



Energetik tizimlarning elektr tarmoqlarida energetik ekspertizalarni o'tkazish to'g'risida

Olga V. Radionova¹, Rashid A. Sitdikov^{1, a)}

^{1,a)} DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD, dots. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Dolzarbli: aholi turmush sifatini belgilovchi ijtimoiy, iqtisodiy va ekologik parametrlar tizimining barqarorligini ta'minlovchi muhim omillardan biri va davlat boshqaruvi samaradorligining ko'rsatkichi samarali elektr energetikasi hisoblanadi. Elektr energetika tizimlarining (EET) rivojlanishi va murakkablashuvi - ishlab chiqarish manbalarini diversifikatsiya qilish, raqamlashtirish, intellektuallashtirish, qayta tiklanadigan energiya manbalarini (QTEM) jadal rivojlantirish, mikrotarmoqlarning paydo bo'lishi va boshqalarni vaqti-vaqti bilan o'tkazish va takomillashtirish zarurati tug'iladi. EET ob'ektlarining, ayniqsa elektr tarmoqlarining energiya ekspertizasi samaradorligi.

Maqsad: elektr tarmog'i uskunasi uchun ekspluatatsion xususiyatlarini qiyosiy baholash uchun energiya ekspertizalarini o'tkazishning chastotasini asoslash va vazifalarni kengaytirish: xavfsizlik, ekologik tozalik, ishonchlilik, omon qolish, rejimni optimallashtirish, energiya sifati va boshqalar, bu muammolarni ta'minlaydi. - EETning erkin va samarali ishlashi, shuningdek, uning O'zbekistonda yanada rivojlanishi.

Usullari: elektr tarmoqlarining energetika ekspertizalari natijalarini tizimli tahlil qilish, shuningdek, energiya qurilmalarini ekspertizadan o'tkazishning xorijiy tajribasini o'rganish va turli turdagi energetika ekspertizasini solishtirishdan foydalaniladi.

Natijalar: elektr tarmoqlarining energetik ekspertizalarini davriy o'tkazishning kompleks va samaradorligini kengaytiradigan tegishli vazifalar spektri asoslanadi va taklif etiladi; ularni amalga oshirish uchun tegishli yondashuvlar taklif etildi.

Kalit so'zlari: energetika ekspertizasi, elektr tarmoqlari, vaqtinchalik o'tkazish, vazifalarni kengaytirish, komplekslik, foydalanish kasblari, samaradorligini oshirish.

For citation: Radionova O.V., Sitdikov R.A. About energy expertizes of electrical networks of energy systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 1-2, pp. 1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13058859>.

Received: 13.05.2024

Revised: 20.05.2024

Accepted: 08.06.2024

Published: 22.07.2024

Copyright: © Olga V. Radionova, Rashid A. Sitdikov, 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/>).

О проведении энергетических экспертиз электрических сетей энергосистем

Ольга В. Радионова¹, Рашид А. Ситдигов^{1, a)}

^{1,a)} DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD, доц. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Актуальность: одним из важнейших факторов устойчивости системы социальных, экономических и экологических параметров, определяющих качество жизни населения, и показателем эффективности государственного управления, является эффективная электроэнергетика. С развитием и усложнением электроэнергетических систем (ЭЭС) - диверсификацией источников генерации, цифровизацией, интеллектуализацией, бурным развитием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), появлением микросетей и др., появилась необходимость периодического проведения и повышения эффективности энергетических экспертиз объектов ЭЭС, особенно электрических сетей.

Цель: обоснование периодичности и расширение задач проведения энергетических экспертиз для сравнительных оценок эксплуатационных свойств оборудования электрических сетей: безопасности, экологичности, надежности, живучести, оптимизации режимов, качества электроэнергии и др., что позволит обеспечить безаварийность и эффективность работы ЭЭС, а также её дальнейшее развитие в Узбекистане.

Методы: используется системный анализ результатов энергетических экспертиз электрических сетей, а также изучение зарубежного опыта проведения экспертиз энергоустановок и сравнительный анализ различных видов энергетической экспертизы.

Результаты: обосновывается и предлагается соответствующий спектр задач, расширяющих комплексность и эффективность периодического проведения энергетических экспертиз электрических сетей; предложены соответствующие подходы для их практической реализации.



Ключевые слова: энергетическая экспертиза, электрические сети ЭЭС, периодическое проведение, расширение задач, комплексность, эксплуатационные свойства, повышение эффективности.

About energy expertizes of electrical networks of energy systems

Olga V. Radionova¹, Rashid A. Sitdikov^{1, a)}

^{1, a)} DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD., Assoc., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Relevance: one of the most important factors in the sustainability of the system of social, economic and environmental parameters that determine the quality of life of the population, and an indicator of the effectiveness of public administration, is an efficient electric power industry. With the development and complexity of electric power systems (EPS) - diversification of generation sources, digitalization, intellectualization, rapid development of renewable energy sources (RES), the emergence of microgrids, etc., there is a need to periodically conduct and improve the efficiency of energy expertise of EPS facilities, especially electrical networks.

Aim: justification of the frequency and expansion of the tasks of conducting energy examinations for comparative assessments of the operational properties of electrical network equipment: safety, environmental friendliness, reliability, survivability, mode optimization, power quality, etc., which will ensure the trouble-free and efficient operation of the EPS, as well as its further development in Uzbekistan.

Methods: a systematic analysis of the results of energy examinations of electrical networks is used, as well as the study of foreign experience in conducting examinations of power installations and a comparative analysis of various types of energy examination.

Results: the corresponding range of tasks is justified and proposed, expanding the complexity and efficiency of periodic energy examinations of electrical networks; appropriate approaches for their practical implementation are proposed.

Key words: energy expertise, electrical networks of EPS, periodic conduct, expansion of tasks, complexity, operational properties, increasing efficiency.

1. Введение (Introduction)

Электроэнергетическая отрасль пронизывает и объединяет все сферы экономики любого государства, в том числе народного хозяйства Узбекистана, а динамика ее развития непосредственно предопределяет уровень развития экономики страны. В последние годы в электроэнергетике Республики Узбекистан происходят радикальные изменения, приняты меры по стимулированию использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и диверсификации структуры топливно-энергетических ресурсов. В нашей стране активно развиваются традиционные источники электроэнергии – ТЭС, ГЭС, а также появились крупные электрические станции на ВИЭ (солнечные - ФЭС, ветровые - ВЭС), намечено строительство атомной электростанции, а также нескольких ГАЭС; появилось понимание того, что устаревшие высоковольтные электрические сети республики нуждаются в модернизации и инновациях.

