

**ОЦЕНКА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ОАО «ПАМИР ЭНЕРДЖИ» С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ ОАХК «БАРКИ ТОЧИК» РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

*Саидмиров Наим Чоршанбиевич* - магистр, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, 111250, г. Москва, ул. Краснокозарменная 17. e-mail: [naim.saidmirov@mail.ru](mailto:naim.saidmirov@mail.ru)  
код: [orcid.org/0000-0001-6200-4726](https://orcid.org/0000-0001-6200-4726)

*Чоршанбиев Сироджиддин Ражаббокиевич*, ассистент кафедры электроснабжение, Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, проспект акад. Ражабовых, 10А. e-mail: [sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru](mailto:sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru) код ORCID 0000-0003-0439-7765

*Худомунов Амроз Рустамбекович*, магистр, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, 111250, г. Москва, ул. Краснокозарменная 17. e-mail: [mr.amroz@mail.ru](mailto:mr.amroz@mail.ru)  
код: [orcid.org/0000-0002-3113-6694](https://orcid.org/0000-0002-3113-6694)

**Аннотация.** В данной статье описываются результаты оценки параллельной работы энергосистемы компании ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан. Приведена краткая характеристика об энергокомпании ОАО «Памир Энерджи». Описаны необходимость параллельной работы энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик».

Учитывая критерии параллельной работы, определено оптимальное место для параллельного включения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик». Параллельное включение было смоделировано в программном комплексе DIgSILENT PowerFactory. В итоге получены положительные результаты для параллельной работы вышеприведённых систем.

**Ключевые слова:** параллельная работа, энергосистема, модель, ОАО «Памир Энерджи», ОАХК «Барки Точик».

**EVALUATION OF PARALLEL OPERATION OF OJSC “PAMIR ENERGY” POWER SYSTEM WITH ELECTRICAL NETWORKS OF OSHC “BARKI TOJIK” OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

*Saidmirov Naim Chorshanbievich*, M.Sc., National Research University "MPEI", Russia, 111250, Moscow, st. Krasnokozarnennaya, 14. E-mail: [naim.saidmirov@mail.ru](mailto:naim.saidmirov@mail.ru) код: [orcid.org/0000-0001-6200-4726](https://orcid.org/0000-0001-6200-4726)

*Shorshanbiev Sirodzhiddin Razhabokievich*, Teaching Assistant, Dept. of "Power supply", Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi, Republic of Tajikistan, 734042, Dushanbe, Acad. Radjabovs, 10A. E-mail: [sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru](mailto:sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru), code: ORCID 0000-0003-0439-7765

*Khudomunov Amroz Rustambekovich*, M.Sc, National Research University "MPEI", Russia, 111250, Moscow, st. Krasnokozarnennaya, 14. E-mail: [mr.amroz@mail.ru](mailto:mr.amroz@mail.ru) code: ORCID 0000-0002-3113-6694

**Abstract.** The results of parallel operation evaluation of the energy system of OJSC "Pamir Energy" with electric grids of the OJSC “Barki Tojik” Energy Systems of the Republic of Tajikistan has been described in this paper. A brief description of the energy company JSC "Pamir Energy" has been provided. The necessity of the parallel operation of the power system of JSC "Pamir Energy" with electric networks of the OSHC "Barki Tojik" has been described.

Taking into account the criteria for parallel operation, the optimal place for parallel connection of the power system of JSC "Pamir Energy" with electric networks of OSHC "Barki Tojik" has been determined. Parallel connection has been modeled in the software package DIgSILENT PowerFactory. Positive results for the parallel operation of the above-mentioned systems have been obtained.

**Key words:** Parallel operation, Power system, Model, OJSC "Pamir Energy", OSHC "Barki Tojik"

### Введение

Горно-Бадахшанская Автономная Область (ГБАО)- регион, расположенный на востоке Республики Таджикистан. Особенность энергетики региона в том, что, помимо зон централизованного энергоснабжения, существует изолированные населенные пункты, окруженные на десятки и километров горами. Тем не менее, в каждом районе региона построены и исправно функционируют малые гидроэлектростанции (ГЭС) и солнечные электростанции, находящиеся в юрисдикции компании ОАО «Памир Энерджи» с 2002 года [1,2].

ОАО «Памир Энерджи» - является первой энергетической компанией на территории Республики Таджикистан, образованной в виде государственного и частного партнерство на основе концессионного договора. Основной целью образования компании является удовлетворение энергетических потребностей жителей ГБАО, и содействие экономическому и социальному развитию горного края Таджикистана [3].

