



*А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, А.В. Бойчевский
Липецкий государственный технический университет*

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ

Предложен подход повышения эффективности функционирования систем электроснабжения за счет повышения отказоустойчивости, основанный на использовании теории случайных импульсных потоков. Оценено влияние случайных отказов и ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения на работу технологических машин.

Вероятность, математическое ожидание, частота, отказ, обслуживание, система, электроснабжение, рабочие машины, электрооборудование, коэффициент.

Безотказность системы электроснабжения в первую очередь обеспечивается ее отказоустойчивостью к любым негативным возмущающим факторам. Это могут быть как внешние, так и внутренние негативные воздействия. При правильном подборе электрооборудования, то есть с требуемой заводской надежностью для эксплуатации на рассматриваемом производстве, его отказоустойчивость в основном будет определяться не только уровнем обслуживания, но и качеством устранения отказов обслуживающим персоналом. Поэтому на промышленном предприятии для обеспечения высокой производительности ремонтно-профилактическое обслуживание должно находиться на самом высоком уровне. Это значит, что такие составляющие отказов, как обнаружение отказа, подготовка к его устранению, длительность устранения, опробование, включение в работу, должны занимать минимум времени. Оценка данного подхода предлагается определять теоретически на основе теории импульсных потоков.

При использовании для анализа рассматриваемой задачи теории импульсных потоков становится возможным связывать рабочие состояния электрооборудования с его отказами [1]. Связующим в данном случае является частота. Оценка параметров вероятности работы электрооборудования выполняется по использованию наработки на отказ [2]. Для электрооборудования функция распределения наработки подчиняется экспоненциальному закону. На ее вид распределения отказы электрооборудования практически не влияют. Вызвано это тем, что ее длительность составляет сотни, тысячи часов. Нарботка длительности отказов не превышает часы. При выявлении параметров оборудования, связанных с отказами, следует учитывать вид функций распределения отказов. В зависимости от возникшего отказа, электрооборудования на котором он произошел, квалификации обслуживающего персонала длительность устранения отказа может быть самой разной [3], поэтому функция длительности устранения отказов мо-

жет отличаться от экспоненциальной. Как свидетельствуют результаты литературных источников, чаще это могут быть логарифмически-нормальный и усеченно-нормальный законы распределения [2, 4].

Решать рассматриваемую задачу будем следующим образом. Сначала представим выражения, связывающие параметры надежности относительно функции распределения наработки на отказ. Для упрощения расчетов оценим их с позиции коэффициента связи S . Аналогично для параметров надежности, полученных относительно распределения времени перерывов в электроснабжении технологических машин промышленного предприятия. Общие зависимости, характеризующие параметры надежности относительно вероятности работы будут определяться как:

$$P = \bar{\tau} \bar{\mu}; \quad \bar{P} = \bar{\theta} \bar{\mu}; \quad \bar{\tau} = \frac{P}{\bar{\mu}}; \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{P}}{\bar{\mu}}; \quad \bar{\mu} = \frac{P \bar{P}}{\bar{\tau} \bar{\theta}}; \quad P + \bar{P} = 1. \quad (1)$$

Если частоту выразить через функцию распределения наработки на отказ и учесть сокращение длительности отказа на величину v , то будем иметь:

$$\bar{\mu}_v = \bar{\mu}_\pi - \bar{\mu}_\pi \int_0^v \alpha_\pi(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $\bar{\mu}_\pi$ – математическое ожидание частоты отказов до внедрения мероприятий по сокращению длительностей отказов; $\alpha_\pi(\tau)$ – плотность распределения наработки на отказ до внедрения мероприятий по сокращению отказов.

Математическое ожидание длительности работы технологических машин за одно включение при внедрении мероприятий, воздействующих на отказы электрооборудования системы электроснабжения, равно

$$\bar{\tau}_v = \frac{\int_v^\infty (\tau_\pi - v) \alpha_\pi(\tau) d\tau}{1 - \int_0^v \alpha_\pi(\tau) d\tau}. \quad (3)$$

В данном случае значение коэффициента определяется зависимость

$$C = \int_0^{\bar{v}} \alpha_{\pi}(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Тогда выражения, отображающие работу технологических машин, с учетом мероприятий, повышающих их безотказность, будут иметь вид:

$$\bar{\mu}_v = \bar{\mu}_{\pi}(1-C); \quad (5)$$

$$\bar{\theta}_v = \frac{\bar{\theta}_{\pi} + \bar{v}}{1-C}; \quad (6)$$

Результаты, полученные по (1) и (2) позволяют определить все остальные параметры, характеризующие работу технологических машин. Для упрощения расчетов используем коэффициент связи С.

$$\bar{\tau}_v = \frac{1 - \bar{\mu}_v(\bar{\theta}_{\pi} + \bar{v})}{\bar{\mu}_v(1-C)}. \quad (7)$$

Хотя в основном функция распределения наработки на отказ систем электроснабжения промышленных предприятий подчиняется экспоненциальному закону, возможны случаи, когда она описывается распределением Вейбулла [5, 6]. В этом случае коэффициент связи предлагается устанавливать согласно данным приведенной таблицы 1.