В соответствии со статьёй 14 Закона Республики Узбекистан от 25.04.1997, №412-I «О рациональном использовании энергии» для определённых категорий потребителей необходимо в определённых случаях проводить энергетические экспертизы. В этом и последующих законодательных и подзаконных актах [1-10], связанных с повышением эффективности энергетики, основное внимание уделяется энергетическим обследованиям (энергетическим аудитам): правилам их проведения, программам, методологии и т.д. Большое внимание уделено проведению энергетических аудитов электрических сетей [9-10]; в то же время процедурам проведения энергетических экспертиз практически уделяется недостаточно внимания. Поэтому в настоящее время появилась настоятельная необходимость увеличить периодичность и значимость проведения энергетических экспертиз - это требование диктуется увеличением мощностей электроэнергетики, усложнением эксплуатационных факторов, а также профилактикой аварий и серьезных отклонений потребителей [11-14].

В энергосистеме Узбекистана в январе 2022 года произошёл блекаут, который показал, что подобные аварии недопустимы; их можно избежать путём проведения профилактических энергетических экспертиз для обнаружения слабых мест в энергосистемах, особенно в подсистемах



управления, передачи и распределения электроэнергии. Своевременное и периодическое проведение комплексных энергетических экспертиз электрических сетей позволит получать данные об эффективности ведения режимов, состоянии оборудования, в том числе о состоянии систем автоматизированного управления, релейной защиты и автоматики (РЗА), микросетей и других объектов и видов оборудования.

Электрические сети являются объединяющим, агрегирующим звеном, связывающим электрические станции с потребителями. Это диктует необходимость проведения периодических энергетических экспертиз электрических сетей для обеспечения надёжности, живучести, безопасности, оптимальности, качества электроэнергии и др., в условиях использования ВИЭ, развития цифровизации и интеллектуализации отрасли. Необходимы комплексные энергетические экспертизы: по эффективности ведения режимов, состоянию оборудования; о системах диспетчерского управления, АСУ ТП, АСДУ, АИИСКУЭ; необходимы периодические экспертизы систем релейной защиты и автоматики (РЗА), измерительных систем, телемеханики, сигнализации и др. Это позволит своевременно преодолевать различные вызовы в задачах эксплуатации электроэнергетики и обеспечить её гармоничное развитие.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Рассмотрим задачи, требующие периодического и комплексного проведения энергетических экспертиз электрических сетей, а также значение термина «энергетическая экспертиза» и его использование.

Энергетическая экспертиза - экспертиза, проводимая в области энергоэффективности проектов и схем энергоснабжения, энергопроизводящего и энергопотребляющего оборудования на действующих, вновь вводимых и реконструируемых объектах, и на соответствие нормативно-правовым актам. Это разновидность инженерно-технической экспертизы, объектом исследования которой является оборудование, прямо или косвенно связанное с генерацией, распределением, преобразованием, транспортировкой и измерением энергетических ресурсов [15,16]. Это оценка соответствия или несоответствия объекта экспертизы решению задач, указанных в проектной документации: результатом экспертизы является экспертное заключение.

Согласно [1,4,9], «*энергетической экспертизе для оценки энергоэффективности и энергоёмкости подлежат оборудование, производящее и потребляющее энергию, а также продукция, при производстве которой используется энергия. Энергетическая экспертиза проектной документации новых и реконструируемых объектов, технологий и оборудования является обязательной*». Энергетическая экспертиза должна проводиться по Правилам проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно-энергетических ресурсов, утверждённых Постановлением Кабинета Министров РУз от 07.08.2006, № 164.

Типовая программа проведения энергетической экспертизы [9] предусматривает: определение соответствия выполненного проекта техническому заданию; ознакомление с техническими характеристиками выбранного оборудования с целью определения возможности выполнения поставленных задач, указанных в техническом задании; сопоставление принятого в процессе проектирования оборудования с существующими аналогами ближнего и дальнего зарубежья по таким показателям: надёжность, энергобезопасность, энергоэффективность, ремонтпригодность, простота в эксплуатации, наличие запасных частей или возможность их изготовления в республике; оценка соответствия проекта законодательству и нормативным актам (КМК, ШНК, СНиП, РД и др.). Производится оценка правильности выбора оборудования с точки зрения прогрессивности принятых технологических решений; оценка выполнения условий взрывобезопасности, охраны окружающей среды и водного бассейна, охраны труда, правил техники безопасности и правил технической эксплуатации; оценка правильности выполнения расчета технико-экономических показателей проектируемого объекта; сопоставление принятого и других возможных вариантов проекта; оценка воздействия технических решений на окружающую среду и достаточности в проекте природоохранных решений; оценка технического уровня средств автоматизации, контроля и учета параметров объекта, позволяющих введение оптимальных режимов работы оборудования.

Подчеркнем, что вышеуказанные энергетические экспертизы носят единичный характер, проводятся только для определённых случаев и при определённых обстоятельствах.

Учитывая важнейшую роль электрических сетей энергосистем, в настоящей работе предлагается:

- перейти от проведения единичных к периодическим энергетическим экспертизам электрических сетей;
- расширить и определить специфические задачи проведения энергетических экспертиз объектов и оборудования электрических сетей энергосистем;
- скорректировать и утвердить соответствующую нормативно-методическую базу.

Рассмотрим некоторые специфические задачи предлагаемых периодических энергетических



экспертиз.

Расчёты режимов электрических сетей энергосистем. Расчёты электрических режимов являются основой для эффективной эксплуатации электрических сетей и принятия решений о необходимости их развития, позволяют определить её состояние в заданный момент времени и рекомендовать необходимые изменения. Энергетическая экспертиза режимов должна периодически проводиться независимыми экспертами, и включать следующие виды расчётов электрических режимов и их анализ:

- расчёты установившихся электрических режимов;
- расчёты предельно и максимально допустимых электрических режимов;
- расчеты токов короткого замыкания;
- расчёты и анализ статической и динамической устойчивости;
- расчёты коммутационных перенапряжений;
- расчеты по оптимизации электрических режимов;
- структурный анализ потерь электрической энергии и мощности.