История гидроэнергетики ГБАО началась в 1940 году с постройкой первой малой гидроэлектростанции (ГЭС) мощностью 1500 кВт, которой было достаточно для небольшого города Хорога. Однако увеличение населения потребовало строительства станций во всех районах края.

На сегодняшний день ОАО «Памир Энерджи» управляет 11 ГЭС с общей установленной мощностью 43 932 кВт, а располагаемая мощность 42 220 кВт. (см. таблица 1). Годовая выработка электроэнергии в компании составляет в среднем 155,36 млн кВт·ч. [3].

Таблица 1.

**Исходные данные о ГЭС «Памир Энерджи» за 2019 г.**

№ п/п	Наименование ГЭС	Установленная мощность, кВт	Рабочая мощность, кВт	Количество гидроагрегатов, шт	Год ввода в эксплуатации
1	Памир-1	28000	28000	4	1994
2	Хорог	9000	8700	5	1970
3	Намангут	2500	1800	2	1974
4	Ванч	1200	1100	2	1968
5	Таджикистан	1500	800-1400	2	2018
6	Шуджанд	832	550	2	1969
7	Савноб	80	40	1	1984
8	Сипондж	160	80	2	1992
9	Андарбак	300	250	1	1999
10	ГЭС Техарв	360	300	1	1995
<b>Итого</b>		<b>43932</b>	<b>42220</b>		

В ОАО «Памир Энерджи» в 2009г в связи с возрастающим потреблением электроэнергии, возникла необходимость создания централизованного распределения вырабатываемой электроэнергии. Для реализации данной необходимости, было решено синхронизация малых ГЭС во всех районах области с крупнейшей ГЭС компании «Памир-1».

В 2014 году ГЭС «Намадгут», была присоединена к центральному энергоузлу области. Данное событие знаменует собой первый этап синхронизации малых ГЭС региона с крупнейшими станциями компании.

Такая политика компании оправдана тем, что малые ГЭС, расположенные в районах области, в силу своей моральной и технологической изношенности, с годами становятся все более неустойчивыми в эксплуатации. Между тем на их содержание и систематический ремонт тратятся весьма значительные суммы, и они теряют свою рентабельность.

Состоявшаяся синхронизация в Ишкашимском районе ГЭС «Намадгут» с центральным энергоузлом (ЦЭУ) (ГЭС Памир-1 и ГЭС Хорог), стала первым опытом, подобного рода предпринятый ОАО «Памир Энерджи». Следующим шагом было подключения в общую сеть МГЭС «Шуджанд» и «Андарбак». [3].

Так как развития Республики и в том числе региона не стоит на месте, тем самым ежегодный дефицит электроэнергии в целом по Республики составляет 2-4 млрд кВт·ч [4,5], а в компании ОАО «Памир Энерджи» за 2018 составил в размере 7000 кВт·ч [3].

Учитывая этих дефициты, для их покрытие и повышение эффективности работы энергосистемы Республики Таджикистан, и в том числе в энергосистемы ОАО «Памир Энерджи», учитывая мировой опыт, планируется активно внедрят распределенную генерацию в виде солнечной энергии [1.2.4]. Однако детализированные научные исследования свидетельствуют о том, что непосредственное подключение солнечной генерации к распределительной сети 6,10, 0.4 кВ помимо очевидных и неоспоримых преимуществ, приводит к существенной разгрузке электрических сетей и как следствие к значительному росту относительных потерь электроэнергии в распределительных сетях 6,10 кВ [6-16]. При этом, на данный момент, в регионе возникает необходимость строительства новых ГЭС и подключения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями «Барки Точик» с целью их параллельной работы, которые могут, имеет ряд преимуществ:

- стабильность частоты электрического тока, совместное регулирование перетоков мощности;
- снижение суммарных резервов мощности;
- взаимопомощь в аварийных ситуациях;
- резервирование электроснабжения своих потребителей по электрическим сетям соседних энергосистем;
- передача электроэнергии из одной энергосистемы в другую через сети третьей;
- возможности трансграничной торговли электроэнергией и создания общего рынка электроэнергии.

При этом целью данной работы является оценка параллельного включения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик». Для достижения цели предусматривается предложенный вариант параллельной работы энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик» моделированной в программном комплексе Digsilent Power Factory.

Программный комплекс (ПК) Digsilent Power Factory- является интегрированным инструментарием для анализа электрических систем, который объединяет в себе надежные и гибкие средства математического моделирования, передовые алгоритмы решений и уникальный подход к управлению данными[17].

