

УДК: 621.391

DOI: 10.65599/ENG4701

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЛИНИЙ 6–10 кВ НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТАДЖИКИСТАНА**Р.Т. Абдуллозода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведена общая характеристика повреждаемости линий электропередачи напряжением 6–10 кВ в ряде подстанций Филиала ОАО «Распределительные электрические сети» города Куляба. В рамках проведённого исследования выполнен статистический анализ повреждаемости, выявлена специфика местных условий эксплуатации электроустановок, а также произведён анализ аварийных отключений на отдельных рассматриваемых отходящих линиях по временам года. В результате проведённого анализа установлено, что наибольшее количество аварийных отключений приходится на зимний период, что обусловлено возрастанием электрической нагрузки на элементы системы электроснабжения. Кроме того, приведены данные по каждой рассматриваемой отходящей линии, отражено их количество и рассмотрены меры по восстановлению нормального режима электроснабжения. При этом следует отметить, что анализ проведён на основе достоверной информации, полученной из оперативных журналов, которые прошиты, пронумерованы и утверждены подписями ответственных лиц и печатью организации.

Ключевые слова: электрические сети, релейная защита, автоматика, замыкания на землю, определение места повреждения.

ТАҲЛИЛИ ОМОРИИ ВАЙРОНШАВИҶОИ ХАТҶОИ ИНТИҚОЛИ 6–10 кВ ДАР МИСОЛИ ЗЕРИСТГОҶҶОИ АЛОҶИДАИ ҚИСМИ ҶАНУБИИ ТОҶИКИСТОН**Р.Т. Абдуллозода**

Дар мақола тавсифоти умумии вайроншавиҷои хатҷои интиқоли барқии шиддати 6–10 кВ дар якҷанд зеристгоҷҳои Филиали ҶСК «Шабақаҳои тақсимои барқ» дар ш. Кӯлоб оварда шудааст. Дар доираи тадқиқоти гузаронидашуда таҳлили омории вайроншавиҷо иҷро шуда, хусусиятҳои шароити маҳаллии истифодаи таҷҳизоти барқӣ муайян карда шудааст, ҳамчунин таҳлили хомушшавиҷои садамавӣ дар хатҳои баромад вобаста ба мавсими сол гузаронида шудааст. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки миқдори зиёди хомушшавиҷои садамавӣ ба мавсими зимистон рост меояд, ки ин бо зиёдшавии сарбории элементҳои системаҳои электротаминкунӣ алоқаманд мебошад. Илова бар ин, маълумот барои ҳар як хатти баромад алоҳида пешниҳод гардида, миқдори хомушшавиҷо он нишон дода шуда, чораҳои барқарорсозии речаи муқаррарии системаи электротаминкунӣ баррасӣ шудаанд. Таҳлили омории дар асоси маълумоти саҳеҳ аз журналҳои амалиётӣ сурат гирифтааст, ки ин журналҳо бастабандӣ ва рақамгузорӣ шуда, бо имзои шахсони масъул ва муҳри муассиса тасдиқ гардидаанд.

Калидвожаҳо: шабақаҳои барқӣ, ҷимояи релей, автоматика, расиш ба замин, муайянкунии ҷойи вайроншавӣ.

STATISTICAL ANALYSIS OF FAULTS IN 6–10 kV LINES BASED ON SELECTED SUBSTATIONS IN THE SOUTHERN PART OF TAJIKISTAN**R. Abdullozoda**

The article presents a general characterization of the failure rate of 6–10 kV power transmission lines at several substations of the Branch of JSC “Distribution Electric Networks” in the city of Kulob. The study includes a statistical analysis of failures, identification of specific features of local operating conditions of electrical installations, and an analysis of emergency outages on selected outgoing feeders by seasons. The results demonstrate that the highest number of emergency outages occurs during the winter period, which is associated with an increased electrical load on the components of the power supply system. Furthermore, detailed data are provided for each outgoing feeder under consideration, including their total number, and measures aimed at restoring the normal operating conditions of the power supply system are discussed. It should be emphasized that the analysis is based on reliable data obtained from official operational logs that are bound, numbered, and certified by the signatures of responsible officials and the official seal of the organization.

