

# АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4-500 КВ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Чоршанбиев Сироджиддин Ражаббокиевич, ассистент, Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10А. e-mail: sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru код ORCID 0000-0003-0439-7765*

*Шведов Галактион Владимирович, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, 111250, г. Москва, ул. Краснокозарменная 17. e-mail: shvedovgv@mpei.ru код: orcid.org/0000-0002-2308-672X*

**Аннотация.** В данной статье описываются результаты структурного анализа потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан.

Приведены сведения по количеству и установленной мощности трансформаторов понижающих подстанций и протяженности линий электропередачи Согдийской области Республики Таджикистан с разбивкой по классам напряжений 0,4-500 кВ.

Представлена структура технических потерь электроэнергии по классам напряжений и видам потерь. Выявлены предприятия электрических сетей Согдийской области с высокими уровнями относительных потерь электроэнергии. Также выявлены существенные отличия в соотношениях нагрузочных и условно-постоянных потерь в электрических сетях напряжением 35-500 кВ в некоторых предприятиях Согдийской области. Значения составляющих технических потерь электроэнергии сопоставлены со среднестатистическими значениями в электрических сетях России.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, электрические сети, структура технических потерь, линии электропередачи, Согдийская область, Республика Таджикистан.

## ANALYSIS OF ELECTRIC POWER LOSSES IN 0.4-500 KV ELECTRICAL NETWORKS OF THE SOGD REGION - REPUBLIC OF TAJIKISTAN

*Shorshanbiev Sirodzhiddin Razhabokievich, Teaching assistant, Tajik Technical University named after Academic M.S. Osimi, Republic of Tajikistan, 734042, Dushanbe, Acad. Radjabovs, 10A. E-mail: sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru, code: ORCID 0000-0003-0439-7765*

*Shvedov Galaktion Vladimirovich, Ph.D., Associate Professor, National Research University "MPEI", Russia, 111250, Moscow, st. Krasnokozarnennaya, 17. E-mail: shvedovgv@mpei.ru, code: orcid.org/0000-0002-2308-672X*

**Abstract.** This paper describes the results of structural analysis of electric power losses in the 0.4-500 kV electrical networks of in Sogd region of the Republic of Tajikistan.

The data about the number and installed capacity of the transformers of the step-down substations and the length of overhead transmission lines in the Sogd region of the Republic of Tajikistan are given and distributed according to the voltage level from 0.4-500 kV.

The structure of technical power losses by voltage level and types of power losses is presented. The enterprises of electric networks of Sogd region with high levels of relative losses of electricity are revealed. In addition, a significant deviation in the ratios of load and conditionally permanent losses in electric networks of 35-500 kV in some enterprises of the Sogd region are revealed. The values of the components of technical power losses are compared with the corresponding average values in the electrical networks of Russia.

