

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.311

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Р.Р. Садыков

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Резюме: В представленной статье излагается методика оценки количественных показателей надежности функционирования радиальных схем цехового электроснабжения в процессе эксплуатации. На основе обработки статистических данных моделируется изменение вероятности времени безотказной работы распределительных устройств низкого напряжения в зависимости от количества присоединений нагрузки.

Ключевые слова: надежность, система электроснабжения, низковольтные аппараты, цеховая сеть, моделирование, эффективность, коэффициент отношения.

EVALUATION OF RELIABILITY OF LOW VOLTAGE COMMERCIAL NETWORKS OF INDUSTRIAL POWER SUPPLY

R.R. Sadykov

Kazan State Power Engineering University

Abstract: The article describes the method of quantitative indicators of reliability of functioning of radial diagrams of shop power supply in operation. On the basis of processing statistical data of the simulated change in the probability of uptime switchgear low voltage depending on the number of connections of the load.

Keywords: reliability, power supply system, low voltage apparatus, Guild network, modeling, efficiency, ratio.

Общеизвестно, что длительное время развитие электроэнергетики России проходило по экстенсивному пути, так как было направлено на обеспечение растущей потребности в электрической энергии промышленного, сельского и коммунально-бытового секторов страны. Требования большинства потребителей электроэнергии к поставщикам в отношении обеспечения надежности были однотипные и сводились к регламентации допустимой продолжительности отключения и последствий нарушения электроснабжения [1, 2].

На этом этапе развития энергетики устойчивость и качество поставляемой энергии не рассматривались энергоснабжающими организациями, в силу их монопольного положения, как главные условия во взаимоотношениях с потребителями электрической энергии, и все обуславливалось категориями электроприемников [3, 4].

На современном этапе развития страны, когда происходит значительный рост тарифов на электрическую энергию и имеет место структурная перестройка состава потребителей электрической энергии из-за использования новых высокопроизводительных устройств и современной технологии, гораздо более восприимчивых к снижению устойчивости и к нарушению характеристик качества электроэнергии, отношение заказчиков к проблеме надежности существенно изменилось [5, 6].

Важным аспектом исследования такого свойства системы электроснабжения, как надежность, является установление количественных показателей, которыми можно измерить степень проявления этого свойства в зависимости от условий и особенностей, характерных для конкретной решаемой задачи. Умение количественно измерить надежность является одной из основных предпосылок создания системы эффективного управления надежностью [7, 8].

Следует отметить, что общепромышленные стандарты не отражают специфические особенности производства и передачи электрической энергии. К наиболее существенным особенностям определения надежности СЭС можно отнести две.

Первая. Для СЭС характерна малая вероятность полного отказа работоспособности. Отказы отдельных элементов приводят в подавляющем большинстве случаев лишь к частичным отказам работоспособности СЭС.

Вторая. Для СЭС характерна работа в режимах, определяемых потребителями энергии и существенно зависящих от сезона, дня недели и времени суток.

Учет указанных особенностей СЭС привел к тому, что наряду с понятием «отказ работоспособности» для характеристики надежности объекта используется понятие «отказ функционирования», которое характеризует переход СЭС от одного уровня функционирования к другому, более низкому [9, 10].

При решении задач обеспечения надежности СЭС важная роль принадлежит математическим методам, которые позволяют получить количественные оценки надежности СЭС, что является необходимой предпосылкой для ее оптимизации [11, 12].

В наиболее общем виде методы расчета должны обеспечивать возможность определения параметров надежности СЭС, отвечающих следующим характеристикам:

- произвольная конфигурация технологической схемы и большое количество входящих в нее элементов;
- наличие в технологической схеме элементов, зависящих один от другого с точки зрения надежности их функционирования;
- наличие в технологической схеме элементов дискретного действия – выключателей, автоматов и т.д. и необходимость учета возможности возникновения зависимых отказов, обусловленных отказами в срабатывании ложным и излишним срабатыванием элементов дискретного действия при отказе других элементов;
- зависимость надежности СЭС от режима ее работы.

Совершенствование проектных и эксплуатационных решений по созданию, управлению и дальнейшему развитию СЭС предполагает определение рационального уровня надежности электроснабжения потребителей на основе количественных критериев.

В настоящее время вопросам оценки надежности низковольтных сетей систем электроснабжения уделяется недостаточно внимания. Предлагаемая ниже методика моделирования вероятности безотказной работы радиальных схем цеховых сетей с помощью коэффициентов отношения может быть использована для решения задач, анализа надежности низковольтных сетей.