Keywords: electrical networks, relay protection, automation, earth faults, fault location.

Введение

Единая энергетическая система Таджикистана охватывает территории Хатлонской и Согдийской областей, а также районы республиканского подчинения. В её состав входят гидроэлектростанции, теплоэлектроцентрали и распределительные электрические сети, обеспечивающие функционирование системы электроснабжения страны. При этом суммарная установленная мощность энергосистемы Таджикистана составляет более 5000 МВт. В ближайшей перспективе планируется значительное наращивание установленной мощности. Данное увеличение предполагается осуществить за счёт строительства солнечных электростанций на юге и севере

страны, реконструкции действующих гидроэлектростанций, а также поэтапного ввода в эксплуатацию новых агрегатов Рогунской ГЭС.

Следует отметить, что в настоящее время выработка электроэнергии в Таджикистане осуществляется преимущественно за счёт гидроэлектростанций, доля которых превышает 98 % от общего объёма производства электроэнергии.

В настоящее время вся энергетическая система Таджикистана разделена на три компании: ОАО «Барки Точик», ОАО «Шабақаҳои интиқоли барқ» и ОАО «Шабақаҳои тақсимоти барқ». Следует отметить, что передача электроэнергии в единой энергосистеме Таджикистана осуществляется по линиям электропередачи напряжением до 500 кВ.

Наиболее распространёнными и имеющими сложную конфигурацию являются линии электропередачи напряжением 6–35 кВ. Именно в этих сетях возникает наибольшее количество аварийных отключений, в основном из-за однофазных замыканий на землю или многофазных коротких замыканий.

При проведении статистического анализа повреждаемости линий 6–10 кВ электрических сетей Республики Таджикистан возможно выявить основные причины возникновения однофазных замыканий на землю, способы их устранения, а также их влияние на надёжность электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Для анализа повреждаемости линий 6–10 кВ рассматриваются некоторые подстанции Филиала ОАО «Распределительные электрические сети» в городе Кулябе.

Актуальность темы исследования

Как известно, к наиболее распространённым видам повреждений относятся однофазные замыкания на землю, на долю которых приходится более 75 % от всех повреждений. Такие повреждения особенно часто возникают в сетях с изолированной нейтралью [1 – 3]. Причинами однофазных замыканий на землю являются: загрязнение изоляторов опор, схлест ветвей деревьев с фазными проводами, устаревание изоляции в распределительных устройствах и другие факторы.

Как правило, в некоторых случаях, согласно действующим нормативно-техническим документам, разрешается работа электрических сетей в режиме однофазного замыкания на землю при соблюдении ряда условий. При этом длительная работа сетей в таком режиме существенно ускоряет разрушение диэлектрических свойств изоляторов, то есть приводит к ускоренному износу изоляции электрооборудования. Это, в свою очередь, повышает вероятность возникновения двойного замыкания на землю, которое в зависимости от места возникновения точки замыкания может приближаться к полноценному двухфазному короткому замыканию [4, 5, 13].

Устранение повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ осуществляются после определения места повреждения. Эта задача в современных микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики выполняется достаточно легко. Однако на подстанциях, не оснащённых современными микропроцессорными защитами, определение места повреждения выполняют при использовании стационарных или передвижных лабораторных установок. На практике применяются смешанные кабельно-воздушные линии электропередачи (КЛ-ВЛ), и при возникновении однофазных замыканий на землю на таких линиях современные микропроцессорные устройства релейной защиты не всегда правильно определяют место повреждения, что связано с некорректным вводом параметров линий в терминал [6, 7].

Анализ повреждаемости электрических сетей по фактическим данным является актуальной научно-технической задачей. При этом изучается поведение электрооборудования в различных режимах работы электрических сетей и выявляются особенности эксплуатационных характеристик нагрузок. Это необходимо для определения специфики местных условий эксплуатации, чтобы в дальнейшем при проектировании систем релейной защиты и автоматики элементов электрических сетей данные особенности были учтены.

