



УДК 621.391

[https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.2\(23\).2026.18](https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.2(23).2026.18)

ОСОБЕННОСТИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ОТХОДЯЩИХ ЛИНИЙ ПОДСТАНЦИИ «ХАМАНДОНИ» 35/10 кВ

Р.Т. Абдуллозода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,
Таджикистан, 734042, г. Душанбе, просп. акад. Раджабовых 10

*e-mail: art.tj@bk.ru

Аннотация. В статье представлен перечень действующих методов оценки показателей надёжности электрооборудования. На основе анализа архивных документов подстанции «Хамандони» 35/10 кВ приведена пятилетняя статистика аварийных отключений её отходящих линий. Выполнен расчёт показателей надёжности исследуемой подстанции. Результаты расчётов представлены в виде вычислений, а их значения приведены в таблицах. Выявлена наиболее повреждаемая отходящая линия.

Ключевые слова: релейная защита, надёжность, отходящая линия, максимальная токовая защита, аварийное отключение.

UDC 621.391

FEATURES OF FAILURE RATES OF OUTGOING FEEDERS OF THE “HAMADONI” 35/10 kV SUBSTATION

R. Abdullozoda

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Republic of Tajikistan, 734042,
Dushanbe, academicians Rajabov's avenue 10

*e-mail: art.tj@bk.ru

Abstract. The article presents a list of current methods for assessing the reliability indicators of electrical equipment. Based on the analysis of archival documents of the 35/10 kV “Hamadoni” substation, five-year statistics of emergency outages of its outgoing lines are provided. The reliability indicators of the studied substation are calculated. The calculation results are presented in analytical form, and their values are summarized in tables. The most failure-prone outgoing line is identified.

Keywords: relay protection, reliability, outgoing feeder, overcurrent protection, emergency outage.

Введение

Энергетическая независимость Республики Таджикистан была объявлена стратегической целью с первых лет достижения национальной независимости, её достижение обеспечивается за счёт реализации различных проектов энергетического сектора [1]. Энергосистема страны функционирует в основном за счёт гидроэлектростанций (ГЭС), которые считаются самыми мощными в регионе. Также в энергетической системе Республики Таджикистан действуют две теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), обеспечивающие теплоснабжение города Душанбе. В общей генерации электроэнергии в стране доля ГЭС составляет до 98% от установленной мощности.

В последнее время в стране наблюдается рост потребления электроэнергии, обусловленный увеличением демографических показателей и вводом в эксплуатацию новых промышленных предприятий. Кроме того, в условиях глобального потепления отмечается ускоренное таяние ледников, что приводит к нестабильности притока воды в основных



водных артериях. В частности, данная тенденция наблюдается на реке Вахш, на которой расположены крупнейшие гидроэлектростанции Центральной Азии [2].

С целью предотвращения указанных проблем в годы независимости в стране был реализован целый ряд крупных энергетических проектов, включая строительство сверхвысоковольтных линий электропередачи, объединяющих северную, центральную и южную части страны. Наряду с этим осуществлялось строительство новых гидроэлектростанций.

В настоящее время активно ведётся строительство Рогунской ГЭС, которая в перспективе будет играть ключевую роль не только в энергосистеме Таджикистана, но и окажет существенное влияние на устойчивость функционирования энергосистемы Центральной Азии. Реализация данного проекта позволит Республике Таджикистан осуществлять выработку электроэнергии с минимальным негативным воздействием на окружающую среду, а также экспортировать её в значительных объёмах в соседние страны, что будет способствовать улучшению экологических показателей региона Центральной Азии.

Кроме того, Рогунская ГЭС не только способствует обеспечению устойчивости единой энергосистемы Центральной Азии, но и может внести вклад в решение ряда ирригационных проблем стран нижнего течения реки Амударья. Таким образом, данный гидроэнергетический объект будет предназначен для решения комплекса экологических, гидроэнергетических и социальных проблем стран региона.

С точки зрения электроэнергетики Республику Таджикистан уже можно отнести к числу «зелёных» стран. Несмотря на значительный гидроэнергетический потенциал, правительство страны уделяет внимание освоению солнечных энергетических ресурсов. В настоящее время ведётся строительство двух солнечных электростанций мощностью по 250 МВт на севере и юге страны, ввод в эксплуатацию которых ожидается в конце 2026 г. [2].

В условиях ускоренного строительства новых электрических станций, линий электропередачи и узловых подстанций надёжность остаётся одним из ключевых показателей функционирования электрических сетей. Для её оценки необходимо учитывать многолетние статистические данные, включающие количественные показатели аварийных отключений исследуемых объектов.

Методы и материалы

В настоящее время для оценки показателей надёжности элементов электрических сетей применяют различные методы. Действующие утверждённые методики используются в зависимости от доступности различных видов данных, характеризующих показатели надёжности [3, 4].