Исследуем параметры надежности системы внутрицехового электроснабжения на примере участка цеховой сети. Для первой и второй секций шин (I СШ и II СШ) схемы (рис. 1) определим интенсивность отказов и среднюю вероятность отказа. Исходные данные расчетной схемы приведены в табл. 1. Исследуем надежность схемы относительно распределительного шкафа (ШР).

Построим логическую схему надежности для ШР (рис. 2). При этом примем, что аварийное отключение одного из присоединений ШР приводит к отключению шкафа на время восстановительного ремонта. Для того, чтобы оценить надежность схемы аналитическим методом, необходимо преобразовать ее и представить одним эквивалентным элементом. Определим параметры логической схемы надежности относительно ШР (рис. 2). Значения исходных данных оборудования приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчетной схемы (рис. 1)

№ присоединения	Тип кабельной Линии	Длина кабельной линии, м	Мощность двигателя, кВт
1	АВВГ (3×8 + 1×4)	15	19
2	АВВГ (3×8 + 1×4)	13	19
3	АВВГ (3×6 + 1×4)	16	16
4	АВВГ (3×6 + 1×4)	26	12
5	АВВГ (3×4 + 1×2,5)	26	12
6	АВВГ (3×4 + 1×2,5)	22	12
7	АВВГ (3×8 + 1×4)	17	19
8	АВВГ (3×10 + 1×6)	13	23
9	АВВГ (3×6 + 1×4)	17	16
10	АВВГ (3×4 + 1×2,5)	15	12
11	АВВГ (3×4 + 1×2,5)	22	12
12	АВВГ (3×70 + 1×35)	52	---
13	АВВГ (3×70 + 1×35)	52	---

Параметры интенсивности отказов кабельных линий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения интенсивности отказов кабельных линий

№ п/п	Длина КЛ, м	Интенсивность отказов, 1/год	№ п/п	Длина КЛ, м	Интенсивность отказов, 1/год
1	15	0,004	8	13	0,003
2	13	0,003	9	17	0,004
3	16	0,007	0	15	0,004
4	26	0,006	1	22	0,005
5	26	0,006	2	52	0,013
6	22	0,005	3	52	0,013
7	17	0,004			