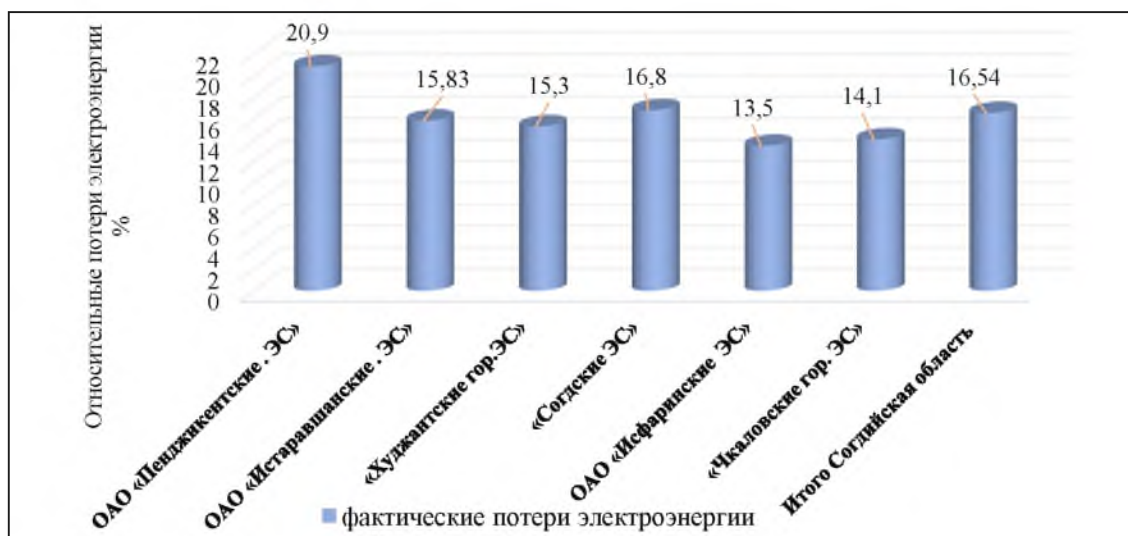
**Key words:** electric power losses, electric networks, structure of technical power losses, transmission lines, Sogd region, Republic of Tajikistan.

### Введение

Электрические сети Согдийской области, являются важнейшей инфраструктурной частью электроэнергетической системы Республики Таджикистан.

Электрические сети Согдийской области Республики Таджикистан работают в новых сложных условиях управления экономикой страны, ее производственно- технологической и хозяйственной деятельностью с существенно большей, чем ранее, ориентацией на интеграцию в мировое экономическое пространство, с поисками своего пути в этом пространстве. Не смотря на эти сложности, в электрических сетях Согдийской области широким фронтом ведутся работы по реконструкции, модернизации и инновационному развитию основного электросетевого оборудования и систем управления.

Энергетические обследования субъектов электроэнергетики Республики Таджикистан и в частности Согдийской области показывают, что работа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на электрических станциях, и в электрических сетях, зачастую носит формальный характер и за редким исключением, не дает желаемых результатов [1-4]. Свидетельство этого можно увидеть на рисунке 1. Фактические относительные потери электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан за 2016 год [5-9] превосходят допустимые пределы в 10%, которой считают максимально допустимым с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям [10].



**Рисунок 1.** Фактические относительные потери электроэнергии при её транспортировке по электрическим сетям 0,4-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан за 2016 год.

Как следует из рисунка 1, уровень относительных потерь электроэнергии, среди городских и районных электрических сетей составляет 13-21 %, и в целом по электрическим сетям Согдийской области в 2016 году составил 16,54 %,

Все это говорит о высокой актуальности и востребованности исследований в данной области, а также требует проведение полноценного анализа потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ Согдийской области. С связи с этим в данной статье рассматривается анализ потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан.

Электрические сети Согдийской области состоят из 6 районных и городских электрических сетей [5]: 1) ОАО «Пенджикентские . ЭС»; 2) ОАО «Истаравшанские . ЭС»; 3) «Худжантские гор.ЭС»; 4) «Согдские ЭС»; 5) ОАО «Исфаринские ЭС»; 6) «Чкаловские гор. ЭС».

В таблице 1 приведены данные об установленных мощностях трансформаторов понизительных подстанций (ПС) 6-500 кВ, а в таблице 2 приведены данные о протяженности воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий электропередач (ЛЭП) номинальным напряжением 0,4-500 кВ, которые входят в состав электрических сетей Согдийской области Республики Таджикистан [3,5].

Таблица 1.