Расчёты установившихся электрических режимов выполняются для электрических сетей с целью определения параметров рабочих режимов и ремонтных коммутаций в электрической сети:

- выбора оптимального состава оборудования внутри электрической сети;
- выбора режимов, мощностей и мест размещения компенсирующих устройств;
- выбора коэффициентов трансформации силовых трансформаторов с учётом уменьшения суммарных потерь активной мощности в электрических сетях;
- выбора рабочей схемы электрических подстанций и сетей;
- проведения анализа допустимой токовой загрузки линий электропередачи и трансформаторов с учётом зависимости допустимого тока от температуры окружающей среды;
- определения перспектив развития района электрической сети в целом или на данной территории.

Особенно важно то, что расчеты установившихся электрических режимов, как правило, являются основой для проведения других расчетов.

Расчёты электрических режимов выполняются для оперативного, краткосрочного и среднесрочного планирования, составления перспективных планов развития.

Установившиеся электрические режимы характеризуются неизменными параметрами энергосистемы. Внутрисуточные, оперативные изменения режимов рассматриваются как последовательность установившихся электрических режимов; такие расчёты выполняются на основании математической модели электрической сети, сформированной по расчетной схеме, исходя из параметров линий электропередачи, трансформаторов и автотрансформаторов, шунтирующих реакторов, генераторов и др., с использованием результатов контрольных измерений потокораспределения, нагрузок и уровней напряжения в электрических сетях ЭЭС.

Расчёты электрических режимов при краткосрочном планировании выполняются на каждый день недели в целях определения балансов электрической энергии и мощности, а также диспетчерского графика. Результаты расчётов электрических режимов определяют возможность ремонтов линий электропередачи и оборудования подстанций (исходя из токовой загрузки). При возникновении аварийных ситуаций и выполнения вынужденных ремонтов оборудования на основании расчётов электрических режимов определяют схемно-режимные мероприятия, позволяющие произвести ремонт вышедшего из строя оборудования, сохранив загрузку оборудования и уровни напряжений в допустимых пределах.

При экспертизах среднесрочного планирования режимов осуществляются расчёты балансов электрической энергии и мощности на периоды: год, квартал, месяц, при этом графики ремонтов линий электропередачи и оборудования подстанций должны быть рассмотрены в части допустимости режима работы электрической сети. Расчётами электрических режимов определяется работа электрической сети, обеспечивающая допустимые нагрузки и уровни напряжений.

При составлении перспективных, на несколько лет, планов и балансов, а также при разработке схем и программ перспективного развития энергосистем выполняются расчёты установившихся электрических режимов с целью определения объёмов развития и создания объектов электросетевого комплекса. Перспективные схемы развития должны обеспечивать надёжное электроснабжение потребителей электроэнергией, качество которой должно соответствовать требованиям государственного стандарта, устойчивую работу электрической сети энергосистемы, а также экономичное распределение потоков активной и реактивной мощности.

Расчёты токов короткого замыкания (к.з.) производятся для проверки главных схем и оборудования электрических сетей, определения отключающей способности выключателей, термической или динамической стойкости оборудования к токам к.з., выбора и настройки устройств РЗА.



Расчёты токов к.з. выполняются в порядке текущей эксплуатации для определения схем электрических соединений энергосистем, электрических сетей, а также настройки средств релейной защиты и автоматики для нормальных и ремонтных режимов. При этом должно обеспечиваться соответствие токов к.з. значениям, допустимым для оборудования.

Выбор оборудования при реконструкциях и новом строительстве по условию соответствия токам к.з. осуществляется на основании результатов расчётов токов к.з., выполняемых на год ввода в эксплуатацию и с перспективой на 5-7 лет после ввода в эксплуатацию.

При проектировании развития электрической сети энергосистемы выполняются расчёты трёхфазных и однофазных токов короткого замыкания в целях:

- проверки соответствия установленной коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах существующих объектов энергосистемы расчётным значениям токов к.з. и определения объёма проведения необходимой модернизации и замены оборудования;
- использования при анализе технико-экономических показателей вариантов схемных решений с различными уровнями токов короткого замыкания;
- выявления требований к коммутационной аппаратуре и другому оборудованию распределительных устройств при конкретном проектировании, а также для оценки необходимости использования новых видов оборудования;
- разработки мероприятий по ограничению токов к.з.

Расчёты и анализ статической и динамической устойчивости выполняются при выборе главных схем электрических станций, а также для обеспечения нормального протекания возможных аварийных и послеаварийных режимов работы оборудования станций, и прилегающих электрических сетей при эксплуатации. На основании результатов расчётов статической и динамической устойчивости определяются мероприятия для повышения устойчивости электроэнергетических систем, включая настройку средств противоаварийной автоматики; кроме того, расчёты устойчивости следует проводить при разработке и уточнении требований к основному оборудованию энергосистем, релейной защиты и автоматики, а также системам регулирования по условиям устойчивости.

В целях выполнения расчётов устойчивости составляется расчётная схема, включающая в себя элементы электрической сети (линии электропередачи, трансформаторы и автотрансформаторы, реакторы, генераторы, синхронные компенсаторы и электродвигатели).

При рассмотрении режимов работы энергосистем различают установившиеся и переходные режимы энергосистем. Аварийные переходные процессы возникают при резких изменениях режима. К ним относятся короткие замыкания в системе с последующим их отключением, а также случайные (аварийные) отключения агрегатов или линий электропередачи, несущих значительные нагрузки, т.е. оказывающие большие возмущающие воздействия на систему. Такие воздействия приводят к значительным отклонениям режима от исходного состояния.

Нарушение динамической устойчивости наиболее вероятно вследствие коротких замыканий в электрических сетях. Основными мерами по повышению динамической устойчивости являются: быстрое отключение участков с коротким замыканием, автоматическое повторное включение (АПВ) линий электропередачи, применение других средств противоаварийной автоматики (АВР) и быстродействующих систем возбуждения генераторов электростанций, использование электрического и механического торможения генераторов.

Динамический переход от одного режима к другому подвергается качественной оценке. Динамические процессы, возникающие при больших возмущениях в энергосистемах, продолжаются, как правило, несколько секунд. При расчётах этих процессов за 3-5 секунд расчётного периода времени становится ясно, сохраняется или не сохраняется динамическая устойчивость. В расчётах оценивается характер протекания переходного процесса и характер нового установившегося режима.