Для подключения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик» в модель предусматривается строительство 22 км новой воздушной линии электропередач (ВЛЭП) (см. рисунок 1). На рисунке 1 приведена однолинейная электрическая схема 35/10-0,4 кВ ОАО «Памир Энерджи» [3].

а) электрические сети питающейся от Центрального энергоузла (ЦЭУ) ОАО «Памир Энерджи», (состоящий из 47 понизительных подстанций 35/0,4кВ и 17 понизительных подстанций 35/10кВ)

б) электрические сети ОАО «Памир Энерджи», питающейся от электрической сети ОАХК «Барки Точик» (состоящий из 22 понизительных подстанций 35/0,4кВ и 8 понизительных подстанций 35/10кВ).

Учитывая критерии параллельной работы, в ходе анализа было принято, что оптимальное место для параллельного включения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик» является понизительная подстанция 35/10 кВ Рушан (см. рисунок 1).

На рисунке 2 приведен детальное место включения в параллель энергосистем ОАО «Памир Энерджи» и ОАХК «Барки Точик».

Для включения в параллель двух систем требуется:

1. равенство действующих значений напряжений  $U_1 = U_2$
2. равенство угловых частот  $\omega_1 = \omega_2$  или  $f_1 = f_2$
3. совпадение напряжений по фазе  $\psi_1 = \psi_2$  или  $\Theta = \psi_1 - \psi_2 = 0$ .

Точное выполнение этих требований создает идеальные условия, которые характеризуются тем, что в момент включения генератора уравнивающий ток статора будет равен нулю. Однако следует отметить, что выполнение условий точной синхронизации требует тщательной подгонки сравниваемых величин напряжения частоты и фазных углов напряжения генераторов.

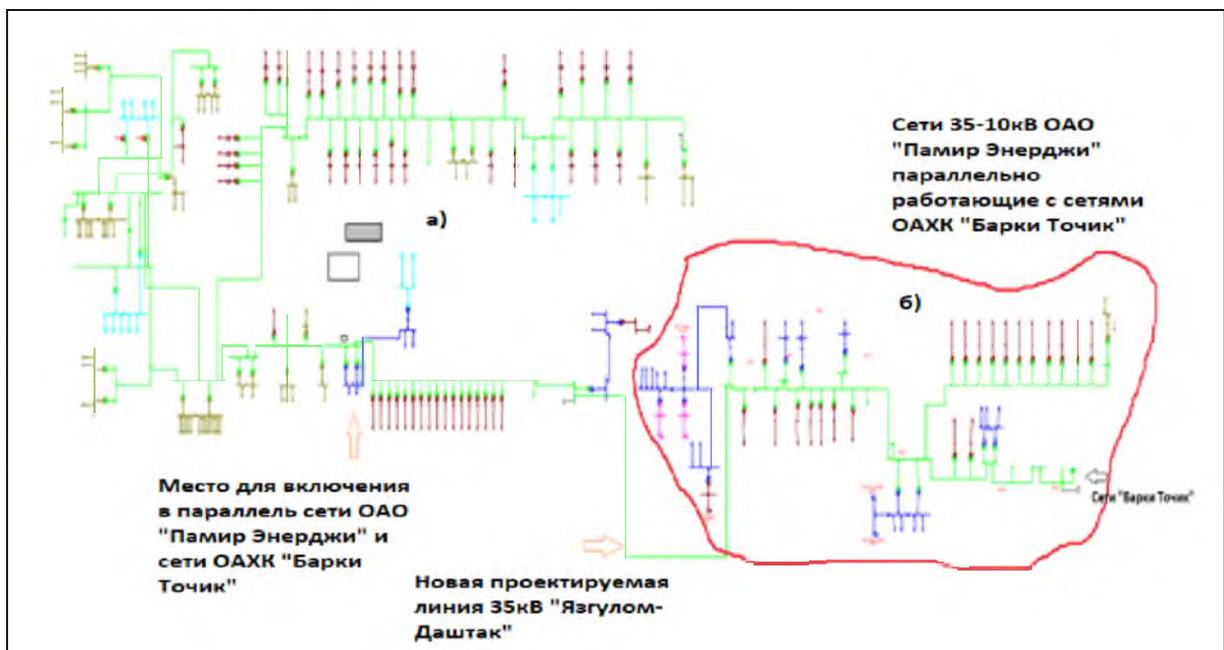


Рисунок 1. Однолинейная электрическая схема 35/10-0,4 кВ ОАО «Памир Энерджи».