**Установленная мощность и количество трансформаторов ПС 6-500 кВ, входящих в состав электрических сетей Согдийской области на 2015 г**

Высшее номинальное напряжение ПС, кВ	6-10-20-35/0,4	35	110	220	500	Итого
Количество трансформаторов, шт	3956	88	68	11	1	4124
Мощность трансформаторов, МВА	993,455	619,96	1770,1	1924	1002	6309,515

Из таблицы 1 видно, что суммарная установленная мощность трансформаторов ПС 6-500 кВ в целом по Согдийской области составляет 6309,515 МВА. Из них большую долю составляет мощность ПС напряжением 220 кВ - 1924 МВА (30,49%) и ПС напряжением 110 кВ – 1770,1 МВА (28,05%); доля остальных ПС: 6-10-20-35/0,4 кВ: 993,455 МВА (15,74%), 35 кВ: 619,96 МВА (9,82%), 500 кВ : 1002 МВА (15,9%).

Таблица 2.

**Протяженность ВЛ и КЛ 0,4-500 кВ, входящих в состав электрических сетей Согдийской области на 2015 г**

Тип ЛЭП	Длина ЛЭП, км, при номинальном напряжении, кВ						Сумма
	0,4	6-10-20	35	110	220	500	
ВЛ	*7595,91	6474,393	914,733	1124,07	547,35	157,3	16813,75
	*7595,91	6564,023	1092,953	1455,81	684,21	157,3	17550,20
КЛ	262,03	586,111	3,391	-	-	-	851,532
Итого							18401,73

Примечание: \* В числителе протяжённость по направлению, а в знаменатели- по цепи.

Из таблицы 2 видно, что суммарная протяженность ЛЭП 0,4-500 кВ в целом по республике составляет 18401,73 км, из них на долю ВЛ приходится 17550,20 км (95,4 %), на долю КЛ – 18401,73 (4,6%). Среди ВЛ существенно большую протяженность в сравнении с другими классами напряжения имеют линии 0,4 кВ 7595,91 км (что составляет 43,28%). Среди КЛ большую протяженность имеют КЛ напряжением 6-10-20 кВ – 586,111 км (что составляет 68,8%).

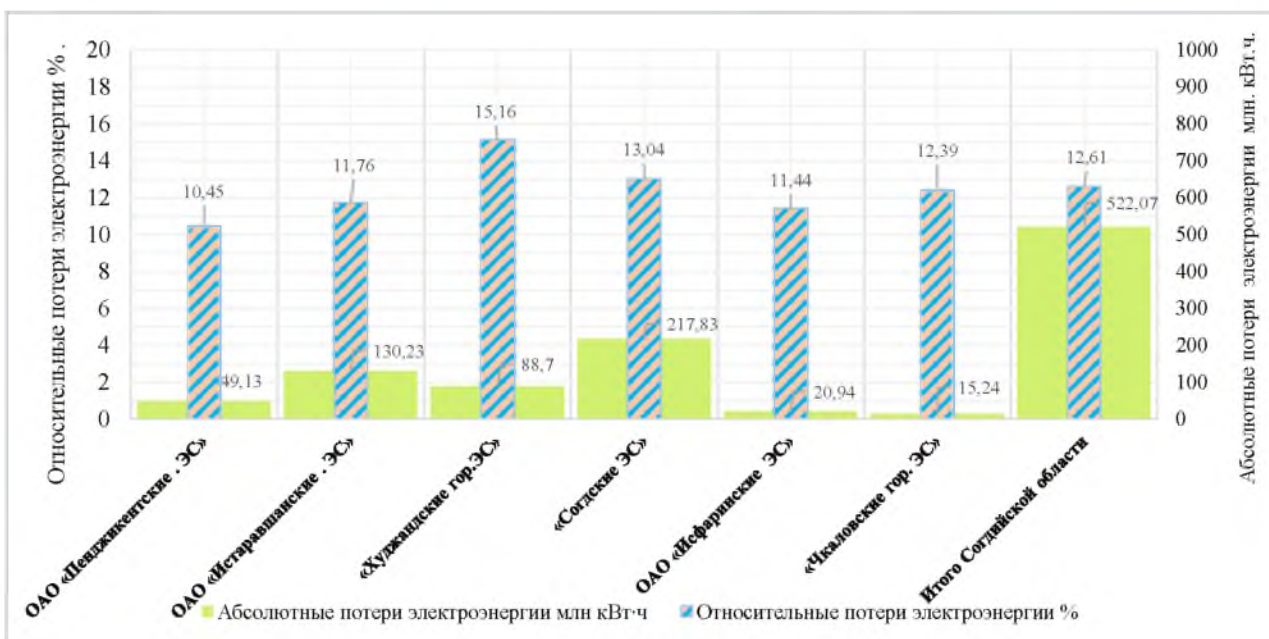
*Анализ потери электроэнергии в распределительных электрических сетях 6,10,0,4 кВ Согдийской области Республики Таджикистан.*