Расчёты динамической устойчивости включают в себя:

- расчёт параметров динамического перехода при эксплуатационном или аварийном отключении нагруженных элементов электрической системы;
- расчёт параметров динамических переходов при коротком замыкании в системе с учётом возможности перехода одного вида несимметричного короткого замыкания в другое;
- расчёт параметров динамических переходов при коротком замыкании в системе с учётом работы устройства АПВ элемента, отключённого при коротком замыкании.

Критерием оценки динамической устойчивости является коэффициент динамической устойчивости. При этом динамическая устойчивость сохраняется, если коэффициент динамической устойчивости больше или равен нормативной величине.

Отключение генераторов во время динамического перехода является наиболее распространённым средством сохранения динамической устойчивости простых и сложных электроэнергетических систем при наличии и отсутствии АПВ.



Также автоматические регуляторы возбуждения генераторов реагируют на изменение их напряжения и других параметров режима и, тем самым, оказывают влияние на протекание переходных процессов в энергосистемах. Однако, в некоторых случаях этого влияния недостаточно. Для сохранения динамической устойчивости энергосистемы используется дополнительное автоматическое воздействие на систему автоматического регулятора возбуждения (АРВ) с целью повышения тока возбуждения – форсировка возбуждения.

Расчёты динамической устойчивости выполняются для:

- определения предельного времени отключения расчётного вида короткого замыкания в наиболее опасных точках системы;
- формирования требований к основному оборудованию электростанций и сети, релейной защите и автоматике;
- определения параметров настройки средств противоаварийной автоматики, систем регулирования и управления, релейной защиты, автоматического повторного включения;
- выбора схемы энергосистемы с определённым составом электростанций и подстанций;
- оценки допустимости рабочих режимов энергосистемы;
- выбора мероприятий по повышению устойчивости энергосистемы.

Расчёты коммутационных перенапряжений выполняются для определения возможности включения и отключения ненагруженной линии электропередачи, допустимости отключения ненагруженных трансформаторов, применения автоматического повторного включения (АПВ), а также для предупреждения возможных последствий при иных возмущениях в электрических сетях с высоким реактивным сопротивлением. На основании результатов расчётов разрабатываются мероприятия защиты от коммутационных перенапряжений.

Оптимизация электрических режимов: расчёт предельных режимов по передаваемой мощности энергосистемы и определение опасных сечений, оптимизация электрической сети по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности, расчёт оптимальных положений и уставок регуляторов трансформаторов под нагрузкой (РПН) и положений вольтодобавочных трансформаторов, разработку мероприятий ограничения токов короткого замыкания.

Периодическое диагностирование энергобезопасности является частью многокритериального анализа, поэтому в процессе составления оценки стоит перейти от количественной оценки многих индикаторов к качественной. Однако, при переходе к методу нечетких множеств, определение границ пороговых значений с параметров «высокая» и «низкая», переходят к функциям математического аппарата. Следуя тому, что пороговые значения многих критериев могут изменяться с течением времени или путем изменения других индикаторов, наиболее точных результатов можно добиться логическими методами.

Структурный анализ потерь электрической энергии и мощности - по характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения. Данный анализ выполняется с целью разработки мероприятий для снижения потерь электрической энергии и мощности.

Рекомендованные выше периодические мероприятия расчётов режимов электрической сети, а также расчётов токов короткого замыкания, статической и динамической устойчивости, коммутационных перенапряжений, разработки мероприятий по оптимизации электрических режимов позволят:

- обеспечить подключение соответствующего количества потребителей при минимуме затрат;
- определить параметры оптимизации конфигурации и состава оборудования;
- повысить надёжность работы электрической сети, уменьшить потери электрической энергии и мощности;
- оптимизировать управление существующих и определить места установки новых устройств компенсации реактивной мощности;
- разработать рекомендации по оптимальному управлению режимами работы электрической сети;
- повысить качество поставляемой электроэнергии.

Таким образом, от периодичности и точности расчётов электрических режимов зависят: надёжность и устойчивость работы электрической сети, генерирующего оборудования, величина потерь электроэнергии и мощности, экономическая эффективность работы каждого конкретного элемента электрической сети и электросетей в целом. Поэтому вышеуказанные расчёты, их анализ должны периодически проводиться независимыми экспертами по результатам энергетических экспертиз.

Подчёркнём, что при этом необходим системный подход и обоснование для развития методов энергетического анализа, что позволит своевременно определять ближайшие и долгосрочные потребности в модернизации и развитии электрических сетей.



3. Результаты (Results)

Высокая скорость развития технологий в современном мире позволяет человеку использовать имеющиеся энергетические ресурсы в самых разнообразных целях. Это позволяет выбирать максимально выгодные условия достижения поставленных задач с точки зрения эффективности технологий, надежности, качества, безопасности, экономии средств, экологии и т.д. Однако есть и негативная сторона прогресса - увеличение разнообразия технических средств и решений передачи и распределения электроэнергии для использования различными потребителями, сопровождается ужесточением различных правил и предъявляемых требований, а их точное соблюдение вызывает затруднения у соответствующих служб эксплуатации.

Рассмотрим экспертизу необходимости управления работой линий электропередачи использованием устройств силовой электроники [17]. Известно, что пропускная способность линий 220–750 кВ ограничивается нагревом проводов и устойчивостью электропередачи. Причем с увеличением длины линий второй фактор (устойчивость) определяет предел передаваемой мощности. Известно, что передаваемая по линии без потерь активная мощность и потребляемая по ее концам реактивная мощность в зависимости от угла передачи определяются как:

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin \delta; Q_1 = \frac{U_1(U_1 - U_2 \cos \delta)}{X_L}; Q_2 = \frac{U_2(U_2 - U_1 \cos \delta)}{X_L}, \quad (1)$$

где U_1, U_2 – напряжения в начале и в конце линии; X_L – индуктивное сопротивление линии; δ – угол между векторами \vec{U}_1 и \vec{U}_2 .