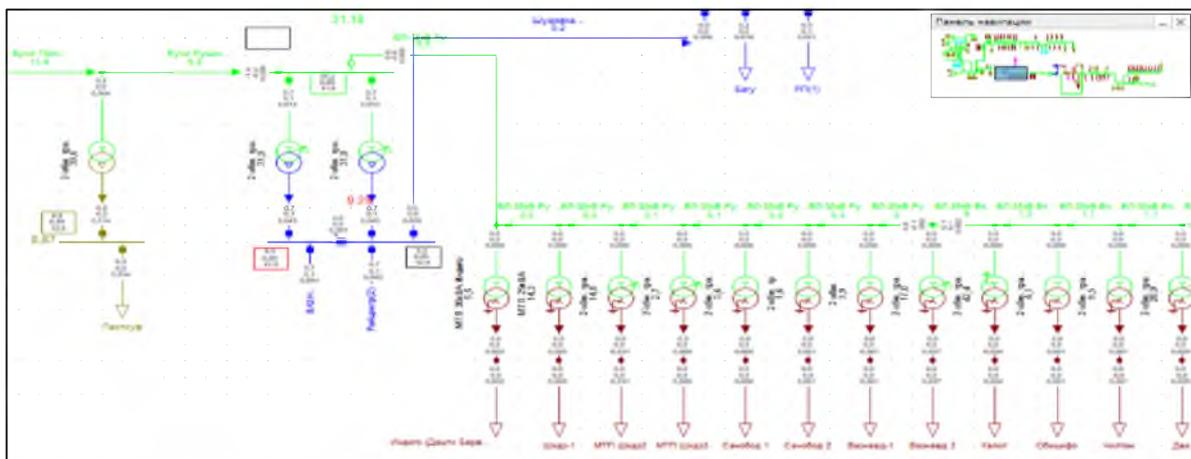


Рисунок 2. Детальное место включения в параллель энергосистем ОАО «Памир Энерджи» и ОАХК «Барки Точик» в программном комплексе Digsilent Power Factory.

В связи с этим на практике невозможно полностью выполнить идеальные условия синхронизации; они выполняются приближенно, с некоторыми небольшими отклонениями. При невыполнении одного из указанных выше условий, когда  $U_2$ , на выводах разомкнутого выключателя связи будет действовать разность напряжений:

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

При включении выключателя под действием этой разности потенциалов в цепи потечет уравнивающий ток, периодическая составляющая которого в начальный момент будет равно.

Рассмотрим случае отклонения от условий точной синхронизации, показанной на диаграмме (рисунок. 3):

- действующие напряжения сети  $U_1$  и  $U_2$  не равны, остальные условия соблюдаются.

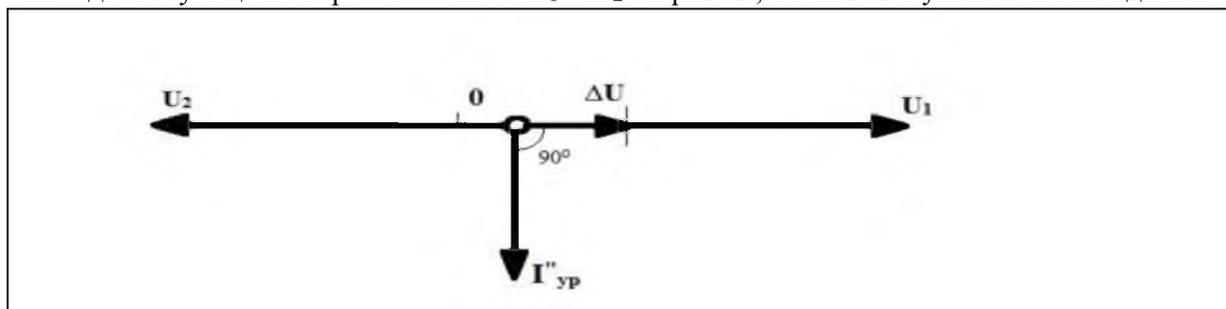


Рисунок. 3. Векторная диаграмма для случая неравенство, действующее значения напряжения в сети.