Согласно [11-13] в зарубежных развитых странах, уровень относительных потерь в распределительных сетях 6,10,0,4 кВ составляет от 3-5 %.

На рисунке 2 [5,8,14-16], приведены фактические абсолютные и относительные потери электроэнергии в распределительных сетях 6,10,0,4 кВ Согдийской области.

Как следует из рисунка 2 в распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кВ в целом по Согдийской области Республики Таджикистан в 2016 году уровень относительных потерь составил 12,61 % (абсолютные потери -522,07 млн кВт·ч).

Среди городских и районных распределительных электрических сетей 6-10/0,4 кВ высокий уровень потерь электроэнергии наблюдается в ОАО «Худжандские гор. ЭС» относительные потери – 15,16 % (абсолютные -88,7 млн кВт·ч), ОАО «Согдские ЭС» относительные – 13,04 % (абсолютные -217,83 млн кВт·ч), и ОАО «Чкаловские гор. ЭС» относительные – 12,39 % (абсолютные -15,42 млн кВт·ч).



**Рисунок 2.** Фактические потери электроэнергии (абсолютные и относительные) при её транспортировке по распределительным электрическим сетям 6-10/0,4 кВ Согдийской области Республики Таджикистан за 2016 год.

Республика имеет благоприятные условия для использования солнечной энергии за счет географического расположения и природно-климатических условий.

Последние годы, для повышения эффективности работы энергосистемы Республики Таджикистан активно внедряется распределенная генерация в виде солнечной энергии [8,17,18].

Детализированные научные исследования свидетельствует 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 условно-постоянных потерь в распределительных сетях 10 кВ (в первую очередь потерь холостого хода трансформаторов) [19-25]. С одной стороны, этот факт может стать одной из основных причин, высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных сетях 6,10, 0,4 кВ. С другой стороны, высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 6,10, 0,4 кВ вызван: изношенностью электрических сетей; неоптимальными режимами их работы, высокой неравномерностью графиков электрических нагрузок; неэффективностью систем учета

электроэнергии; отсутствием нормативно-правовых актов, программ направленных на снижение потерь электроэнергии; потери электроэнергии не рассчитываются на основе показаний системы учёта, собираются только значения фактических (отчетных) потерь электроэнергии; очаги потерь не выявляются.

*Анализ потерь электроэнергии в высоковольтных электрических сетях 35-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан.*

В таблице 2 приведены технические (нагрузочные и условно-постоянные) потери электроэнергии в высоковольтных электрических сетях 35-500 кВ по отдельным предприятиям электрических сетей Согдийской области.

Как следует из таблицы 3, отношение нагрузочных и условно- постоянных потерь в ОАО «Пенджикентские гор. ЭС» – 87,88 %: 12,12 %, ОАО «Истаравшанские гор. ЭС» – 65,98 % :34,02 %, ОАО «Худжантские гор.ЭС» – 64,39 % :35,61 %, ОАО «Согдские ЭС» – 68,37 % :31,63 %, ОАО «Исфаринские гор. ЭС» – 58,86 % :41,14 %, и в ОАО «Чкаловские гор.ЭС» - 57,12 % :42,88 %.

