of pumping stations on the modes of the power supply networks of the power system is shown, recommendations for improving the modes are given.

Key words: pumping stations, synchronous motors, excitation regulation, transient modes, power system modes.



1. Введение (Introduction)

Республика Узбекистан имеет мощную и развивающуюся электроэнергетику, обеспечивающую развитие экономики республики, её социальной сферы, промышленности, сельского хозяйства, транспорта и др. Развитие электроэнергетики активно обеспечивается государством на основе соответствующих правовых и нормативных документов, а также необходимой финансовой поддержки [1-5].

Сегодня только для орошения земель в стране используются 1698 насосных станций (НС), которые потребляют 6,8 млрд. кВт.ч. электроэнергии в год при доставке 32,5 миллиарда кубометров воды фермерским хозяйствам (рис.1). Кроме этого имеются насосные станции водоснабжения населения, систем канализации, а также мощные насосы нефтегазовой отрасли, различных промышленных предприятий, оснащенные электроприводами с синхронными двигателями.

Начиная с 1950-х годов, с развитием энергосистемы республики и ростом единичной мощности крупных насосных агрегатов, функции систем регулирования их режимов не ограничивалась только поддержанием постоянства напряжения на насосных станциях; они использовались также для улучшения статической и динамической устойчивости режимов питающих сетей энергосистемы. Это означает фундаментальный сдвиг в функциональных требованиях к регуляторам возбуждения синхронных двигателей НС.

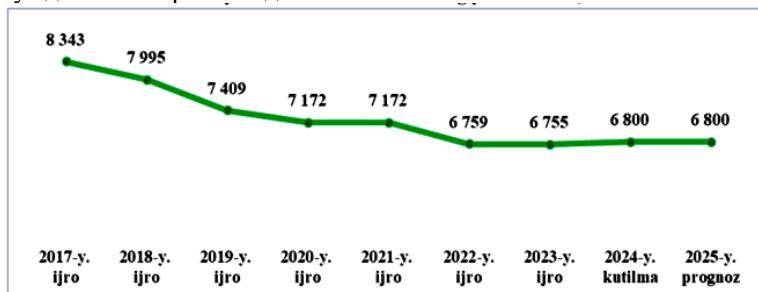


Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии оросительными насосными станциями в Узбекистане. Источник: проект бюджетного послания на 2025–2027 годы.

Fig. 1. Dynamics of electricity consumption by irrigation pumping stations in Uzbekistan. Source: draft budget message for 2025-2027

Улучшение и поддержание стабильности работы синхронных машин (СМ) имеет основополагающее значение для устойчивой и экономичной работы НС. При изменениях режимов насосных станций производятся соответствующие управляющие и регулирующие воздействия, в том числе действуют системы автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных двигателей насосов. Естественно, что возникает задача влияния изменения режимов насосных станций при регулирования возбуждения на режимы питающих сетей энергосистемы [6-9].

Режимы работы различных насосных установок определяются главным образом технологическими процессами потребителей. Существуют режимы водоснабжения и перекачки, аналогичные режимам работы городских водопроводных и канализационных НС, а также станций орошения; кроме того насосные установки промышленных предприятий могут быть с явно выраженным ночным или дневным режимом водопотребления.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Целесообразность регулирования возбуждения синхронных двигателей НС, работающих на переменную нагрузку, основывается на следующем: при больших изменениях мощности, для обеспечения достаточной динамической устойчивости синхронных двигателей в период действия нагрузки, его возбуждение необходимо поддерживать на максимальном уровне. Для обеспечения благоприятных экономических и энергетических показателей синхронных двигателей в период отсутствия нагрузки, токи возбуждения необходимо уменьшать. Последнее легко подтверждается, если рассмотреть выражение суммарных потерь синхронной машины:

$$\Sigma P = P_m + P_c = I^2 r + i_{b}^2 r_b + k_c \Phi^2, \quad (1)$$

где $P_m = I^2 r + i_{b}^2 r_b$ - потери в меди машины, складывающиеся из тепловых потерь в обмотке



статора и обмотке возбуждения; $P_c = k_c \Phi^2$ - потери в стали машины.