Статистика повреждаемости линий 6–10 кВ на рассматриваемых подстанциях

Для статистического анализа повреждаемости линий 6–10 кВ были выбраны отдельные подстанции региона Куляба Республики Таджикистан. В настоящее время в этом регионе

функционирует более 40 подстанций, имеющих отходящие линии с номинальным напряжением 6 или 10 кВ. Целью нашего статистического исследования является изучение повреждаемости электрических сетей Таджикистана, выявление причин их возникновения, а также разработка требований для дальнейшего проектирования релейной защиты и автоматики электрических сетей с изолированной нейтралью. Кроме того, исследование направлено на обеспечение возможности быстрого восстановления нормального режима работы систем электроснабжения и определения места повреждения отходящих линий с учётом местных специфических факторов.

С этой целью нами была рассмотрена статистика аварийных отключений подстанций «Восеъ» 110/35/10 кВ, ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ, ПС «Сурхоб» 35/10 кВ, ПС «Хулбук» 35/6 кВ и ПС «Хирманчо» 35/10 кВ. Эти подстанции функционируют с 1960-х годов и предназначены для обеспечения электроснабжения населённых пунктов указанного региона. В таблице приведены основные данные вышеуказанных подстанций. Отходящие линии рассматриваемых подстанций выполнены как кабельными (КЛ), так и воздушными (ВЛ), а их защита осуществлена с использованием электромеханических (ЭМ) и микропроцессорных (МП) устройств релейной защиты.

Таблица 1 - Основные характеристики рассматриваемых подстанций

№ п/п	Наименование подстанции	Год ввода в эксплуатацию	Количество отходящих линий			Вид релейной защиты
			КЛ	ВЛ	КЛ-ВЛ	
	«Восеъ» 110/35/10 кВ	1964 (реконструкция в 2024)	13	–	–	МП
	«Кулоб» 110/35/6 кВ	1963 (реконструкция в 2019)	3	–	12	МП
	«Сурхоб» 35/10 кВ	1983	–	6	–	ЭМ
	«Хулбук» 35/6 кВ	1967	–	5	–	ЭМ
	«Хирманчо» 35/10 кВ	1988	–	8	–	ЭМ

Как показано в табл. 1, ПС «Восеъ» 110/35/10 кВ состоит из 13 отходящих линий, все из которых выполнены кабельными.

ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ состоит из 15 отходящих линий: три линии выполнены кабельными, а остальные — смешанными (КЛ-ВЛ).

ПС «Сурхоб» 35/10 кВ, ПС «Хулбук» 35/6 кВ и ПС «Хирманчо» соответственно состоят из 6, 5 и 8 отходящих линий, которые выполнены воздушными.

В табл. 2 представлены данные об аварийных отключениях рассматриваемых подстанций с указанием даты и времени их возникновения за период 2023–2024 гг.

Таблица 2 - Основные характеристики рассматриваемых подстанций за период с октября 2024 г. по сентябрь 2025 г.

№ п/п	Название подстанции	Номер ячейки (отходящая линия)	Количество аварийных отключений на отходящих линиях											ВСЕГО		
			2024 г			2025 г										
			окт.	нояб.	дек.	январ.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.		сент.	
1.	«Восеъ» 110/35/10 кВ	ЛВ2 (КЛ)	1	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3
		ЛВ5 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЛВ8 (КЛ)	1	1	–	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	4
		ЛВ9 (КЛ)	1	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
		ЛВ10 (КЛ)	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛВ12 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЛВ13 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЛВ14 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЛВ15 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЛВ16 (КЛ)	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛВ18 (КЛ)	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
		ЛВ19 (КЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЛВ20 (КЛ)	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		