Ограничения передаваемой мощности P_0 вызваны необходимостью обеспечить статическую устойчивость в нормальном режиме с коэффициентом запаса по передаваемой мощности:

$$K_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_n} 100\% > 20\%, \quad (2)$$

где предельная мощность:

$$P_{\text{пр}} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \text{ при } \delta = \pi / 2.$$

Также нужно обеспечить динамическую устойчивость в аварийном режиме и передачу требуемой мощности по ЛЭП в послеаварийном режиме с запасом $K_{\text{зап}} \geq 8\%$.

Как следует из выражения (1), предел передаваемой мощности $P_{\text{пр}}$ длинных ВЛ может быть увеличен за счет снижения сопротивления линии путем:

- деления линии на части при установке в середине линии статического тиристорного компенсатора реактивной мощности (СТК). Существенное повышение пропускной способности ЛЭП происходит в диапазоне углов $90^\circ < \delta \leq 180^\circ$ или в так называемой зоне искусственной устойчивости, в которой аварийное отключение СТК может привести к потере устойчивости электропередачи;

- введения в линию устройства продольной компенсации (ПК) с емкостным сопротивлением X_C . Кроме повышения пропускной способности линии, ПК позволяет перераспределять мощность между параллельными линиями электропередачи за счет изменения сопротивления ВЛ.

Для перераспределения мощности между параллельными связями неодинаковой длины, а также разных классов напряжений применяют фазоповоротные устройства (ФПУ).

Все эти устройства являются классическими и изменяют передаваемую по линии мощность, воздействуя на один из трех параметров: СТК – на напряжение, ПК – на сопротивление линии, а ФПУ – на угол передачи. Естественно, что необходимо проведение экспертизы для определения эффективного механизма воздействия на передаваемую мощность в конкретных условиях эксплуатации.

Опыт многих стран указывает на целесообразность ухода от крупной централизованной энергетической системы к децентрализованной (распределенной) системе, где крупные энергетические источники заменяются несколькими источниками, с меньшей установленной мощностью; в случае тепловых электрических станций, подобная замена уменьшает суммарные затраты на модернизацию энергетики до 30 % [18]. Еще одним преимуществом использования источников малой генерации в распределенной генерации является то, что они позволяют снизить потери электроэнергии в сетях.

Особую остроту при проведении энергетических экспертиз имеют вопросы обеспечения надежного функционирования системы управления режимами ЭЭС (диспетчерских служб, центров), включая вопросы информационной и кибербезопасности [19-23].

Анализ развития электроэнергетики показывает, что рост количества и мощности электроприёмников таких, как силовая и бытовая электроника, выпрямители, стабилизаторы, инверторы (частотно-регулируемый электропривод, компьютерная, офисная и бытовая техника, светодиодное освещение и т.п.) уменьшает регулирующие эффекты нагрузки по напряжению и частоте.

Проблемы, связанные с качеством напряжения возникают при коммутации мощных



потребителей, а также из-за пульсирующих колебаний напряжения генераторов ВЭС и ФЭС. Например, в [24] отмечается, что в дневное время на ЛЭП 0,4 кВ с большим количеством подключённых фотоэлектрических установок может возникнуть обратный поток мощности, превышающий номинальные значения напряжения более чем на 10 %, что может привести к повреждениям оборудования. В вечерние часы активность солнечного излучения снижается, но возникает потребность в одновременной зарядке большого количества электромобилей. При этом также происходит перегрузка сетевого оборудования.

При этом изменяется гармонический состав токов, а значит и питающее напряжение электроприёмников, что создаст дополнительные проблемы управления режимами электрических сетей ЭЭС. При этом возрастает роль разного рода компенсирующих устройств, включая активных потребителей [25,26], управляющих электропотреблением в режиме реального времени в зависимости от ценовых условий на рынке электроэнергии путем переноса нагрузки ряда электроприёмников из зон с высокими тарифами на электроэнергию в низкие.

Потребители с отмеченными выше особенностями нагрузочных характеристик, влияние преобразователей, накопителей и малой генерации существенно меняют структуру, свойства, режимы и управляемость ЭЭС. Большая переменчивость режимов работы ВЭС и ФЭС, реакция активных потребителей, возможности накопителей электроэнергии могут вносить неопределённость в функционирование диспетчерских служб ЭЭС. Эту неопределённость можно значительно уменьшить проведением энергетических экспертиз.

В табл.1 нами предлагается спектр задач, который следует решать проведением периодических энергетических экспертиз (кроме предусмотренных в типовой программе [9]).

Таблица 1. Задачи, решаемые процедурами проведения энергетических экспертиз
Table 1. Problems solved by energy expertise procedures

№	Мероприятие, процедура, задача	Периодичность
1	Расчеты установившихся, переходных и других видов режимов электрических сетей.	5 лет
2	Расчеты статической и динамической устойчивости режима электрической сети.	5-7 лет
3	Эффективность используемых методов оптимизации режимов.	3года
4	Методы регулирования напряжения в сети и её элементах.	5 лет
5	Оценка эффективности систем РЗА и др. (по видам).	ежегодно
6	Соответствие противоаварийного управления решению задач обеспечения надёжности.	3 года
7	Влияние объектов малой генерации (микросетей, ВИЭ) на живучесть ЭЭС.	ежегодно
8	Параллельные и островные режимы микросетей с центральными сетями.	ежегодно
9	Эффективность использования ВИЭ при различных метеоусловиях.	ежегодно
10	Влияние преобразовательной техники на качество электроэнергии.	ежегодно
11	Балансы графиков активной и реактивной мощности сети.	ежегодно
12	Использование потребителей-регуляторов для регулирования графиков нагрузки.	ежегодно
13	Эксплуатация компенсирующих устройств реактивной мощности.	3 года
14	Технологии повышения пропускной способности ЛЭП.	ежегодно
15	Комплектность состава различных видов оборудования и установок.	ежегодно
16	Определения степени морального и физического старения оборудования.	5 лет
17	Необходимость модернизации конкретных видов оборудования и устройств.	5 лет
18	Использование и эффективность дифференцированных тарифов.	3-5 лет
19	Влияние роста количества электромобилей на режимы электрических сетей.	ежегодно
20	Эффективность использования различных накопителей и систем хранения энергии.	3 года
21	Соответствие структуры АСУ ТП решаемым задачам объекта.	3 года
22	Эффективность структуры и организации АСДУ энергетического объекта.	ежегодно
23	Цифровизация и интеллектуализации электрических сетей.	3 года
24	Решения проблем кибербезопасности в электроэнергетике.	ежегодно
25	Экологическая экспертиза; использование зелёных тарифов, зеленых закупок и т.п.	3 года
26	Метрологическая экспертиза измерительных устройств и средств передачи данных.	3-5 лет
27	Соответствие ПУЭ, ПТБ другим нормативным документам.	5 лет
28	Стандартизация; соответствие международным стандартам серий 9000, 15000 и другим.	3-7 лет
29	Использование передового зарубежного опыта.	3 года
30	Наличие и достаточность соответствующих специалистов необходимой квалификации.	ежегодно
31	Расчёты коммутационных перенапряжений.	3-5лет