Как видно из диаграммы на рис. 3, неравенство действующих значений напряжений  $U_1$  и  $U_2$  обуславливает возникновение уравнивающего тока  $I''_{ур}$ , который будет почти чисто индуктивным, так как активные сопротивления генераторов и соединительных проводников сети весьма малы и ими пренебрегают. Этот ток не создает толчков активной мощности, а, следовательно, и механических напряжений в деталях генератора и турбины. В связи с этим при включении генераторов на параллельную работу разность напряжений может быть допущена до 5—10%, а в аварийных случаях — до 20%.

Для анализа этих величин в ПК Digsilent Power Factory было создано события «Включения выключателя ВЛ 35кВ Рушан Вазнавд» на 10 - ой секунде, и их результаты приведены в рисунок 4. и 5.

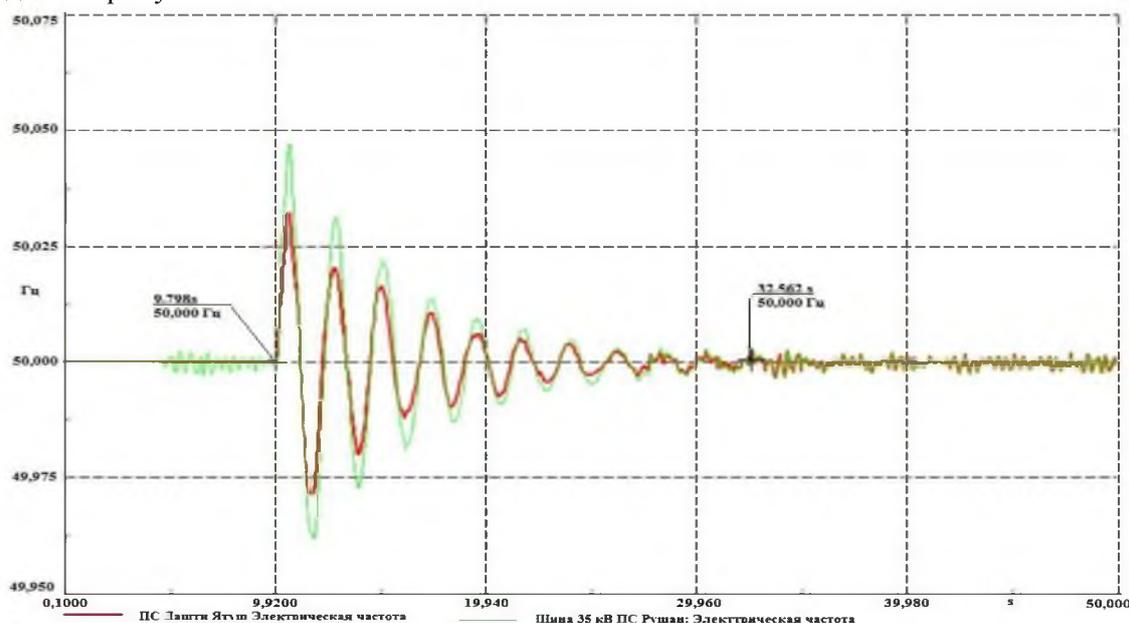


Рисунок 4. Электрическая частота при параллельном включении энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик».