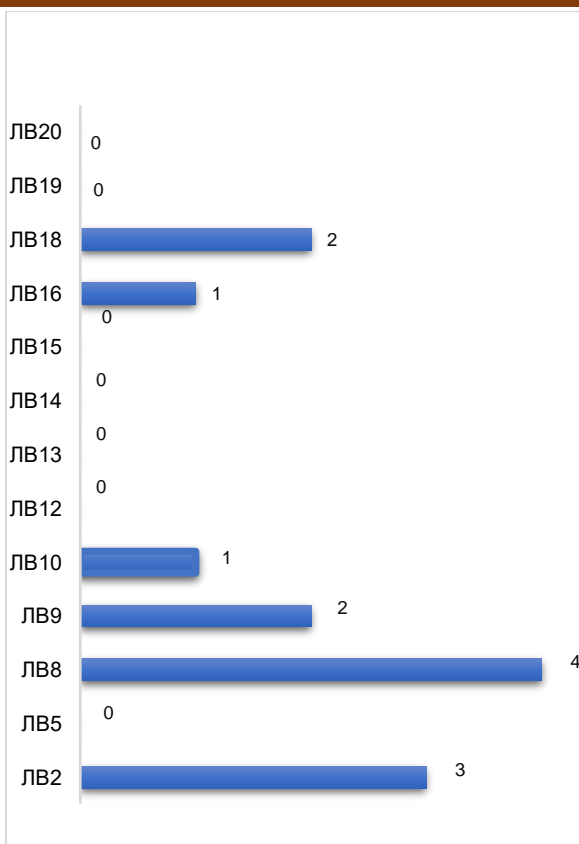
Окончание таблицы 2

Итого по ПС «Восеъ» 110/35/10 кВ		5	4	–	3	–	1	–	–	–	–	–	13		
2.	«Кулоб» 110/35/6 кВ	ЛК1 (КЛ-ВЛ)	–	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	2	
		ЛК2 (КЛ)	–	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	2	
		ЛК3 (КЛ-ВЛ)	–	1	2	1	1	1	1	–	1	–	–	8	
		ЛК4 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	1	
		ЛК5 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1	
		ЛК6 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	1	–	–	–	–	1	–	–	2	
		ЛК7 (КЛ)	1	–	1	1	1	–	1	–	–	–	–	5	
		ЛК8 (КЛ)	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	
		ЛК9 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	
		ЛК10 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	
		ЛК11 (резерв)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		ЛК12 (КЛ-ВЛ)	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
		ЛК13 (КЛ-ВЛ)	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
		ЛК14 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	1	
		ЛК15 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		ЛК16 (КЛ-ВЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1
Итого по ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ		1	2	6	7	3	2	2	1	2	1	–	1	28	
3.	«Сурхоб» 35/10 кВ	ЛСР1 (ВЛ)	1	1	–	–	–	–	–	–	–	1	–	3	
		ЛСР5 (ВЛ)	–	2	–	–	–	2	–	–	–	–	2	–	6
		ЛСР6 (ВЛ)	–	–	–	1	–	1	–	–	–	–	–	–	2
		ЛСР7 (ВЛ)	1	–	1	–	–	–	1	–	–	1	–	1	5
		ЛСР12 (ВЛ)	1	–	–	–	1	–	–	1	–	1	–	–	4
		ЛСР14 (ВЛ)	–	1	–	–	–	2	–	–	–	–	1	–	4
Итого по ПС «Сурхоб» 35/10 кВ		3	4	1	1	1	5	1	1	–	2	4	1	24	
4.	«Хулбук» 35/6 кВ	ЛЛн1 (ВЛ)	–	–	1	–	1	–	–	1	–	–	1	–	4
		ЛЛн2 (ВЛ)	–	2	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	3
		ЛЛн11 (ВЛ)	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛЛн12 (ВЛ)	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1
		ЛЛн13 (ВЛ)	–	2	2	1	–	–	–	1	–	–	1	–	7
Итого по ПС «Хулбук» 35/6 кВ		–	4	4	1	1	–	–	2	1	1	2	–	16	
5.	«Хирманчо» 35/10 кВ	ЛХн1 (ВЛ)	–	1	2	1	–	1	–	–	1	–	–	1	7
		ЛХн2 (ВЛ)	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛХн5 (ВЛ)	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛХн7 (ВЛ)	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛХн10 (ВЛ)	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	1	–	3
		ЛХн11 (ВЛ)	–	–	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	2
		ЛХн12 (ВЛ)	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	1
		ЛХн15 (ВЛ)	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1
Итого по ПС «Хирманчо» 35/10 кВ		–	3	5	3	1	2	–	–	1	–	1	1	17	