Первым методом является экспериментальный, который требует длительного наблюдения за поведением электрических сетей. При применении данного метода также необходимо проведение испытаний электрооборудования на надёжность.

Второй метод — аналитический, включающий различные подходы, такие как: таблично-логический, логико-вероятностный, логико-аналитический, метод расчётных групп, структурных блок-схем, минимальных путей и минимальных сечений, а также метод пространства состояний и их модификаций.

Третьим методом является имитационный (статистический). Особенности повреждаемости отходящих линий подстанции «Хамандони» 35/10 кВ целесообразно исследовать с использованием имитационного метода, поскольку для проведения данного анализа была использована статистика повреждаемости отходящих линий. Данная подстанция относится к классу напряжения 35 кВ и входит в состав Филиала ОАО «Распределительные электрические сети» в городе Кулябе.

В табл. 1 представлена статистика аварийных отключений подстанции «Хамандони» 35/10 кВ за период 2021–2025 гг.



Таблица 1.

Статистика и параметры отходящих линий ПС «Хамандони» 35/10 кВ за период 2021–2025 гг

Table 1.

Statistics and parameters of outgoing lines of the “Hamandoni” 35/10 kV substation for the period 2021–2025

№ п/п	Номер ячейки (отходящая линия)	Длина линии, км (<i>L</i>)	Количество аварийных отключений на отходящих линиях					Среднее пятилетнее значение (<i>N₅</i>)
			2021	2022	2023	2024	2025	
1.	ЛХМ-3 (ВЛ)	8,56	2	3	2	4	1	2,4
2.	ЛХМ-4 (ВЛ)	6,18	4	7	3	1	4	3,8
3.	ЛХМ-6 (ВЛ)	10,3	5	7	5	4	5	5,2
4.	ЛХМ-9 (ВЛ)	7,2	6	14	11	7	5	8,6
5.	ЛХМ-10 (ВЛ)	5,3	4	3	5	3	2	3,4
6.	ЛХМ-12 (ВЛ)	46,1	7	9	7	8	9	8
7.	ЛХМ-16 (ВЛ)	28,8	8	3	8	5	6	6
8.	ЛХМ-18 (ВЛ)	6,5	1	2	2	1	3	1,8
9.	ЛХМ-19 (ВЛ)	38,86	5	3	2	2	3	3
10.	ЛХМ-20 (ВЛ)	3,8	0	0	1	0	1	0,4
11.	ЛХМ-21 (ВЛ)	0,85	0	0	0	0	0	0

Результаты

Как следует из данных табл. 1, подстанция «Хамадони» 35/10 кВ состоит из 11 отходящих линий, выполненных в воздушном исполнении. Приведённые данные были получены из рукописных документов исследуемой подстанции, а именно из оперативных журналов и журналов релейной защиты за период 2021–2026 гг., которые прошиты, пронумерованы и утверждены подписями ответственных лиц [5, 6].

Для защиты отходящих линий в основном применяются максимальные токовые защиты с зависимой выдержкой времени. Особенности их схемы соединения и соединения обмоток трансформаторов тока приведены в [7 – 12].

При расчёте показателей надёжности используются длина отходящих линий *L* и число отказов *N*. Удельная интенсивность годовых отказов $\lambda_{уд}$ определяется по формуле:

$$\lambda_{уд} = \frac{N_5}{L}. \quad (1)$$

Определяется удельная интенсивность отказов $\lambda_{уд}$ для отходящей линии ЛХМ-3 (ВЛ). пятилетнее среднестатистическое число отказов данной линии составляет 2,4, а её длина – 8,56 км (табл. 2).

Отсюда:

$$\lambda_{уд} = \frac{2,4}{8,56} = 0,28 \text{ отказов/км.}$$

Таким образом, выявлено, что среднее число отказов данной отходящей линии составляет 0,28 отказов на каждый километр её протяжённости.

Согласно [3], удельная интенсивность отказов воздушных линий напряжением 6–10 кВ составляет $\lambda = 0,25$ отказов на 1 км.

Определим вероятность безотказной работы в течение времени, отходящей линий ЛХМ-3 (ВЛ).

$$P_{год} = e^{-\lambda_{уд} \cdot L} = e^{-0,28 \cdot 8,56} = e^{-2,3968} \approx 0,09072 \quad (2)$$

Для воздушной отходящей линии вероятность безотказной работы 90,7 % считается допустимой. Для остальных линий приведены результаты их расчётов в табл. 2.



Таблица 2.

Результаты расчетов показателей надежности отходящих линий

Table 2.