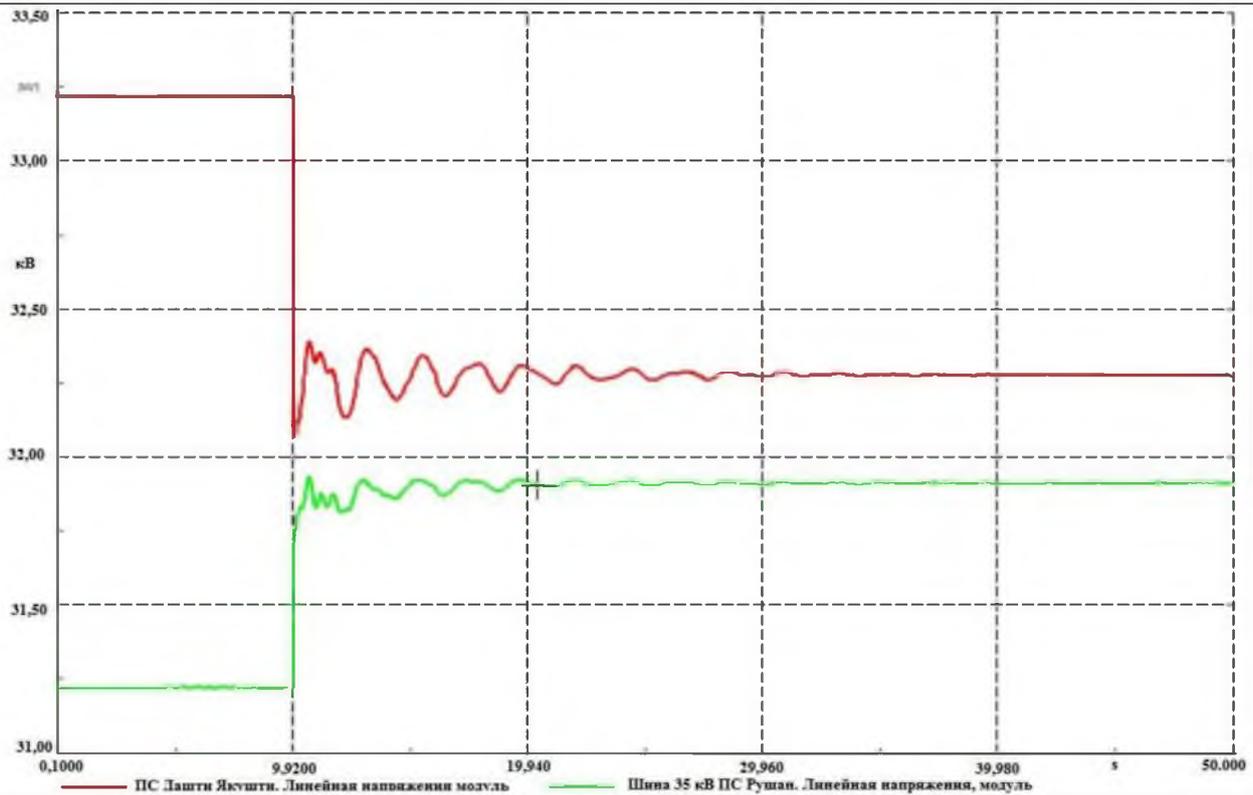


Рисунок 5. Величина напряжения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»

Из рисунка 5 видно, что величина напряжения при параллельном включении хотя соответствует стандарту ( $\Delta U = 6\%$ ), но длительность переходного процесса составляет около 22,56 секунд. Для стабилизации напряжения в сети были предложены использования батарей статических конденсаторов (БСК) в модель. Полученные результаты после установки БСК в модель, электрическая частота приведена в рисунок 6, и величина напряжения после установки БСК приведена в рисунке 7.

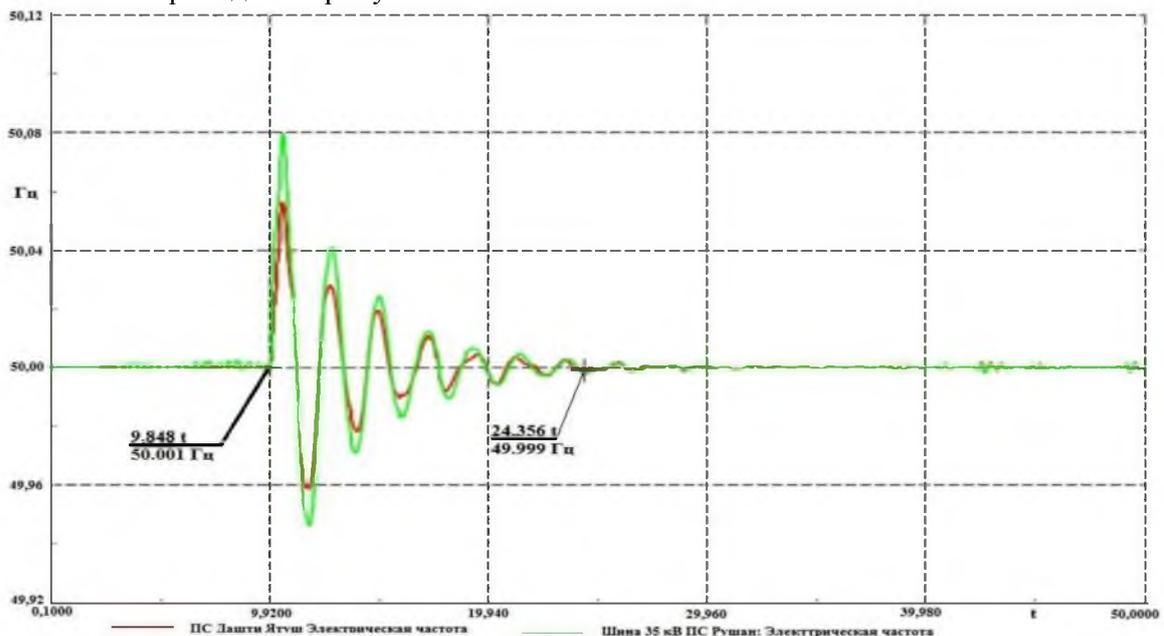


Рисунок 6. Электрическая частота после установки БСК в энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»