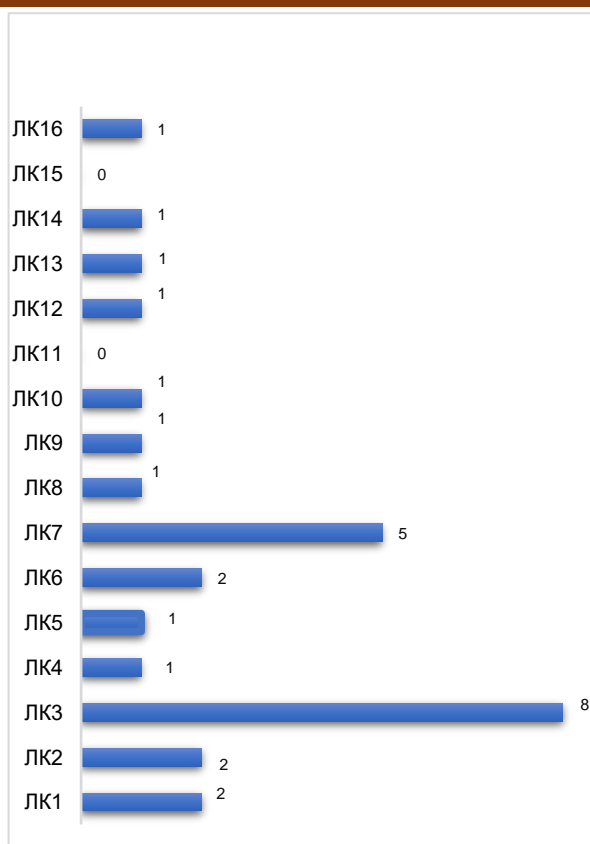
Для выполнения статистического анализа повреждаемости отходящих линий вышеуказанных подстанций используются данные об аварийных отключениях, полученные из оперативных журналов. Достоверность информации подтверждается тем, что рассматриваемые оперативные журналы прошиты, пронумерованы и утверждены подписями ответственных лиц и печатями [8 – 12]. В журналах фиксируются дата и время аварийных отключений, вид сработавшей релейной защиты, а также характер повреждения.

Статистический анализ повреждаемости отходящих линий 6–10 кВ

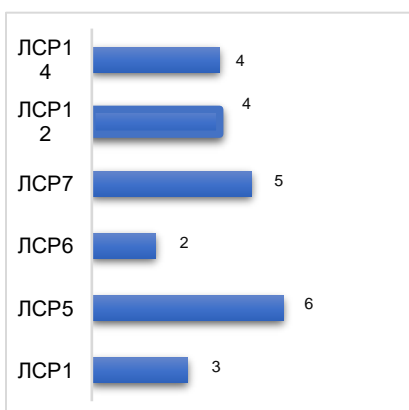
Для статистического анализа повреждаемости отходящих линий рассматриваемых подстанций и с целью наглядного сравнения построены графики аварийных отключений для каждой подстанции в отдельности.



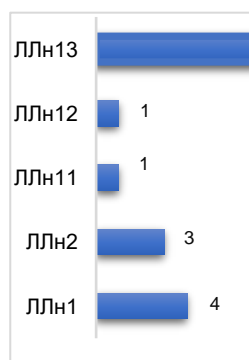
а)



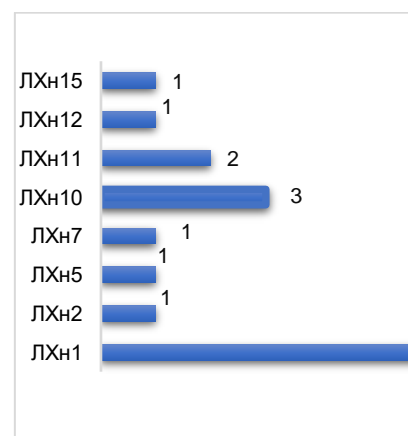
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1 – Статистика аварийных отключений отходящих линий подстанций: а) ПС «Восев» 110/35/10 кВ; б) ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ; в) ПС «Сурхоб» 35/10 кВ; г) ПС «Хулбук» 35/6 кВ; д) ПС «Хирманчо» 35/10 кВ

С целью выявления причин возникновения повреждений были рассмотрены паспортные данные, оперативные журналы и журналы релейной защиты подстанций и изучен характер потребителей. Установлено, что указанные отходящие линии в основном предназначены для электроснабжения населённых пунктов. Проведённый анализ показал, что данные отходящих линий наиболее подвержены аварийным отключениям вследствие частого разрушения изоляции кабельных линий.