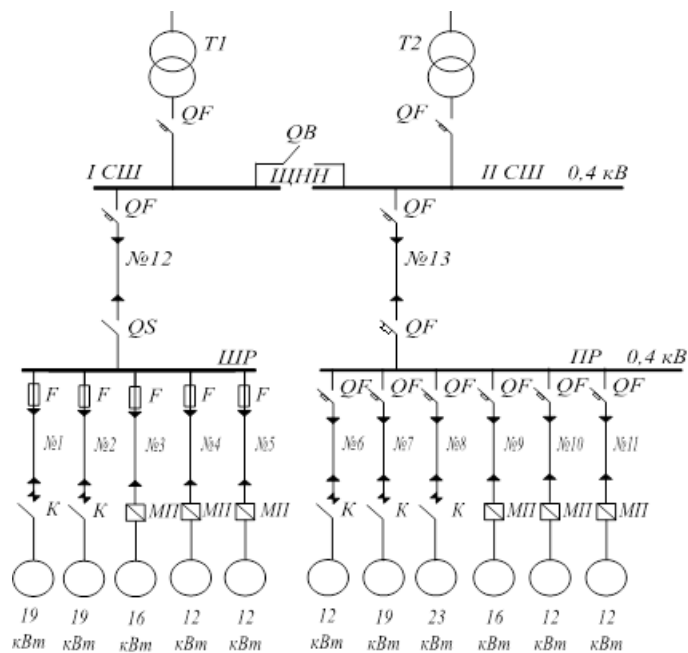


Рис. 1. Схема участка низковольтной цеховой сети

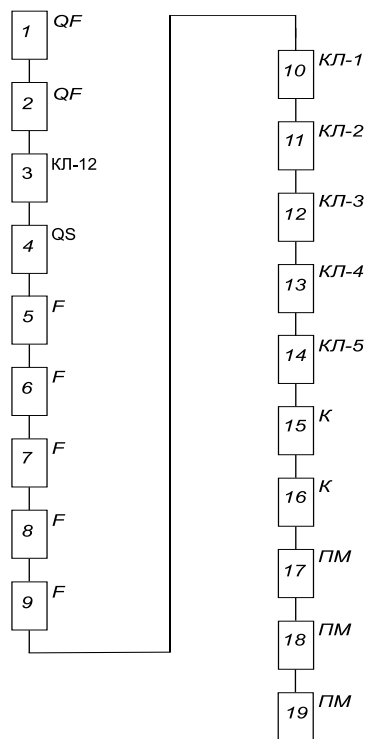


Рис. 2. Логическая схема надежности относительно распределительного шкафа

Интенсивность отказов схемы с последовательно соединенными элементами (рис. 2) равна сумме интенсивностей отказов отдельных элементов:

$$\lambda_{ШП} = \lambda_{QF} + \lambda_{QF} + \lambda_{КЛ12} + \lambda_{QS} + \lambda_F + \lambda_F + \lambda_F + \lambda_F + \lambda_F +$$

$$\begin{aligned}
& +\lambda_{\text{КЛ1}} + \lambda_{\text{КЛ2}} + \lambda_{\text{КЛ3}} + \lambda_{\text{КЛ4}} + \lambda_{\text{КЛ5}} + \lambda_{\text{МП}} + \lambda_{\text{МП}} + \lambda_{\text{МП}} + \lambda_{\text{К}} + \lambda_{\text{К}} = \\
& = 2\lambda_{\text{QF}} + \lambda_{\text{QS}} + 5\lambda_{\text{F}} + 3\lambda_{\text{МП}} + 2\lambda_{\text{К}} + \lambda_{\text{КЛ12}} + \\
& + \lambda_{\text{КЛ11}} + \lambda_{\text{КЛ12}} + \lambda_{\text{КЛ13}} + \lambda_{\text{КЛ14}} + \lambda_{\text{КЛ15}},
\end{aligned} \tag{1}$$

где $\lambda_{\text{ШР}}$ – интенсивность отказов схемы; λ_{QF} – интенсивность отказов автоматического выключателя; $\lambda_{\text{КЛ}} = \lambda_{\text{КЛ}i}$ – интенсивность отказов i -й кабельной линии; λ_{QS} – интенсивность отказов рубильника; λ_{F} – интенсивность отказов предохранителя; $\lambda_{\text{МП}}$ – интенсивность отказов магнитного пускателя; $\lambda_{\text{К}}$ – интенсивность отказов контактора [11].

$$\begin{aligned}
\lambda_{\text{ШР}} &= 2 \times 0,059 + 0,004 + 0,003 + 0,004 + 0,006 + 0,013 + \\
& + 0,038 + 5 \times 0,042 + 3 \times 0,095 + 2 \times 0,098 = 0,795 \text{ год}^{-1}
\end{aligned}$$

Вычислим среднюю вероятность отказа системы

$$\begin{aligned}
q_{\text{ШР}} &= q_{\text{QF}} + q_{\text{QF}} + q_{\text{КЛ}} + q_{\text{QS}} + q_{\text{F}} + q_{\text{F}} + q_{\text{F}} + q_{\text{F}} + q_{\text{F}} + \\
& + q_{\text{МП}} + q_{\text{КЛ12}} + q_{\text{КЛ11}} + q_{\text{КЛ12}} + q_{\text{КЛ13}} + q_{\text{КЛ14}} + q_{\text{КЛ15}} + \\
& + q_{\text{МП}} + q_{\text{МП}} + q_{\text{К}} + q_{\text{К}},
\end{aligned} \tag{2}$$

где q_{QF} – вероятность отказа автоматического выключателя; $q_{\text{КЛ}}$ – вероятность отказа кабельной линии; q_{QS} – вероятность отказа рубильника; q_{F} – вероятность отказа предохранителя; $q_{\text{МП}}$ – вероятность отказа магнитного пускателя; $q_{\text{К}}$ – вероятность отказа контактора.

$$q_{\text{ШР}} = (2 \times 2,23 + 1,1 + 0,82 + 1,1 + 1,64 + 3,56 + 3,56 + 1,30 + 5 \times 1,44 + 3 \times 3,25 + 2 \times 3,36) \times 10^{-5} = 4,31 \times 10^{-4}.$$

Численные значения параметров надежности относительно распределительного пункта (ПР) рассчитывается аналогично:

интенсивность отказов схемы $\lambda_{\text{ПР}} = 0,472$ 1/год,

вероятность отказа схемы $q_{\text{ПР}} = 2,45 \cdot 10^{-4}$.

$$P_1(t = 1 \text{ год}) = P_{\text{QF}}^2 \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,977,$$

$$P_1(t = 2 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,971,$$

$$P_1(t = 3 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,895,$$

$$P_1(t = 4 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,831,$$

$$P_1(t = 5 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,696,$$

$$P_1(t = 6 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,497,$$

$$P_1(t = 7 \text{ год}) = P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{QF}} \cdot P_{\text{КЛ12}} \cdot P_{\text{QS}} \cdot P_{\text{F}} \cdot P_{\text{КЛ1}} \cdot P_{\text{К}} = 0,285,$$

где P_{QF} – вероятность безотказной работы автоматического выключателя; $P_{\text{КЛ}}$ – вероятность безотказной работы кабельной линии; P_{QS} – вероятность безотказной работы рубильника;

P_{F} – вероятность безотказной работы предохранителя; $P_{\text{К}}$ – вероятность безотказной работы контактора.

Далее рассчитаем вероятность времени безотказной работы присоединений первого и второго; первого, второго, третьего; первого, второго, третьего, четвертого; первого, второго, третьего, четвертого и пятого. Результаты расчетов представлены в табл.

Таблица 3

Вероятность времени безотказной работы присоединений
распределительного шкафа

Год наблюдения t , год	Вероятность времени безотказной работы 1-го присоединения $P_1(t)$,	Вероятность времени безотказной работы 2-х присоединений $P_2(t)$,	Вероятность времени безотказной работы 3-х присоединений $P_3(t)$,	Вероятность времени безотказной работы 4-х присоединений $P_4(t)$,	Вероятность времени безотказной работы 5-ти присоединений $P_5(t)$,
1	0,977	0,971	0,966	0,961	0,957
2	0,971	0,961	0,944	0,929	0,913
3	0,895	0,845	0,821	0,811	0,798
4	0,831	0,739	0,710	0,615	0,586
5	0,696	0,522	0,450	0,435	0,411
6	0,497	0,288	0,277	0,265	0,250
7	0,285	0,159	0,137	0,123	0,110

Введем понятие «коэффициента отношения». По полученным данным табл. 3 определим численные значения коэффициентов отношения:

1) если в схеме имеются два присоединения нагрузки

$$P_2(t) = k_1 \cdot P_1(t),$$

2) если в схеме имеются три присоединения нагрузки

$$P_3(t) = k_2 \cdot P_1(t),$$

3) если в схеме имеются четыре присоединения нагрузки

$$P_4(t) = k_3 \cdot P_1(t),$$

4) если в схеме имеются пять присоединений нагрузки

$$P_5(t) = k_4 \cdot P_1(t),$$

где $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, $P_5(t)$ – вероятность времени безотказной работы 1-го, 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти присоединений нагрузки; k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – коэффициенты отношения вероятностей указанных присоединений

$$k_1(t) = \frac{P_2(t)}{P_1(t)}, \quad k_2(t) = \frac{P_3(t)}{P_1(t)}, \quad k_3(t) = \frac{P_4(t)}{P_1(t)}, \quad k_4(t) = \frac{P_5(t)}{P_1(t)}.$$

Рассчитаем коэффициенты отношения по данным табл. 3, результаты вычислений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты вычислений коэффициентов отношения					
Год наблюдения	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1	0,994	0,989	0,983	0,979	0,973
2	0,989	0,972	0,956	0,940	0,924
3	0,944	0,917	0,906	0,891	0,868
4	0,889	0,854	0,740	0,705	0,622
5	0,750	0,647	0,625	0,591	0,464
6	0,579	0,557	0,533	0,503	0,377
7	0,557	0,481	0,432	0,386	0,305

Смоделируем значения коэффициента k_5 при возможных шести присоединениях нагрузки (табл. 4) и построим графики изменения во времени коэффициентов отношения k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 (рис. 3).