Из таблицы 3. видно, что среди технических потерь наибольшие потери наблюдается в ЛЭП. В ОАО «Пенджикентские гор. ЭС» -86,51 %, ОАО «Согдские ЭС» -71,63 %, ОАО «Истаравшанские гор. ЭС» -61,67 %.

Таблица 3.

**Технические потери электроэнергии в высоковольтных электрических сетях 35-500 кВ Согдийской области на 2015 г**

Наименование электрических сетей.	Передача электро-энергии млн кВт*ч	Технические потери, млн кВт*ч										Всего	%
		Нагрузочные				Условно- постоянные							
		ЛЭП	%	Трансформаторы	%	Климатические	%	Холостой ход трансформатора	%	Расход СНПС	%		
ОАО «Пенджикентские гор. ЭС»	405	37,76	85,22	1,18	2,66	0,57	1,29	2,41	5,44	2,39	5,39	44,31	10,9
ОАО «Истаравшанские гор. ЭС»	1019	29,4	56,8	4,75	9,18	2,52	4,87	9,25	17,9	5,84	11,3	51,76	5,08
ОАО «Худжантские гор.ЭС»	596	1,31	34,29	1,15	30,1	0,02	0,52	1,07	28,1	0,27	7,06	3,82	0,64
ОАО «Согдские ЭС»	1576	62,9	66,47	5,18	5,47	4,88	5,16	12,5	13,2	9,17	9,69	94,63	6
ОАО «Исфаринские гор. ЭС»	247	3,52	45,36	1,05	13,5	0,4	5,15	1,65	21,3	1,14	3,14	7,76	3,14
ОАО «Чкаловские гор.ЭС»	122	0,2	9,524	1	47,6			0,67	31,9	0,23	11	2,1	1,72

Причинами высокого уровня потерь электроэнергии в ЛЭП вышеуказанных предприятиях являются:

- в республике основная доля выработки электрической энергии приходится на южную часть республики, а эти РЭС находятся в северной части республики.

- эти РЭС охватывают очень протяженные территории с малой плотностью электрических нагрузок.

- в абсолютных величинах потери электроэнергии в этих сетях как следствие не очень большие, но при определении относительных значений, делением на величину очень маленького отпуска электроэнергии, получаются громоздкие значения.

В некоторых предприятиях наоборот, среди технических потерь наибольшие потери в трансформаторах. В ОАО «Худжантские гор.ЭС» - 58,2 %, ОАО «Чкаловские гор.ЭС» - 79,5 %. Это объясняется с тем что большинство трансформаторов в этих предприятиях не догружены.

### Выводы

В ходе анализа потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4-500 кВ Согдийской области Республики Таджикистан определено следующее:

1) Уровень относительных фактических потерь электроэнергии (по состоянию на 2016 г – 16,5%) существенно превышает порог в 10%, который считается максимально допустимым с точки зрения физики передачи электроэнергии по электрическим сетям. При этом в четырех из 4 предприятиях электрических сетей фактические потери превышают 15%;

2) Одной из основных причин, высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных сетях 6,10, 0,4 кВ является непосредственное подключение солнечной генерации к распределительной сети 6,10, 0,4 кВ, приводящее к существенной разгрузке электрических сетей и как следствие к значительному росту относительных условно-постоянных потерь в распределительных сетях 10 кВ (в первую очередь потерь холостого хода трансформаторов);

3) С другой стороны, высокий уровень потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 6,10, 0,4 кВ вызван: изношенностью электрических сетей; неоптимальными режимами их работы, неэффективностью систем учета электроэнергии; отсутствием нормативно-правовых актов, программ направленных на снижение потерь электроэнергии;

4) Выявлены предприятие в которых отношение нагрузочных и условно- постоянных потерь на напряжением 35-500 кВ, в среднем составляет 75%: 25 %, практически сопоставима с среднестатистическим значениям российской (70 %: 30%).