Для выявления наиболее вероятных причин возникновения аварийных отключений далее в графическом виде рассмотрено распределение количества аварийных отключений по временам года для каждой отходящей линии в отдельности.

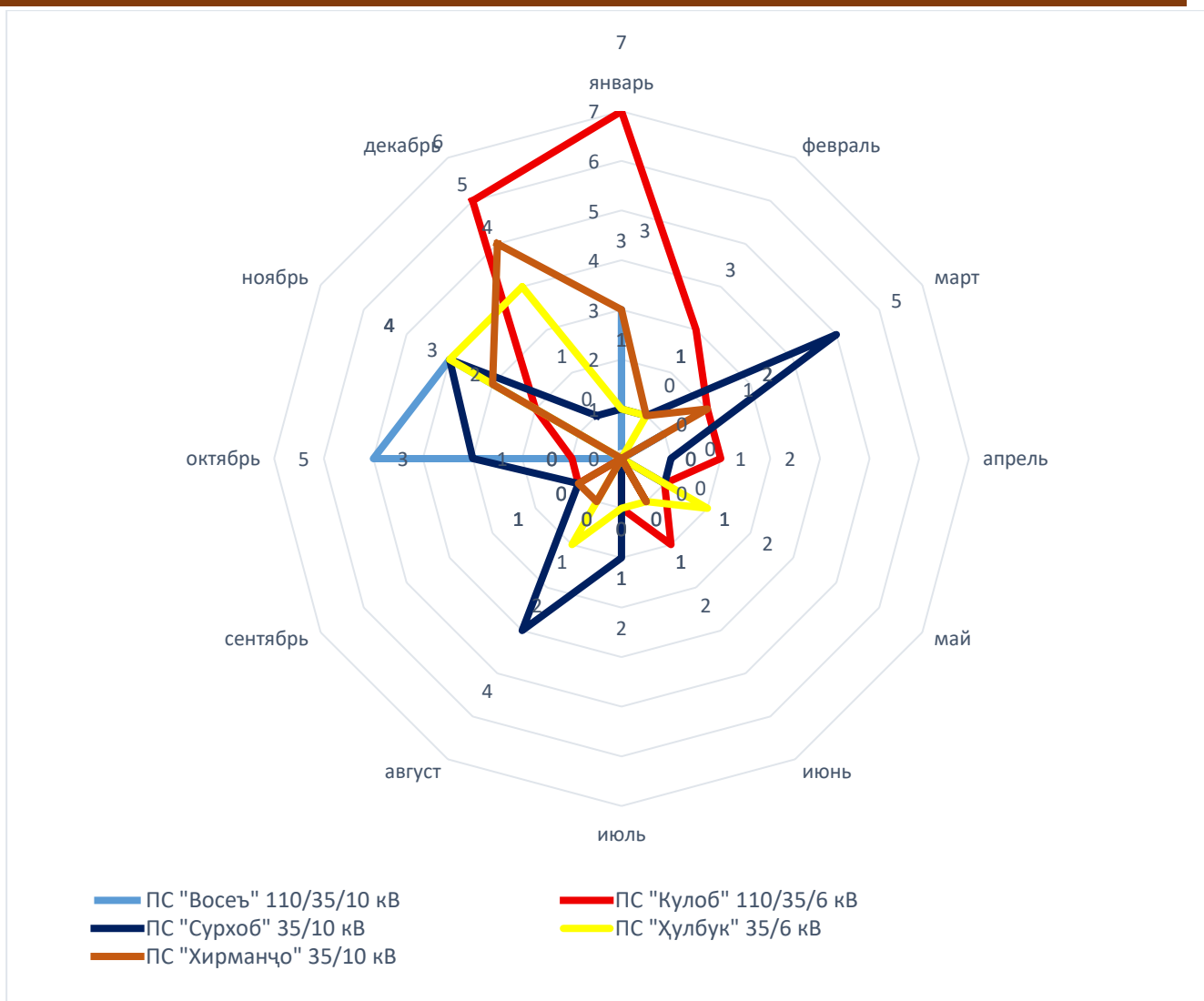


Рисунок 2 – Статистика аварийных отключений рассматриваемых подстанций по временам года за период октябрь 2024 г. – сентябрь 2025 г.