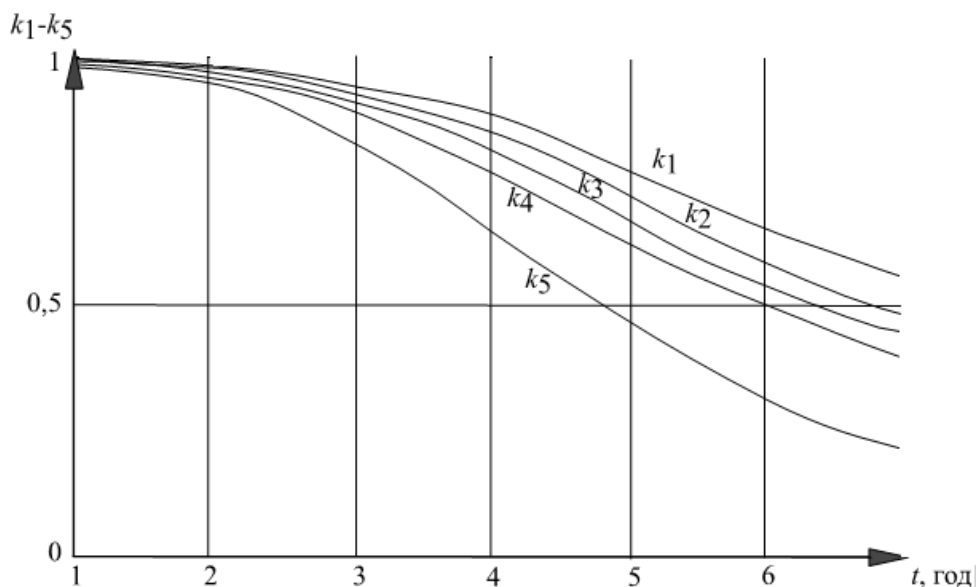


Рис. 3. Графики зависимостей изменения коэффициентов отношений от времени эксплуатации схемы

Смоделированные зависимости (рис. 3) позволяют определять вероятность времени безотказной работы распределительных устройств низкого напряжения с предохранителями на отходящих линиях с учетом количества присоединений и фактора времени эксплуатации оборудования.

Исследуем надежность участка схемы цеховой сети 0,4 кВ (рис. 4), с помощью полученных значений коэффициентов отношения.

Используя статистические данные показателей надежности электрооборудования [11], определим вероятность времени безотказной работы первого присоединения относительно I секции шин:

$$\begin{aligned}
 &P_1^*(t = 1 \text{ год}) = 0,994, \quad P_1^*(t = 2 \text{ год}) = 0,983, \quad P_1^*(t = 3 \text{ год}) = 0,938, \\
 &P_1^*(t = 4 \text{ год}) = 0,845, \quad P_1^*(t = 5 \text{ год}) = 0,671, \quad P_1^*(t = 6 \text{ год}) = 0,541,
 \end{aligned}$$

$P_1^*(t = 7 \text{ год}) = 0,402 \cdot$

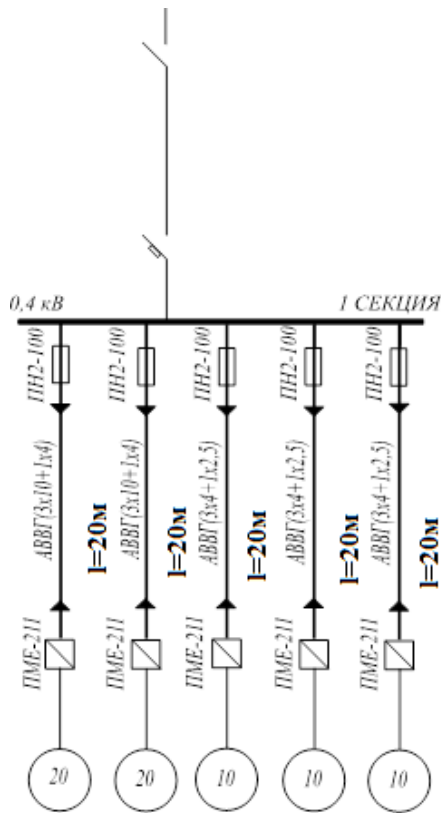


Рис. 4. Участок схемы электроснабжения компрессорной ТЭЦ

Затем вычислим $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$ и $P_5(t)$ для различного числа присоединений нагрузки по коэффициентам отношения (табл. 4).

Результаты вычислений приведены в табл. 5.

Определим вероятности безотказной работы присоединений схемы (рис. 4) по статистическим данным P_1^* , P_2^* , P_3^* , P_4^* , P_5^* (табл. 6) и сравним с результатами вычислений табл. 5.