При сбросе нагрузки и неизменном токе возбуждения синхронный двигатель, как правило, работает с опережающим коэффициентом $\cos\phi$. При этом поток реакции якоря является намагничивающим и суммарный магнитный поток машины возрастает. Следовательно, потери в стали машины, пропорциональные Φ^2 , значительно увеличиваются. Тепловые потери в обмотке возбуждения $i_b^2 r_b$, в этих условиях остаются неизменными, а потери в обмотке статора $I^2 r$ уменьшаются; иногда такие потери в зависимости от режима возбуждения могут остаться на прежнем уровне или даже увеличиться за счет действия реактивного тока. Очевидно, что уменьшение тока возбуждения синхронного двигателя при сбросе нагрузки уменьшает суммарные потери в машине и, как следствие, ее нагрев. При значительных перегрузках на валу двигателя в таком случае можно было бы допустить большие токи в обмотке возбуждения для повышения динамической устойчивости, не опасаясь за ее перегрев. Момент синхронного двигателя определяется соотношением:

$$M = \frac{mU_n E}{\omega_c x} \sin \Theta, \quad (2)$$

поэтому регулирование его возбуждения, в зависимости от нагрузки, улучшает использование двигателя по моменту. Для обеспечения режимов питающей сети с высокими технико-экономическими показателями требуется, чтобы синхронные двигатели отдавали в сеть максимум реактивной энергии. Величина отдаваемой реактивной энергии в зависимости от режима питающей сети и загрузки синхронных двигателей должна изменяться, что достигается АРВ синхронных двигателей по определенным законам. В связи с этим АРВ синхронных двигателей может оказать существенную помощь при разработке вопросов местного регулирования напряжения в питающих сетях энергосистем.

Вышесказанное обосновывается применением проверенных на практике математических методов расчета установившихся режимов, теории устойчивости электрических систем и экспериментальными расчетами с использованием современных средств и методик. Для подтверждения нами составлена и исследована виртуальная модель ЭЭС с синхронными машинами потребителей в пакете Simulink Matlab [12,13].

Схема устройства АРВ-ПТ, полученная на основе приведенного математического описания отдельных звеньев и каналов регулирования представлена на рис.2 [14].

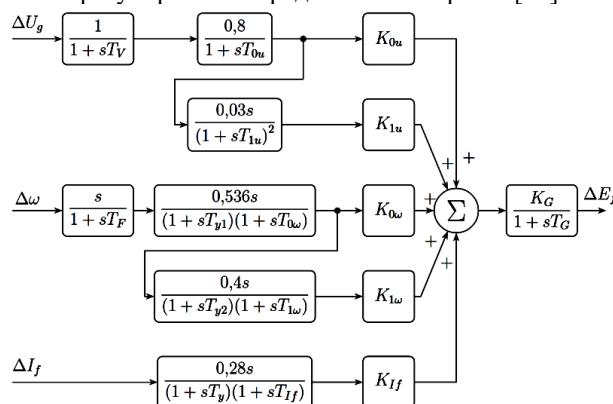


Рис. 2. Структурная схема регулятора возбуждения АРВ-ПТ (АРВ ПТ – работа СМ в режиме перевозбуждения)

Fig. 2. Structural diagram of the excitation regulator AER-PT (AER PT - operation of the SM in over excitation mode)

АРВ-СД является современным 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 осциллограммы 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

для демпфирования колебаний в энергосистеме и увеличения пределов устойчивости [9,19-21].

Дадим краткую характеристику режима работы синхронного двигателя при нормальном возбуждении и снижении напряжения на зажимах статора. Из теории работы синхронных двигателей известно, что снижение напряжения на зажимах статора сдвигает U-образную характеристику влево (рис. 3), что свидетельствует об увеличении компенсирующего эффекта синхронного двигателя при неизменном возбуждении.

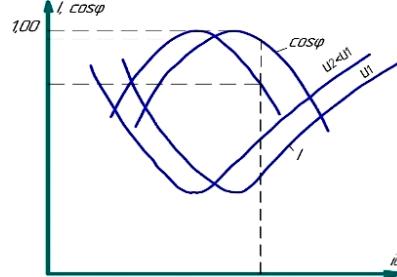


Рис. 3. U-образные характеристики СД при разных напряжениях на зажимах статора

Fig. 3. U-shaped characteristics of a synchronous motor at different voltages at the stator terminals

3. Результаты (Results)

Проанализируем влияние насосной станции в качестве регулятора напряжения на примере схемы 9-ти узловой электроэнергетической системы (рис.4). Схема 9-ти узловой схемы соответствует стандартной схеме IEEE 9 bus system института инженеров по электротехнике и электронике, являющегося крупнейшим в мире профессиональной технической организацией.

