

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-41-74-78>

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6 (10) КВ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ

Пупкова Е.В.¹, Дулесов А.С.²

¹ООО «Сетевая компания Сибири», Абакан, Россия;

²Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

Ключевые слова: электрическая сеть, показатели надежности, элемент сети, вероятность отказа, энтропия, мера информации, временной интервал.

Аннотация. Представлен подход к оценке надежности электрических сетей с точки зрения теории информации, в которой значимое место имеет неопределенность и мера ее измерения. Выполнен анализ основных показателей надежности работы распределительной сети, основанный на обработке эксплуатационных данных. В качестве метода структурной оценки использовано измерение состояния системы с помощью определения энтропии Шеннона. В результате получены данные о вероятности отказа элементов сети и величины информационной энтропии, позволяющие отслеживать уровень надежности в процессе эксплуатации электрической сети.

ASSESSMENT OF THE STRUCTURAL RELIABILITY DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF 6 (10) KV BASED ON ENTROPY

Pupkova E.V.¹, Dulesov A.S.²

¹LLC «Network company of Siberia», Abakan, Russia;

²Khakassian State University named after N.F. Katanov, Abakan, Russia

Keywords: electrical network, reliability indicators, network element, probability of failure, entropy, measure of information, time interval.

Abstract. An approach to assessing the reliability of electrical networks is presented from the point of view of information theory, in which uncertainty and the measure of its measurement have a significant place. The analysis of the main indicators of reliability of the distribution network, based on the processing of operational data, is carried out. The measurement of the state of the system using the Shannon entropy determination is used as a method of structural assessment. As a result, data on the probability of failure of network elements and the amount of information entropy were obtained, which make it possible to monitor the level of reliability during operation of the electric network.

Надежность распределительных электрических сетей в современных реалиях имеет важное значение, поскольку от их функционирования зависит качество и бесперебойность электроснабжения потребителей. В настоящее время разработаны и используются различные методы оценки надежности электрических сетей, в большей или меньшей мере эффективные при решении задач в разных постановках.

Надежность электрической сети является комплексным показателем, определяющим ее свойства длительно сохранять во времени и устойчиво воспроизводить в процессе эксплуатации свои рабочие характеристики и

параметры. Оценка уровня надежности связана с неопределенностью информации, обусловленной множеством факторов случайной природы.

Параметром её оценки в организационно-экономической системе является энтропия, рассматриваемая как мера неопределённости. С её помощью можно измерить состояние системы, сопоставив его с некоторыми «идеальными условиями», когда знание о ситуации полностью детерминировано [1, 2].

В качестве показателей, распределения электроэнергии по временным интервалам, определяются вероятности отказов оборудования q_i (λ), характеризующие надежность участка сети. Данные значения вероятностей предварительно определены при обработке эксплуатационных данных, что означает наличие возможности применения меры вероятности. Информация может быть измерена путем определения информационной энтропии. Её величина вычисляется по формуле Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^n q_i \log_2 q_i, \text{ бит, при условии } \sum_{i=1}^n q_i = 1, \quad (1)$$

где n – количество оборудования, участвующего в анализе.

При этом Энтропия Шеннона максимальна при равенстве между собой вероятностей отказов. Это значение будет свидетельствовать о хаотическом поведении (отказ или работа) оборудования сетей и подстанций. Энтропия равна нулю тогда, когда только одно из всех возможных значений $q_i = 1$, тогда как остальные равны нулю. В данном случае можно сказать, что только одна единица оборудования из множества имеющихся в сети в течении всего срока эксплуатации находилась в нерабочем состоянии [3, 4].