Становление распределённой энергетики вызвало появление так называемых «виртуальных электростанций» (VPP – virtual power plants), которые при наличии соответствующих инструментов оптимизируют графики выдачи и потребления мощности на основе программно-аппаратного комплекса, управляя интеллектуальной сетью средствами решения задач распределения потоков. Учитываются показатели качества электроэнергии, гибкость ценообразования и



другие, отражающие эффективность преобразования, распределения и потребления электрической энергии [21-23,27].

Развитие ЭЭС на современной базе интеллектуальной энергосистемы (Smart Grid), также диктует периодическое проведение энергетических экспертиз для определения и нивелирования потенциально негативных тенденций в изменениях свойств ЭЭС. Результатом энергетической экспертизы должна стать разработка вариантов (стратегий) комплекса организационных и технических мероприятий и средств повышения надёжности и эффективности электрических сетей, особенно 0,4 -10 кВ, на основе анализа причин отключений, существующей организации эксплуатации, технического состояния, повреждаемости, надёжности и т.д. электрических сетей. Необходима экспертиза совместимости новых цифровых и старых аналоговых устройств РЗиА, регулирования, управления, сигнализации и др.

4. Обсуждение (Discussion)

Большинство вышеуказанных расчетов электрических сетей регулярно проводятся соответствующими службами ЭЭС, ответственными за их эксплуатацию. Такие расчеты являются рутинными, проводимыми согласно соответствующим правилам и руководящим документам (РД). Их недостаток заключается в том, что в РД не всегда учитываются накапливающиеся со временем изменения в параметрах и режимах оборудования, а расчеты, проводимые эксплуатационными службами, не являются экспертизой, в них часто отсутствует комплексность и учет различных, чаще всего внешних факторов: экологии, кибербезопасности, экономичности, системности и пр.

Это подтверждает необходимость периодического проведения энергетических экспертиз электрических сетей разного уровня.

Отметим также, что в последние годы в республике произведён огромный объем работ по следующим направлениям повышения эффективности эксплуатации оборудования:

- выявление причин чрезмерного расхода энергоресурсов;
- выявление нарушений в эксплуатации оборудования, в том числе и в ведении эксплуатационной документации;
- расследование несчастных случаев, технологических нарушений и аварий (пожаров), выявление причин их возникновения.

Работа в направлении расширения и углубления задач, решаемых энергетическими экспертами, должна быть поддержана административными органами, а также научным сообществом: необходимы поиск, проведение исследований, разработка методов проведения экспертиз, обработки и анализа соответствующей информации для снятия неопределенности о факторах, влияющих на эффективность функционирования электрических сетей различного напряжения.

Обозначенные мероприятия, процедуры и задачи энергетических экспертиз могут различаться для различных видов электрических сетей: по назначению, напряжению, структуре и т.д. Такие экспертизы являются дополнением к типовым экспертизам и должны проводиться по соответствующим методикам и программам. Руководствуясь принципами системного подхода, экспертизы сложных объектов необходимо расценивать комплексно, в совокупности всех значащих факторов и связей между элементами электрической сети. Безусловно, что состав мероприятий может быть различным, другая периодичность проведения энергетических экспертиз для обеспечения необходимых уровней детализации, для формирования объективной информации о состоянии объекта экспертизы [28-30].

Кем проводится энергетическая экспертиза? Для проведения вышеуказанных энергетических экспертиз электрических сетей необходимо организовать специальную группу энергоэкспертов (например, при «Инспекции по контролю в электроэнергетике» - Узэнергоинспекции [6,31]), которая должна включать компетентных специалистов в области энергетики (инженеры, магистры, PhD, DS и др.), прошедшими дополнительную подготовку в области энергетической экспертизы. Группа может иметь постоянный и/или временный состав. Обычно это специалисты, имеющие опыт в области электроэнергетики, владеющие специальными знаниями для проведения энергетических экспертиз электрических сетей разного уровня. У экспертов-специалистов может быть ученая степень кандидата (PhD) или доктора технических наук (DS) в соответствующей сфере электроэнергетики.

Энергоэксперты проводят энергетическую экспертизу вышеприведённых задач по расширенной комплексной программе, составленной на основе типовой; в результате составляется экспертное заключение, которое содержит обоснованные выводы экспертов. Как правило, заключение включает:

- введение (титульный лист, место проведения экспертизы; основание и программу экспертизы, состав экспертной группы, фамилию, имя и отчество каждого эксперта, образование, специальность, стаж работы, ученую степень и (или) ученое звание, занимаемую должность;



вопросы, поставленные перед экспертами, объекты исследований, материалы проведения экспертизы);

- основную часть (исследуемые параметры и характеристики, признаки и свойства объектов и материалов, представленных на исследование, применение различных средств, моделей, методов, расчетов и приёмов исследования, проведённые лабораторные испытания и др.);
- аналитическую часть (предварительный анализ и оценка полученных данных);
- результаты и заключение (ответы на поставленные перед экспертами вопросы);
- перечень использованных материалов и источников;
- приложения.

Необходимость проведения энергетических экспертиз постоянно возрастает; растёт и потребность в квалифицированных специалистах-экспертах, в том числе с опытом работы в электросетевых организациях, готовых также помочь в разрешении следующих вопросов:

- определение количества недопоставленной или ненадлежащего качества электроэнергии;
- определение правильности расчетов различных видов режимов, а также технологических потерь электроэнергии;
- определение правильности актов раздела границ эксплуатационной и балансовой принадлежности;
- определение правильности выставления счетов за электроэнергию;
- определение эффективности функционирования АСКУЭ;
- определение параметров режимов работы микросетей (в островном и параллельном с ЭЭС режимах работы);
- разрешение спорных вопросов между сетевой, сбытовой и потребляющей организациями;
- расчеты нагрузок, балансов активной и реактивной мощностей для заключения договора энергоснабжения с юридическими лицами.