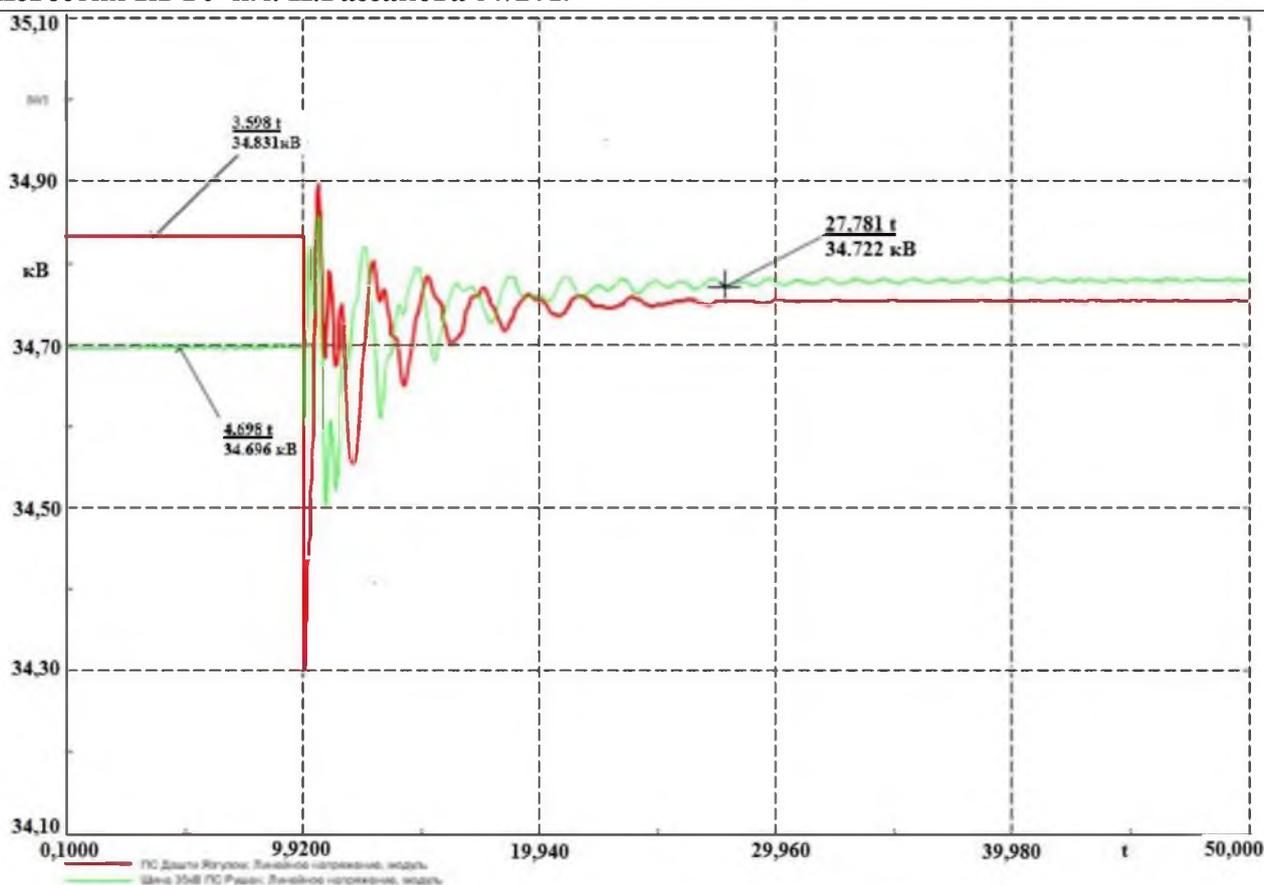


Рисунок 7. Величина напряжения после установки БСК энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»

Из рисунков 6 и 7 видно, что после установки БСК в энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» и в электрических сетях ОАХК «Барки Точик» уровень напряжения достигает номинального - 35 кВ и частота нормализуется-50,001 Гц.