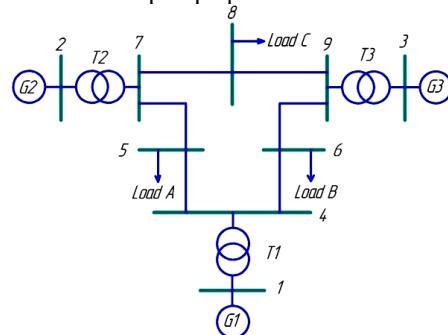


Рис. 4. Принципиальная схема тестовой 9-ти узловой энергосистемы

Fig. 4. Schematic diagram of the test 9-node power system

Целью моделирования и расчетов здесь является анализ влияния режимов работы насосных станций на параметры режима электроэнергетических систем.

Модель системы реализуется в симуляторе Power Factory, затем производится расчет установившегося режима. Анализ установившегося режима 9-ти узловой системы выполняется с использованием метода Ньютона-Рафсона. В данном случае предполагается, что синхронные двигатели насосной станции работают в статичном режиме недовозбуждения с $\cos\phi=0,8$.

Синхронный двигатель насосной станции переводится в режим перевозбуждения ($\cos\phi=0,9$). Рассчитывается установившийся режим, определяются параметры режима. Определяются величины потерь активной и реактивной мощностей в тестовой электрической системе. Ниже в табл.1 приведены параметры основного электрооборудования тестовой энергосистемы.

Таблица 1. Параметры синхронного двигателя

Table 1. Parameters of the synchronous motor

Марка двигателя	Номинальные данные					$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Момент инерции, кг м ²
	Активная мощность, кВт	Полная мощность, кВА	Напряжение, кВ	Частота вращения, об/мин	КПД, %		
СДН-17-89-6У3	4000	4580	6	1000	97,1	1,7	525

Схема питающей сети с результатами расчета установившегося режима для 1-го опыта моделирования (синхронный двигатель насосной станции в режиме недовозбуждения) показан на рис.5.

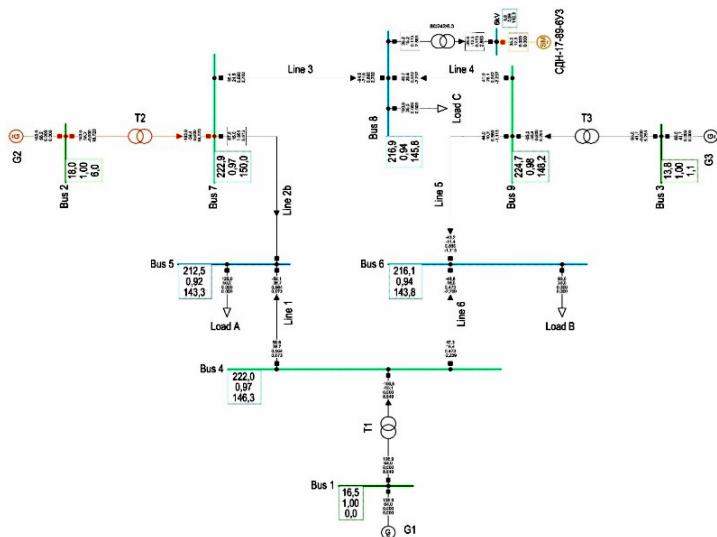


Рис. 5. Схема и результаты расчета установившегося режима
Fig. 5. Scheme and results of steady-state calculation

Таблица 2. Сравнительная таблица параметров режима при различных режимах СД

Table 2. Comparative table of operating parameters for different modes of a synchronous motor