Results of reliability indices calculations for outgoing feeders

№ п/п	Отходящая линия	Среднее пятилетнее значение (N_5)	Удельная интенсивность отказов ($\lambda_{уд}$)	Вероятность безотказной работы ($P_{год}$)
1.	ЛХМ-3 (ВЛ)	2,4	0,280	0,09072
2.	ЛХМ-4 (ВЛ)	3,8	0,615	0,02237
3.	ЛХМ-6 (ВЛ)	5,2	0,505	0,00552
4.	ЛХМ-9 (ВЛ)	8,6	1,194	0,00018
5.	ЛХМ-10 (ВЛ)	3,4	0,642	0,03337
6.	ЛХМ-12 (ВЛ)	8	0,174	0,00034
7.	ЛХМ-16 (ВЛ)	6	0,208	0,00248
8.	ЛХМ-18 (ВЛ)	1,8	0,277	0,16530
9.	ЛХМ-19 (ВЛ)	3	0,077	0,04979
10.	ЛХМ-20 (ВЛ)	0,4	0,105	0,67032
11.	ЛХМ-21 (ВЛ)	0	0,000	1,00000

В табл. 2 приведены результаты расчётов: среднее пятилетнее значение аварийных отключений, удельная интенсивность отказов для каждой отходящей линии напряжением 10 кВ, а также расчётное значение вероятности безотказной работы рассматриваемых линий.

Как следует из анализа показателей надёжности, приведённых в табл. 2, отходящие линии исследуемой подстанции имеют различное поведение, что обусловлено тем, что протяжённость каждой отходящей линии различна, а также тем, что состояние изоляции напрямую влияет на количество аварийных отключений.

Обсуждение

Анализ рукописных документов показал, что к числу наиболее часто возникающих повреждений относятся неустойчивые короткие замыкания и однофазные замыкания на землю при которых срабатывает установленная максимальная токовая защита с зависимой выдержкой времени.

На практике для выявления характера повреждения используют фактические данные о срабатывании релейной защиты и автоматики. Однако вопрос определения места повреждения остаётся одной из недостаточно изученных проблем. Определение места повреждения напрямую влияет на длительность бестоковой паузы. Как известно, электромеханические релейные защиты и автоматика не обладают функцией определения места повреждения. Такая функция имеется в микропроцессорных защитах, но на практике встречаются линии смешанного исполнения, то есть линии, которые выходят с подстанции в кабельном исполнении, а через определённую протяжённость переходят на воздушное.

Такие линии затрудняют отстройку микропроцессорных устройств защиты и автоматики. При этом в современных микропроцессорных устройствах защита места повреждения на линиях смешанного исполнения выполняется с достаточно большой погрешностью.

Заключение

В рамках данной работы были выявлены особенности повреждаемости отходящих линий подстанции «Хамадони» 35/10 кВ, которая состоит из 11 отходящих воздушных линий. Проведённые расчёты показали линии, наиболее подверженные аварийным отключениям. При расчёте использовались фактические данные рукописных документов.

Также анализ рукописных документов, в том числе оперативных журналов, показал, что в большинстве случаев в отходящих линиях возникают неустойчивые повреждения, имеющие самовосстанавливающийся характер. При этом после аварийного отключения в некоторых случаях персоналом выполняется ручное повторное включение, что с точки зрения электробезопасности создаёт риск для обслуживающего персонала.



Следует отметить, что вопрос определения места повреждения в сетях напряжением 6–10 кВ остаётся актуальным. Как отмечается в статье, именно в сетях напряжением 6–10 кВ часто встречаются смешанные линии, выполненные как в воздушном, так и в кабельном исполнении, что вызывает трудности при отстройке параметров микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики.

Таким образом, выполненные расчёты и определённые показатели надёжности в данной работе могут быть использованы при разработке новых проектов релейной защиты и автоматики подстанции «Хамадони» 35/10 кВ.

Литература

1. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. – Душанбе, 2016. – 104 с.
2. Эмомали Рахмон. Послание Президента Республики Таджикистан «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики». 16 декабря 2025 года. — Душанбе: «Шарки озод», 2025. – 40 с.
3. Савина Н.В. Надёжность систем электроэнергетики: учебное пособие / Н.В. Савина. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 270 с.
4. Ершов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей: монография / А.М. Ершов, А.И. Сидоров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2024. – 281 с.
5. Оперативные журналы ПС «Хамандонй» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2020 – 2025 гг.
6. Журналы релейной защиты и автоматики ПС «Хамандонй» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2019– 2025 гг.
7. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2008. – 640 с.
8. Ҳимояи 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.
9. Истилоҳоти соҳаи ҳимояи релей ва автоматикаи системаҳои энергетикӣ / Р. Т. Абдуллозода, У.У. Косимов, Б.Т. Абдуллоев, Х.Д. Бобоев. – Душанбе: Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, 2024. – 132 p. – ISBN 978-99985—8522-5. – EDN DQNNOX.
10. 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.
11. 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.
12. Абдуллозода, Р.Т. Статистический анализ повреждаемости линий 6-10 кВ на примере отдельных подстанций Южной части Таджикистана / Р. Т. Абдуллозода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2026. – № 1(73). – С. 6-12. – DOI 10.65599/ENG4701. – EDN BMKLYA.