Таблица 1

Значения коэффициента связи С при распределении Вейбулла

Отношение $T_n \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С для параметров асимметрии распределения Вейбулла							
	1,40	1,20	0,95	0,85	0,75	0,65	0,50	0,45
0	1,00	0,50	0,30	0,20	0,10	0,07	0,05	0,03
1	1,00	0,80	0,60	0,35	0,20	0,10	0,07	0,05
2	1,00	0,95	0,80	0,55	0,35	0,20	0,09	0,06
3	1,00	1,00	0,90	0,70	0,53	0,30	0,13	0,07
4	1,00	1,00	0,95	0,78	0,57	0,35	0,15	0,09
5	1,00	1,00	0,97	0,82	0,63	0,40	0,18	0,10
6	1,00	1,00	0,99	0,90	0,68	0,42	0,20	0,12
7	1,00	1,00	1,00	0,94	0,74	0,44	0,22	0,14

Примечание. Значение T_n определяет межремонтные периоды в системе электроснабжения.

Таблица 2

Значения коэффициента связи С при логарифмически-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин

Отношение $v \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С при логарифмически-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин							
	0,5	1,0	3,0	6,0	10,0	13,0	17,0	21,0
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,15	0,30	0,35	0,40	0,49	0,53	0,58	0,61
1,0	0,55	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62
1,5	0,85	0,83	0,80	0,78	0,62	0,62	0,62	0,62
2,0	0,95	0,90	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75	0,74
2,5	1,00	0,97	0,95	0,92	0,87	0,85	0,83	0,81

Таблица 3

Значения коэффициента связи С при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин

Отношение $v \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин							
	0,5	1,0	3,0	6,0	10,0	13,0	17,0	21,0
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,40	0,50
1,0	0,30	0,37	0,45	0,47	0,50	0,55	0,55	0,55
1,5	0,80	0,75	0,70	0,75	0,80	0,75	0,73	0,68
2,0	0,87	0,86	0,85	0,86	0,87	0,77	0,75	0,70
2,5	0,93	0,92	0,90	0,91	0,92	0,84	0,82	0,80

Наименование вероятностных показателей и продолжительности ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения

Наименование и тип электрооборудования	Наработка на отказ, ч.	Время восстановления, ч.	Частота отказов, ч.	Длительность обслуживания, ч.
Подстанция трансформаторная ТКШВП-240/6	3820	6,4	2,61	1,0
Выключатели автоматические АВ-320ДО	6670	1,6	1,50	0,3
АВФ-1А	5900	1,8	1,69	0,3
Пускатель магнитный ПВИ-63	1860	1,3	5,37	0,3
Электрический двигатель	2300	3,1	4,34	0,2

Когда оценка осуществляется относительно функции распределения длительности простоев рабочих машин, то при их экспоненциальном распределении она ничем не отличается от оценки при экспоненциальном распределении наработки на отказ [7, 8]. Если распределение длительностей остановок машин подчиняется логарифмически-нормальному или усеченно-нормальному закону, то для определения C , предлагается в зависимости от отношения простоя к наработке, использовать данные таблицы 2 или 3 [9, 10].

Аналогичная таблица 3 составлена и для определения значения коэффициента связи C при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин.

В качестве примера предложена работа двух машин. Схемы, обеспечивающие работу технологических машин, независимы друг от друга. Они оснащены электрооборудованием, наименование и тип оборудования приведены в таблице 4. Также в таблице 4 указаны вероятностные показатели электрооборудования и длительность ремонтно-профилактического обслуживания. Имеется в виду, что обслуживание оборудования систем выполняется один раз в три календарных месяца [12]. В процессе функционирования систем возможны два случая перехода систем на резерв [13].