Узел	АРВ СД	АРВ ПТ	Ветвь	АРВ СД	АРВ ПТ
	Напряжение, кВ			Потери, МВА	
1	16,5	16,5	1-4	0+j8,95	0+j8,576
2	18	18	4-5	0,564+j0,073	0,537-j0,201
3	13,8	13,8	4-6	0,473-j2,239	0,456-j2,367
4	222	222,6	5-7	1,661+j3,613	1,661+j3,542
5	212,5	213,7	6-9	0,86-j1,113	0,87-j1,129
6	216,1	217,2	3-9	0+j5,251	0+j4,731
7	222,9	225	8-9	0,312-j2,237	0,233-j3,052
8	216,9	221,9	7-8	0,89+j2,7	0,818+j1,938
9	224,7	226,4	2-7	0+j18,72	0+j17,77
СД	5,8	6,2	8-СД	0,173+j2,863	0,174+j2,719
Суммарные потери, МВА				4,93+j36,58	4,75+j32,53

Примечание: АРВ СД – работа синхронного двигателя в режиме недовозбуждения;
АРВ ПТ – работа синхронного двигателя в режиме перевозбуждения.

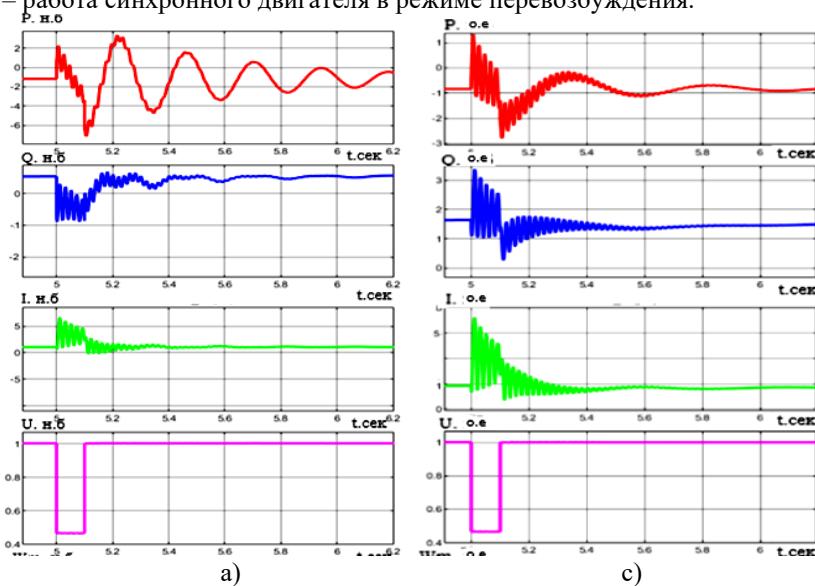


Рис.5. Характеристики параметров СД при различных АРВ: а) АРВ-ПТ; б) АРВ-СД
Fig. 5. Characteristics of the parameters of the SD for different AER: a) AER -PT; b) AER -SD

По итогам виртуального моделирования можно констатировать следующие результаты:

1. Перевод синхронных двигателей насосной станции в режим перевозбуждения позволил



повысить уровень напряжений в узлах энергосистемы до 1 %, при этом суммарная зарядная мощность линий увеличилась на 0,48 МВАр за счет увеличения напряжений в узлах.

2. Суммарные потери реактивной мощности по энергосистеме снизились на 4,05 МВАр.

Как видно из полученных результатов, различные типы АРВ по-разному гасят возникшие колебания в случае короткого замыкания. Сравнивая потребляемые активные и реактивные мощности синхронного двигателя, можно сделать вывод о не совсем корректной работе АРВ-ПТ, т.к. в послеварийном режиме двигатель потреблял значительно большую мощность, 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 0,25 Ун, тогда как при установке АРВ-СД напряжение снизилось до 0,45 Ун, 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 коэффициентов усиления [22,25].

4. Обсуждение (Discussion)

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

Представленный материал показывает влияние систем АРВ агрегатов насосных станций на колебания напряжения синхронных генераторов электростанций и режимы питающих сетей энергосистемы Узбекистана при различных возмущениях; позволяет определять соответствующие рекомендации по улучшению режимов.

Большое значение для анализа электро- и гидромеханических процессов насосных станций имеет представление различных элементов электрической системы, в частности нагрузок, характеристик регуляторов возбуждения, параметров сети и др. Поскольку многочисленные элементы большой системы являются разнообразными по своему типу, а их состояние и характеристики в каждый момент достаточно точно неизвестны, они учитываются приближенно. Поэтому для повышения эффективности и устойчивости необходимы соответствующие исследования и расчёты совместных режимов НС и питающих сетей энергосистемы.