По кривым графика видно, что наибольшее количество аварийных отключений приходится на зимний период (ноябрь–декабрь–январь). Очевидно, что в этот период нагрузка на все подстанции возрастает, и из-за увеличения нагрузки происходит нагрев токопроводящих частей электрооборудования, что ускоряет процесс разрушения изоляции. Вследствие этого, вероятно, происходят значительные аварийные отключения на отходящих линиях напряжением 6–10 кВ.

В весенний период количество аварийных отключений снижается, а наименьшая повреждаемость, как видно по кривым, приходится на летний период. Это связано с относительной разгрузкой отходящих линий. В осенний период наблюдается повторный рост числа аварийных отключений.

Анализ данных оперативных журналов показывает, что для проведения ремонтно-восстановительных работ сначала определяют место повреждения на отходящих линиях. Это осуществляется с использованием специальных стационарных и передвижных лабораторных установок, а в некоторых случаях — при визуальном осмотре вдоль линий электропередачи. Длительность этих операций влияет на время бестоковой паузы, временные и трудовые затраты.

Заключение

Статистический анализ повреждаемости отходящих линий 6–10 кВ вышеуказанных подстанций показывает, что количество аварийных отключений в разные времена года и на

различных подстанциях имеет разнообразный характер. На их появление влияют режимы работы электрических потребителей, степень износа электрооборудования рассматриваемых подстанций и другие факторы.

Согласно данным оперативных журналов рассматриваемых подстанций, в большинстве случаев после аварийного отключения персоналом выполняется ручное повторное включение. При устойчивых повреждениях осуществляется определение причины и места повреждения отходящих линий.

Как свидетельствуют данные оперативных журналов, наибольшее время при ликвидации аварийных отключений занимает процесс определения места повреждения отходящих линий, особенно на кабельных линиях. Известно, что в микропроцессорных устройствах релейной защиты предусмотрена функция определения места повреждения, однако её настройка с учётом местных условий эксплуатации представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Рецензент: Сидоров А.А. — д.т.н., профессор кафедры БЖД, ЮУрГУ

Литература

1. Ҷимояи релееи таҷҳизоти электроэнергетикӣ / R.T. Abdullozoda, D.D. Davlatshoev, B.T. Abdulloev, N.Kh. Tabarov. – Душанбе : Промэкспо, 2018. – 333 p. – ISBN 978-99975-998-5-8. – EDN FWKDUG.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник / В.А. Андреев. – М. : Высшая школа, 2008. – 640 с.
3. Шабад, М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ / М.А. Шабад. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 240 с.
4. Фролов, В.А. Эксплуатация и диагностика кабельных линий электропередачи / В.А. Фролов. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.
5. Horowitz, S.H. Power System Relaying / S.H. Horowitz, A.G. Phadke. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. – 416 p.
6. Анализ преимуществ микропроцессорных релейных защит перед электромеханическими, применяемых в подстанции "Академгородок -110/35/10 кВ" / Р.Т. Абдуллозода, У.У. Косимов, П.А. Аминов, И.Т. Абдуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 2(46). – С. 33-39. – EDN PBVAVR.
7. Абдуллозода, Р.Т. Учебно-лабораторный стенд для исследования схем соединения трансформаторов тока и обмоток реле / Р.Т. Абдуллозода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 3(55). – С. 5-7. – EDN WXZNOG.
8. Оперативный журнал «Восеъ» 110/35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
9. Оперативный журнал «Кулоб» 110/35/6 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
10. Оперативный журнал «Сурхоб» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
11. Оперативный журнал «Хулбук» 35/6 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
12. Оперативный журнал «Хирманчо» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
13. Фишов, А. Г. Анализ состояния и направление развития малой гидроэнергетики Таджикистана / А. Г. Фишов, А. Х. Гуломзода, Л. С. Касобов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 13-22. – EDN VJUIVK.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Абдуллозода Рамазон Толибҷон	Абдуллозода Рамазон Толибджон	Ramazon Abdullozoda
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Ph.D., Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: art.tj@bk.ru		
https://orcid.org/0000-0002-2434-4698		