При первом случае переход на резервное оборудование осуществляется, когда откажет оборудование, находящееся в эксплуатации. Для второго случая выполняется переключение оборудования по истечении определенного периода работы работающего электрооборудования. Если же отказывает основное оборудование, то осуществляется включение резервного. В рассматриваемом примере, ожидаемое время задержки включения составляло 30 мин. Вероятность находящихся в работе технологических машин равнялась $P=0,3$, а функция распределения наработки на отказ описывалась экспоненциальным законом. В рассматриваемой задаче требуется оценить влияние случайных отказов и ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения на работу технологических машин для первого и второго случаев переключения электрооборудования.

Согласно выполненным исследованиям получено, что для первого случая управления функционирования систем работа технологических машин выполняется с вероятностью безотказности 0,9999996. Для

второго случая вероятность безотказности машин составляет 0,9986916. Математические ожидания остановок соответственно равны 1,0 и 1,8 ч. Кроме этого, в первом случае длительности времени выполнения ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования не вызывают остановок рабочих машин. Во втором случае до 20 % перерывов в электроснабжении приходится на ремонтно-профилактическое обслуживание. Происходит это потому, что в первом случае включение резервной системы выполняется, когда отказывает система, находящаяся в работе. Для второго случая осуществляется независимый переход с работающей системы на неработающую. В первом случае электрооборудование резервной системы осуществляет прием нагрузки с вероятностью, соответствующей единице. При втором управлении вероятность работы электрооборудования резервной системы на момент включения единицы не равна.

Предлагаемый подход позволяет теоретически осуществлять оценку использования электрооборудования резервной системы при отказе оборудования работающей системы. Выбрать метод перехода, обеспечивающий наименьшее время вынужденного простоя технологических машин. Время на устранение отказов отдельных элементов системы электроснабжения промышленного предприятия при этом уменьшается, что позволяет устанавливать резервы, на повышение отказоустойчивости системы электроснабжения. В результате повышается ритмичность производства промышленного предприятия.

Литература

1. Определение безотказности обеспечения энергией приемников / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, С. С. Астанин [и др.] // Вести высших учебных заведений Черноземья. – Липецк : ЛГТУ, 2019. – № 3. – С. 29–37.
2. Шпиганович, А. А. Современное состояние вопроса безотказности систем электроснабжения / А. А. Шпиганович. – Липецк : ЛГТУ, 2012. – 79 с.
3. Мамонтов, А. Н. Тепловизионный контроль трансформаторов тока и напряжения / А. В. Рычков, С. С. Астанин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – Липецк: ЛГТУ, 2016 – № 4. – С. 9–18.
4. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко. – Москва : Энергия, 1977. – 128 с.

5. Жежеленко, И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – Москва : Энергоатомиздат. – 2005. – 261 с.
6. Akagi, H. New Trends in Active filters for Power Conditioning / H. Akagi // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1996. – № 6. – P. 1312–1322.
7. Yu-Long, C. Simulation and Reliability Analysis of Shunt Active Power Theory / C. Yu-Long, L. Hong, W. Jing-Gin // Journal of Zhejiang University Science. – 2007. – № 3. – P. 416–421.
8. Ajami, A. Implementation of a Novel Control Strategy for Shunt Active Filter / A. Ajami, S. H. Hosseini // ECTI Transactions on Electrical, Engineering, Electronics & Communications. – 2006. – № 1. – P. 40–46.
9. Erickson, R. W. Some Topologies of High Quality Rectifiers / R. W. Erickson // First International Conference on Energy, Power and Motion Control. – 1997. – P. 1–6.
10. Graovac, D. Universal Power Quality System – an Extension to Universal Power Quality Conditioner / D. Graovac, V. Katic, A. Rufer // 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control. – 2000. – № 4. – P. 32–38.
11. Шпиганович, А. Н. Оценка эффективности безотказности систем / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2013. – № 1. – С. 25–32.
12. Зацепина, В. И. Математическое описание функционирования элементов систем электроснабжения / В. И. Зацепина, А. А. Шпиганович // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 239–242.
13. Гамазин, С. И. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин. – Москва : МЭИ. – 2010. – 745 с.

*A.N. Shpiganovich, A.A. Shpiganovich, A.V. Boychevskiy
Lipetsk State Technical University*

ESTIMATION OF POWER SUPPLY SYSTEM RELIABILITY BASED ON PULSE FLOWS THEORY

An approach to improve the efficiency of the functioning of power supply systems by increasing fault tolerance based on the use of the theory of random impulse flows is proposed. The influence of accidental failures and repair and preventive maintenance of electrical equipment of power supply systems on the operation of technological machines is estimated.

Probability, mathematical expectation, frequency, failure, maintenance, system, power supply, working machines, electrical equipment, coefficient.