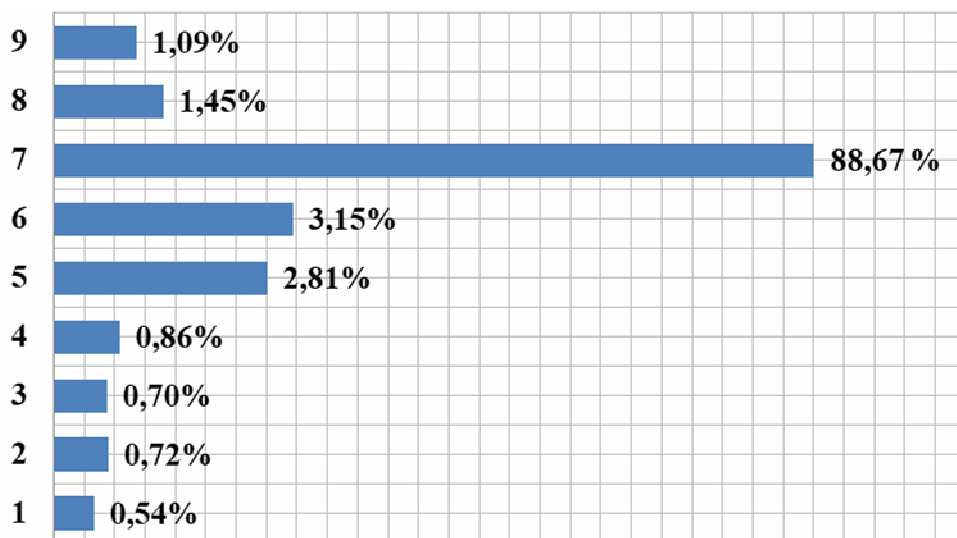
В таблице 1 представлены результаты расчета общего количества отключений λ и продолжительности внезапных отключений T_B элементов сети, включающей 9 трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. Рассматриваемые показатели надежности были получены на основе эксплуатационных данных об имевших место отказах оборудования электрической сети за период наблюдения.

Учитывая свойство робастности распределительной сети, выполненный анализ надежности каждого в отдельности элемента системы (табл. 1), определил, что самым ненадежным элементом рассматриваемой электрической сети является воздушная линия 10 кВ. В графической интерпретации полученных величин (рис. 1) наглядно показано, что повреждения на линии 10 кВ составляют 88,67% всех внезапных отключений элементов системы.

При определении не менее важной количественной характеристики надежности элементов сети – продолжительности внезапных отключений, выявлено (рис. 2), что наибольшее время восстановления приходится на трансформаторные подстанции ТП 10/0,4 кВ (45,81%).

Табл. 1. Усредненные значения параметров надежности оборудования сетей 10 кВ

№	Элемент сети	Кол-во	Средне λ , отказ/год	Среднее T_B , час	Среднее λ , %	Среднее T_B , %
1	Линейный разъединитель 10 кВ	18	0,0139	9,96	0,54%	8,40%
2	Линейный выключатель 10 кВ	9	0,0185	11,6	0,72%	9,79%
3	Разъединитель ввода 10 кВ	18	0,018	4,85	0,70%	4,09%
4	Секционный разъединитель 10 кВ	9	0,0222	4,51	0,86%	3,81%
5	Секционный выключатель 10 кВ	9	0,0721	9,85	2,81%	8,31%
6	Выключатель ввода 10 кВ	9	0,081	11,3	3,15%	9,53%
7	Воздушная линия 10 кВ	9	2,278	7,3	88,67%	6,16%
8	Разъединитель фидера 10 кВ	9	0,0372	4,85	1,45%	4,09%
9	ТП 10/0,4 кВ	9	0,0281	54,3	1,09%	45,81%



■ 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Рис. 1. Распределение среднего λ по элементам сети

Поскольку между теорией вероятностей и теорией информации существует связь, то принимая во внимание (1) и данные из таблицы 1 вычислены через значение λ величины вероятности отказов q_i и энтропии H_i для распределительной сети. Полученные результаты представлены в таблице 2.