5) определено, что среди технических потерь на напряжением 35-500 кВ, наибольшие потери наблюдается в ЛЭП. В ОАО «Пенджикентские гор. ЭС» -86,51 %, ОАО «Согдские ЭС» -71,63 %, ОАО «Истаравшанские гор. ЭС» -61,67 %. их причиной являются:

- в республике основная доля выработки электрической энергии приходится на южную часть республики, а эти РЭС находятся в северной части республики.

- эти РЭС охватывают очень протяженные территории с малой плотностью электрических нагрузок.

- в абсолютных величинах потери электроэнергии в этих сетях как следствие не очень большие, но при определении относительных значений, делением на величину очень маленького отпуска электроэнергии, получаются громоздкие значения.

6) В некоторых предприятиях наоборот, среди технических потерь наибольшие потери в трансформаторах. В ОАО «Худжантские гор.ЭС» - 58,2 %, ОАО «Чкаловские гор.ЭС» - 79,5 %. Это объясняется с тем что большинство трансформаторов в этих предприятиях не догружены.

### Список литературы

1. 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.

2. Инструментальная оценка качества электроэнергии в энергосистеме Республики Таджикистан / Ю. В. Шаров, В. Н. Тульский, Ш. Дж. Джураев и др. // В сб. тр. Межд. науч.-практ. конф., 23-25 ноября 2016 г. -М.: МЭИ, 2017. С. 219-226.

3. Шведов Г.В. Структурный анализ потерь электроэнергии в электрических сетях 35-500 кВ Республики Таджикистан / Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, Х.Б. Назиров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2018. №1(41). С. 74-86.

4. Назиров Х.Б. Оценка влияния современных электроприёмников бытового сектора на качества электроэнергии / Х.Б. Назиров, С.Р. Чоршанбиев, П.А. Юнусов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2016. №1(33). С. 12-19.

5. Информация за 2016 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». <http://www.barqitojik.tj> (Дата обращения 01.07.2018 г.)

6. Чоршанбиев, С.Р. Расчет потерь электроэнергии в высоковольтных городских электрических сетях г. Душанбе Республики Таджикистан / С.Р. Чоршанбиев, Г.В. Шведов // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): сб. тр. V Всероссийской научно-технической конференции (к 50-летию юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетики и электротехники) ТГУ, 01-06 ноября 2017 г. -Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 178-183.

7. Шведов Г.В. Разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии в высоковольтных электрических сетях (на примере ОАО "Пенджикентские ЭС" Республики Таджикистан / Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2018. -№2. С. 222-226.

8. 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: Из-во МЭИ, 2019.

9. 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.

10. Бохмат И.С, Воротницкий В.Э., Татаринев Е.П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. -Электрические станции, 1998, №9.

11. D. Sodnomdorj, Ch. Zunduisuren, Sh. Gantumur, S. Uuganbayar, M. Narantuya, L. Dolgorsuren, D. Battulga, "Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory" 2006 International Forum on Strategic Technology. Ulsan, South Korea, 2006, pp. 51-54. DOI: 10.1109/IFOST.2006.312244.

12. Hamed Emara Kassem ; Mohammed Badr ; Salwa Ali Ahmed, "Reduction of energy losses in electrical distribution systems" 2nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). Stockholm, Sweden, 2013, pp. 1-4. DOI: 10.1049/cp.2013.0589.

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

14. 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.

15. Чоршанбиев С.Р. Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): Автореферат...канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.
16. Sirojiddin. R. Chorshanbiev, Galaktion. V. Shvedov, Hamdy. M. Sultan, Khurshed. B. Nazirov, and Firdavs. O. Ismoilov "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. Шведов Г.В., Чоршанбиев С.Р., Васьков А.Г. Оценка потенциальных ресурсов солнечной энергии на территории Республики Таджикистан/ Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах. Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. С. 212-215.
18. G. V. Shvedov., S.R. Chorshanbiev., 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.
19. 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.
20. 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.
21. Ковыркин 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.