Вышеуказанные сведения говорят о необходимости расширения задач энергетических экспертиз, которые периодически должны проводить компетентные специалисты-эксперты.

5. Заключение (Conclusion)

1. Проведение периодических энергетических экспертиз электрических сетей является критически важным элементом надёжности функционирования современных ЭЭС и всего энергопотребляющего комплекса.

2. Следует расширить цели и задачи проведения энергетических экспертиз электрических сетей ЭЭС, придать им комплексный и периодический характер, подчинив их глобальным целям – надёжному, безопасному и экономичному производству, передаче, распределению и потреблению электроэнергии. Внедрение периодических экспертных процедур повысит энергобезопасность, экологичность, надёжность и устойчивость развития электроэнергетики страны.

3. Проведением периодических энергетических экспертиз электрических сетей энергосистем можно своевременно выявить их слабые места, элементы и зоны повышенной опасности и уязвимости. Не надо ожидать реализации какого-либо события в ЭЭС (аварии, пуска после реконструкции и др.) для проведения экспертизы, а проводить энергетическую экспертизу периодически, для своевременного устранения и нейтрализации различных угроз и повышения энергоэффективности режимов сетей.

4. Для достижения указанных целей необходимо создание специальной экспертной группы (под эгидой Узэнергоинспекции); необходимо также создание курсов повышения квалификации и переподготовки специалистов по проведению энергетических экспертиз.

5. Проведение энергетических экспертиз необходимо рассматривать как непрерывный системный процесс диагностики и анализа состояния, режимов электрических сетей. Неоспоримым положительным моментом проведения энергетических экспертиз является уменьшение неопределённости технического состояния и режимов многих объектов электрических сетей ЭЭС.

6. По результатам энергетических экспертиз составляется экспертное заключение, в котором указываются установленные отклонения от варианта с наилучшими энергетическими показателями, а также соответствующие предложения по их устранению. В заключении приводятся фактические энергетические показатели оборудования; указываются энергетические объекты, которые имеют отклонения показателей от эксплуатационных и паспортных значений. При этом даются рекомендации по проведению следующих энергетических экспертиз.

7. Развитие электроэнергетики в Узбекистане, характеризующееся, в том числе, развитием электрических сетей ЭЭС, тесными связями с энергосистемами стран Центральной Азии, ужесточением экологических требований, широким использованием ВИЭ, тенденциями перехода к распределённой энергетике, внедрением интеллектуализации и др., показывает, что необходимо разработать типовые методы и программы периодического проведения энергетических экспертиз электрических сетей; в некоторых случаях возможно совмещение задач и координация



процедур проведения энергетических экспертиз с проведением энергетических обследований (энергоаудитов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии». Ташкент, 25.04.1997, №412-I.
2. Закон Республики Узбекистан «Об электроэнергетике». Ташкент, 2009, ЗРУ №225.
3. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии», 21 мая 2019 г., № ЗРУ-539.
4. Закон Республики Узбекистан «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии»», 14.07. 2020, № ЗРУ-628.
5. Указ Президента РУз № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».
6. Указ Президента Республики Узбекистан от 1 февраля 2019 г. № УП-5646 «О мерах по коренному совершенствованию системы управления топливно-энергетической отраслью Республики Узбекистан».
7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 июля 2016 года № ПП-2559 «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики».
8. 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».
9. Типовая программа проведения энергетических обследований тепловых электрических станций и районных котельных. Утверждена Инспекцией Узгосэнергонадзор в 2006 г.
10. Насиров Т.Х., Сытдыков Р.А. Энергетические обследования предприятий энергетической отрасли Узбекистана. Методическое пособие. – Ташкент, 2014. – 280 с.
11. Насиров Т.Х., Ситдиқов Р.А. и др. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. – Т.: Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи, 2020. – 276 с.
12. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.
13. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием активного потребителя / под ред. Бушуева В.В. – М.: Энергия, 2013. – 84 с.
14. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Моделирование режимов электрических систем. – Т.: Fan va texnologiya, 2016. – 336 с.
15. Вороничкий В.Э. Энергосбережение и повышение энергоэффективности в электрических сетях: Справочно-методическое издание /под ред. А.Г. Вакулко. – М.: Интехэнерго-Издат, 2016. – 336 с.
16. Троицкий-Марков Т.Е. Научно-методические принципы энергосбережения и энергоаудита. /Том 1. Научно-методические принципы энергоаудита и энергоменеджмента. – М.: Наука, 2005. – 537 с.
17. Кочкин В.И. Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП. // Новости Электротехники. 2021, №2(128)-3(129).
18. Воропай Н.И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Матер. Междунар. научно-практической конф., «Малая энергетика-2005», 2005. – С. 9-11.
19. Снижение рисков каскадных аварий в электроэнергетических системах / Отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2011. – 303 с.
20. Радионова О.В. Специальные вопросы релейной защиты и автоматики электрических станций и систем. – Т.: Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи, 2024. – 284 с.
21. Папков Б.В., Куликов А.Л., Осокин В.Л. Проблемы кибербезопасности электроэнергетики. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2017. – 96 с.
22. Нудельман Г.С., Онисова О.А. Совершенствование делительной автоматики по напряжению для электростанций распределённой энергетики // «Релейная защита и автоматика энергосистем - 2017». 25-28 апреля 2017 г., Санкт-Петербург.
23. Бухгольц Б.М., Стычински З.Ф. Smart Grids - основы технологии энергосистем будущего. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 461 с.
24. Папков Б.В., Осокин В.Л. и др. Особенности управления объектами современной электроэнергетической системы // Вестник НГИЭИ, 2021. № 7 (122). – С. 26-37.
25. Сытдыков Р.А. Управление спросом на электроэнергию и режимы электроэнергетических систем // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, 2009, № 3-4. – С. 42-47.



26. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Технологии управляемых гибких электропередач переменного тока и их применение в электроэнергетических системах. – Ташкент: Изд-во “Navro’z”, 2019.
27. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М., Шаисматов С.Э. и др. Обеспечение качества электрической энергии. – Т.: Fan va texnologiya, 2019.
28. Жуков О.А., Ушаков В.Я. Экспертиза в энергетике и электротехнике. Генезис электроэкспертологии // Известия Томского политехнического университета. –Т., 2013, 322. -№4. -С.82-87.
29. Жуков О.А. Акронимический подход к электроэкспертизам // Энергетика: Эффективность, надёжность, безопасность: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: СПб Графика, 2012. – С. 96-98.
30. Осика Л.К. Расчетные методы интеллектуальных измерений (Smart Metering) в задачах учета и сбережения электроэнергии. Практическое пособие. – М: МЭИ, 2013.
31. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 24 июня 2019 года № 520 «О мерах по организации деятельности инспекции ... по контролю в электроэнергетике при Министерстве энергетики Республики Узбекистан».

REFERENCES

1. Law of the Republic of Uzbekistan “On the rational use of energy”. Tashkent, 04/25/1997, No. 412-I. (In Russ.).
2. Law of the Republic of Uzbekistan “On Electric Power Industry” Tashkent. 2009. No. 225. (In Russ.).
3. Law of the Republic of Uzbekistan “On the use of renewable energy sources”, May 21, 2019, No. ZRU-539. (In Russ.).
4. Law of the Republic of Uzbekistan “On introducing amendments and additions to the Law of the Republic of Uzbekistan “On the rational use of energy”” 14.07. 2020, No. ZRU-628. (In Russ.).
5. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-6079 dated 10/05/2020 “On approval of the strategy “Digital Uzbekistan-2030” and measures for its effective implementation.” (In Russ.).
6. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 1, 2019 No. UP-5646 “On measures to radically improve the management system of the fuel and energy industry of the Republic of Uzbekistan.” (In Russ.).
7. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated July 13, 2016 No. PP-2559 “On measures to further improve scientific and technical activities in the field of electric power industry.” (In Russ.).
8. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated August 22, 2019 No. PP-4422 “On accelerated measures to improve the energy efficiency of economic and social sectors, the introduction of energy-saving technologies and the development of renewable energy sources.” (In Russ.).
9. Rules for conducting energy surveys and energy examinations of consumers of fuel and energy resources. Approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 164 dated August 7, 2006. (In Russ.).
10. Nasirov T.Kh., Sitdikov R.A. Energy surveys of enterprises in the energy industry of Uzbekistan. Toolkit. – Tashkent, 2014, 280 p. (In Russ.).
11. Nasirov T.Kh., Sitdikov R.A. and others. Methods for increasing the efficiency of modes of electrical networks of power systems. *Innovation rivojlanish nasriyot-matbaa uyi*, 2020. Pp. 276. (In Russ.).
12. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development ed. Salimov A.U. T.: *Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi*, 2021. pp. 952. (In Russ.).
13. Bushuev V.V. Intellectual development of the electric power industry with the participation of an active consumer. *M.: Energy*, 2013. pp. 84. (In Russ.).
14. Nasirov T.Kh., Radionova O.V. Modeling of electrical systems modes. T.: *Fan va texnologiya*, 2016. – 336 p. (In Russ.).
15. Vorotnitsky V.E. Energy saving and increasing energy efficiency in electrical networks: Reference and methodological publication / ed. A.G. Vakulko. – M.: *Intekhenergo-Publishing*, 2016. 336 p. (In Russ.).
16. Troitsky-Markov T.E. Scientific and methodological principles of energy saving and energy audit. Volume 1. Scientific and methodological principles of energy audit and energy management. – M.: *Nauka*, 2005. pp.537. (In Russ.).
17. Kochkin V.I. New technologies for increasing transmission capacity of power lines. *News of Electrical Engineering*, 2021, No. 2(128)-3(129). (In Russ.).
18. Voropai N.I. Distributed generation in electric power systems // Mater. Intl. scientific-practical



- conference, “Small Energy-2005”, 2005. pp. 9-11. (In Russ.).
19. Reducing the risks of cascading accidents in electrical power systems / Responsible. ed. N.I. Voropai. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2011. pp.303. (In Russ.).
20. Radionova O.V. Special issues of relay protection and automation of power plants and systems. – T.: Innovation rivozhlanish nashriyot-matbaa uyi, 2024. – 284 p. (In Russ.).
21. Papkov B.V., Kulikov A.L., Osokin V.L. Problems of cybersecurity in the electric power industry. M.: NTF "Energoprogress", 2017. pp.96. (In Russ.).
22. Nudelman G.S., Onisova O.A. Improving voltage dividing automation for distributed energy power plants // “Relay protection and automation of power systems - 2017”. April 25-28, 2017, St. Petersburg. (In Russ.).
23. Buchholz B.M., Styczynski Z.F. Smart Grids - the foundations of the energy system technology of the future. – M.: MPEI Publishing House, 2017. – 461 p. (In Russ.).
24. Papkov B.V., Osokin V.L. and others. Features of managing objects of the modern electric power system. *Bulletin of NGIEI*, 2021. No. 7 (122). pp. 26-37. (In Russ.).
25. Sitdikov R.A. Managing the demand for electricity and modes of electric power systems. *Energy va resource tezhash muammolari*, 2009, no. 3-4. pp. 42-47. (In Russ.).
26. Misrikhanov M.Sh., Khamidov Sh.V. Technologies of controlled flexible AC power transmissions and their application in electric power systems. *Tashkent: Publishing house “Navro‘z”*, 2019. (In Russ.).
27. Allaev K.R., Mirzabaev A.M., Shaismatov S.E. and others. Ensuring the quality of electrical energy. T.: *Fan va texnologiya*, 2019. (In Russ.).
28. Zhukov O.A., Ushakov V.Ya. Expertise in energy and electrical engineering. Genesis of electroexpertology. *News of Tomsk Polytechnic University*, 2013. T. 322. no. 4. pp. 82-87. (In Russ.).
29. Zhukov O.A. Acronymic approach to electrical examinations. Energy: Efficiency, reliability, safety: materials of the XVIII All-Russian Scientific and Technical Conference. *Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: St. Petersburg Graphics*, 2012. pp. 96-98. (In Russ.).
30. Osika L.K. Calculation methods of smart metering (Smart Metering) in problems of electricity metering and conservation. Practical guide. – M: MPEI, 2013. (In Russ.).
31. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan dated June 24, 2019 no. 520 “On measures to organize the activities of the inspectorate ... for control in the electric power industry under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan. (In Russ.).