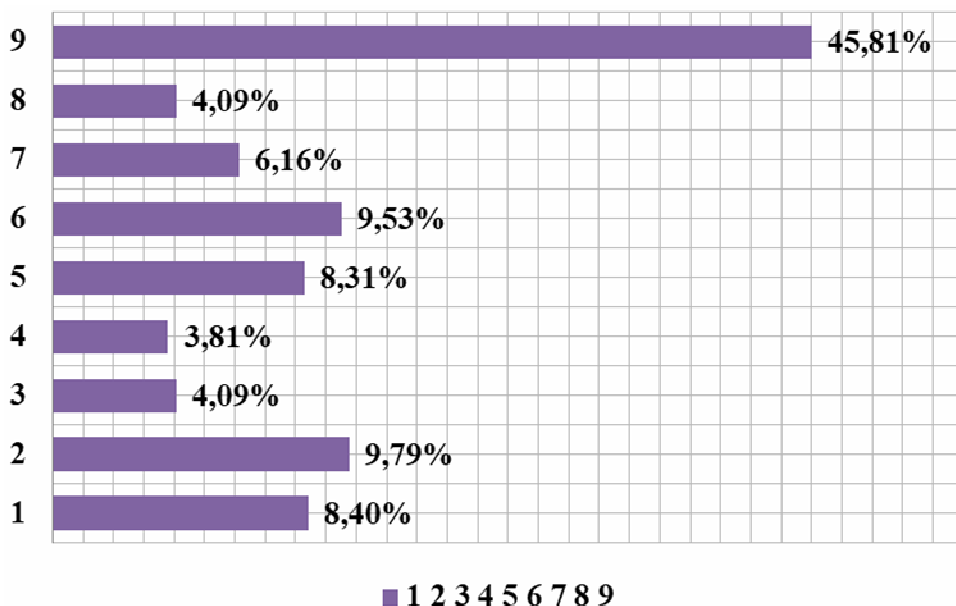


Рис. 2. Распределение среднего T_B по элементам сети

Табл. 2. Сводная таблица расчета вероятности отказа и энтропии

№ подстанции	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_i	0,110	0,113	0,127	0,113	0,093	0,144	0,099	0,099	0,101
H_i	0,351	0,355	0,378	0,356	0,319	0,403	0,331	0,331	0,334

Таким образом, одним из важных вопросов в области оценки надежности распределительной сети можно считать меру количества присущей ей информации. Сопоставляя между собой определяющие ее показатели, можно оценить степень возможности отказа как системы в целом, так и каждого из ее элементов. Рассматривая данный параметр в качестве показателя структуры, можно судить о ее состоянии, которое отвечало бы предустановленным требованиям по надежности на выбранном временном интервале.

Список литературы

1. Бобров А.В., Тремясов В.А. Теория надежности в энергетике: учеб.-метод. пособие. – Красноярск: СФУ, 2013. – 110 с.
2. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учеб. пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 256 с.
3. Дулесов А.С. Показатель разграничения уровня надежности технической системы по качественному признаку: энтропийный подход // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2-3. – С. 477-481.
4. Карандеев Д.Ю. Методика оценки состояния и выбора структуры высоконадежной распределительной сети: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Абакан, 2021. – 22 с.

References

1. Bobrov A.V., Tremyasov V.A. Theory of reliability in power engineering: textbook. – Krasnoyarsk: SFU, 2013. – 110 p.
2. Kitushin V.G. Reliability of energy systems: textbook. – Novosibirsk: Publ. house of NSTU, 2003. – 256 p.
3. Dulesov A.S. Indicator of differentiation of the level of reliability of a technical system on a qualitative basis: an entropic approach // Fundamental Research. 2016, no. 2-3, pp. 477-481.
4. Karandeev D.Yu. Methodology for assessing the condition and choosing the structure of a highly reliable distribution network: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Abakan, 2021. – 22 p.

Пупкова Евгения Владимировна – инженер 1 категории	Pupkova Evgeniya Vladimirovna – engineer of the 1st category
Дулесов Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор	Dulesov Aleksander Sergeevich – doctor of technical sciences, professor
ev_pupkova.sks@mail.ru	

Received 01.03.2024