5. Заключение (Conclusion)

На основании вышеприведённых материалов можно сделать следующие выводы:

1. Определено влияние систем агрегатов насосных станций на колебания напряжения синхронных генераторов энергосистемы Узбекистана при различных возмущениях, и даны соответствующие рекомендации по улучшению режимов.
2. Использование автоматических регуляторов возбуждения синхронных двигателей НС предоставляет возможность регулирования реактивной мощности и обеспечения требуемой степени устойчивости и эффективного демпфирования возможных колебаний параметров режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Узбекистан «Об электроэнергетике» от 7 августа 2024 года, № ЗРУ-939.
2. Закон Республики Узбекистан "Об экономии энергии, ее рациональном использовании и повышении энергоэффективности" от 07.08.2024 г., № ЗРУ-940.
3. Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации» от 05.10.2020 г., № УП-6079.
4. Постановление Президента Республики Узбекистан «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 г., №ПП-4422.
5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по реализации проекта "Модернизация 118 насосных станций в Андижанской, Наманганской и Ферганской областях" с участием Европейского банка реконструкции и развития» от 7 декабря 2022 года, №ПП-438.
6. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.



7. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Ситдиков Р.А. Переходные процессы насосных станций /под ред. проф. М.М. Мухаммадиева. -Т.:Fan va texnologiya. - 2012, -226 с.
8. Ташилин В.А. Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: Автореф. дис. кан. тех. наук. – Т.: 2018. <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01009789829>.
9. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. - Л. : Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1983. - 128 с.
10. Allayev K.R., Makhmudov T.: Analysis of small oscillations of complex electrical systems. E3S Web Conf. 216, 01097 (2020).
11. 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.
12. 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>.
13. 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>.
14. 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>.
15. Felipe M. Pimenta, Arcilan T. Assireu. Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system Renewable Energy, Volume 76, 2015, pp. 757-767.
16. Allayev K. Nurmatov O., Makhmaraimova T. Calculastion 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=>.
17. Juan I. 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.
18. 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>.
19. Nosirov F.J., Juraev A., Karabaev I., Kerimzatov N. Economic Calculation of a Photoelectric Station for Degradation Processes//Cite as: AIP Conference Proceedings 2552, 050035 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0130642>.
20. 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//.
21. 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>.
22. 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>.
23. 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://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17478/8832>.
24. 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>.
25. 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 Electric Power Industry" dated August 7, 2024 №. ZRU-939 (In Russ.).
2. Law of the Republic of Uzbekistan "On energy saving, its rational use and increasing energy efficiency" dated 07.08.2024, №. ZRU-940 (In Russ.).
3. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan №. UP-6079 dated October 5, 2020 "On Approval of the Digital Uzbekistan -2030 Strategy and Measures for its Effective Implementation" (In Russ.).
4. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated August 22, 2019 №. 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.).
5. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan "On measures to implement the project "Modernization of 118 pumping stations in the Andijan, Namangan and Fergana regions" with the participation of the European Bank for Reconstruction and Development" dated December 7, 2022 №. PP-438 (In Russ.).
6. 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.).
7. Allaev K.R., Khozlov V.A., Situdikov R.A., Transient processes of pumping stations/Pod red. prof. M.M. Muxammadiev. - «Fan va texnologiya». – T. 2012, 226 p.
8. Tashilin V.A. Analysis and selection of stabilization parameters of excitation control devices using identification methods: Avtoref. dis. kan. tex. nauk. – Ye.: 2018. – 24 p.
9. Abramovich B.N., Krugly A.A. Excitation, regulation and stability of synchronous motors. - L. : Energoatomizdat : Leningr. otd-nie, 1983. - 128 p.
10. 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>.
11. 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.
12. 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>.
13. 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>.
14. Allayev 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>
15. Felipe M. Pimenta, Arcilan T. Assireu. Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system Renewable Energy, Volume 76, 2015, pp. 757-767.
16. Allayev K. Nurmatov O., Makhmaraimova T. Calculastion 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=).
17. Juan I. 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.
18. 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>.
19. 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>.



20. 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//.
21. 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>.
22. 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>.
23. 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://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17478/8832>.
24. 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>.
25. 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.