### Выводы

В ходе исследований в данной работе были получены следующие результаты, которые имеют практическую значимость:

1. Выявлены проблемы, для необходимости параллельной работы энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»;
2. Определено оптимальное место для параллельного включения энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»;
3. Разработана математическая модель параллельной работы энергосистемы ОАО «Памир Энерджи» с электрическими сетями ОАХК «Барки Точик»;
4. При первом стадии расчёта, условия синхронизации в модель не соблюдалась:
  - разница по напряжению была около 6,5%;
  - длительность переходного процесса составляла около 22,56 секунд;
5. После установки БСК напряжения стало близким к номинальному 34,5 кВ и длительность переходного процесса проходит через 10 секунд.
6. Разработанная математическая модель позволяет рассчитать параметры двух энергосистем при различных вариациях исходных данных.

### Список литературы

1. Шведов Г.В. Оценка потенциальных ресурсов солнечной энергии на территории Республики Таджикистан/ Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, А.Г. Васьков// Электроэнергетика

глазами молодежи – 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах. Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. С. 212-215.

2. Shvedov G. V., Chorshanbiev S. R., Vaskov A G. "Analysis and Evaluation of Potential of Renewable Energy Resources of Republic of Tajikistan," 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018. pp. 26-33.

3. Информация за 2019 года Энергетическая компания ОАО «Памир Энерджи» Официальный сайт: <http://pamirenergy.com> (Дата обращения 24.02.2019 г.).

4. Чоршанбиев С.Р. Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Изво МЭИ, 2019.

5. Чоршанбиев С.Р. Анализ выработки, передачи и потребления электрической энергии в национальной энергетической компании ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан / С.Р. Чоршанбиев, Г.В. Шведов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2018. №4 (44). С. 27-35.

6. Shvedov G.V., Chorshanbiev S.R., Shvetsova E.V., Nazirov K.B. Impact of solar generation connected to 0.4 kV grid on the power losses and the shape factor of load curve// В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, С. 773-777.

7. Шведов Г.В., Чоршанбиев С.Р., Морсин И.А. Влияние распределенной солнечной генерации на потери электроэнергии в электрических сетях//Электроэнергетика глазами молодежи -2017: Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 125-128.

8. Nazirov K.B., Shvedov G.V., Chorshanbiev S.R., Dzhuraev S.D. Study of the operating modes of the 0.4 kV main distribution network, in Dushanbe city of the Republic of Tajikistan, with distributed solar generation for power losses and power quality estimation/В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, С. 737-742.

9. Ковырко А.В., Морсин И.А., Чоршанбиев С.Р., Шведов Г.В. Оценка влияния распределенной солнечной генерации на энергоэффективность электросетевой организации//Энергосбережение - теория и практика труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. 2018. С. 187-191.

10. Шведов Г.В. Анализ потерь электроэнергии в городских электрических сетях напряжением 6-10 кВ г. Душанбе Республики Таджикистан/ Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, М.У. Холматова//Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 1. № 2 (42). С.36-42.

11. Chorshanbiev S. R., Shvedov G. V., Nazirov K. B., Ganiev Z. S. Analysis of the influence of the operation of network-driven inverters of solar power plants on the operation mode of 0.4 kV electrical network in terms of electromagnetic compatibility// 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2019, pp. 946-950.

12. Шведов, Г.В., С.Р. Чоршанбиев Расчет и анализ технических потерь электроэнергии в городских распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кВ г. Душанбе//Известия: Кыргызского государственного технического университета им.И.Раззакова. -2017. №4 (44). С. 316-323.

13. Шведов Г.В. Методика управления генерацией солнечных батарей по критерию минимизации относительных потерь электроэнергии в электрических сетях/ Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, Ш.Д. Джураев // Вестник Московского энергетического института. 2019. № 1. С. 20-28.

14. Chorshanbiev S.R., Shvedov G.V. Assessment of the feasibility of solar generation on the criterion of minimizing relative power losses in electric networks// Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Материалы XXV Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, 2019, С. 960.

15. Шведов Г.В., Чоршанбиев С.Р. Анализ потерь электроэнергии и разработка мероприятий по их снижению в городских распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кВ/ Энергетик. 2019. № 1. С.31-34.

16. Chorshanbiev S.R., Shvedov G.V., Sultan H.M., Nazirov K. B., and Ismoilov F.O. "Structural analysis of power losses in (6-10 / 0.4 kV) urban distribution electric networks of the city of Dushanbe, the Republic of Tajikistan" // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019, pp. 942-945.

17. Руководство пользователя программного комплекса Digsilent Power Factory (версия 2018 SP4 (X64). Авторские права DigSILENT GmbH (C) 1986-2018.