Таблица 5

Значения вероятности времени безотказной работы присоединений, вычисленные по коэффициентам отношения

Год наблюдения	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
1	0,994	0,988	0,983	0,977	0,973
2	0,983	0,972	0,955	0,940	0,924
3	0,938	0,885	0,860	0,850	0,835
4	0,845	0,751	0,722	0,600	0,596
5	0,671	0,503	0,434	0,419	0,397
6	0,541	0,313	0,301	0,288	0,272
7	0,402	0,232	0,193	0,174	0,155

Таблица 6

Значения вероятности времени безотказной работы присоединений
по статистическим данным

Год наблюдения	P_1^*	P_2^*	P_3^*	P_4^*	P_5^*
1	0,994	0,967	0,959	0,955	0,951
2	0,983	0,950	0,931	0,921	0,906
3	0,938	0,856	0,826	0,812	0,798
4	0,845	0,729	0,678	0,570	0,567
5	0,671	0,402	0,398	0,388	0,379
6	0,541	0,294	0,282	0,267	0,257
7	0,402	0,210	0,177	0,157	0,144

Определим относительную погрешность вычислений (табл. 7) по выражению

$$\delta(t)\% = \frac{|P(t) - P^*(t)|}{P^*(t)} \cdot 100.$$

Таблица 7

Значения погрешности расчетов

Год наблюдения	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5
1	2,2	2,5	2,3	2,3
2	2,3	2,5	2,1	2
3	3	4,1	4,7	4,6
4	3	6,4	5,3	5,1
5	2,5	9,0	8,0	5,8
6	6,5	6,7	7,9	5,8
7	10,5	9,0	10,8	7,6

Выводы:

Как показали исследования, погрешность разработанной методики определения вероятности времени безотказной работы радиальных схем цеховых сетей относительно присоединений распределительных устройств низкого напряжения с использованием коэффициентов отношения не превышает 10,8 %, что подтверждается практическими расчетами схем. Моделирование численных значений коэффициентов отношения может быть реализовано для любого количества присоединений нагрузки распределительных устройств низкого напряжения. Предлагаемая методика рекомендована для оценки и прогнозирования показателей надежности функционирования систем внутрицехового электроснабжения в среднесрочной перспективе и уточнения сроков проведения планово-предупредительных ремонтов и текущего обследования оборудования.

Целенаправленный отбор и количественная оценка вкладов в ненадежность внутризаводских СЭС отказов элементов системы, ее состояний и режимов, а также эффективности различных противоаварийных мероприятий позволяют выявить слабые звенья СЭС и наметить конкретные пути по ее совершенствованию в процессе человеко-машинного синтеза СЭС. При проектировании на этой основе осуществляется поиск новых схемных решений, изменение структуры схемы и состава ее оборудования для усиления слабых мест, исключения излишнего или, напротив, использования более надежного оборудования.

В процессе эксплуатации внутризаводских СЭС возможно решение нескольких задач: выбора рационального варианта проведения ремонтного режима из ряда возможных вариантов; определения степени зависимости различных ремонтных режимов по влиянию на надежность электроснабжения узлов нагрузки и допустимости их совместного проведения; выбора рациональной стратегии эксплуатации (например, размещение по территории системы ремонтных бригад и дежурного персонала) в текущем режиме СЭС; оценки целесообразности сооружения новых участков или демонтажа старых участков; выбора более надежных вариантов схем развития СЭС.

Литература

1. Шпиганович А.А. Анализ влияния вероятностных параметров электрооборудования на эффективность функционирования систем электроснабжения / А.А. Шпиганович // Вести вузов Черноземья. 2013. №2. С.25–32.
2. Шпиганович А.Н. Оценка эффективности безотказности систем / А.Н.Шпиганович, А.А. Шпиганович // Вести вузов Черноземья. 2013. №1. С.25–33.
3. Аспекты расчетов параметров электротехнических установок по условиям подobia / А.Н.Шпиганович // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2008. №2. С.232–235.
4. Грачева Е.И. Обработка статистической информации с целью выявления законов изменения параметров оборудования цеховых сетей / Е.И. Грачева, О.В. Наумов, Р.Р. Садыков // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. №2. С. 34–43.
5. Грачева Е.И. Анализ структуры систем цехового электроснабжения предприятий машиностроительной отрасли / Е.И. Грачева, Н.А. Копытова // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. №5-6. С.73–78.
6. Грачева Е.И. Реализация метода прогнозирования параметров надежности низковольтных коммутационных аппаратов / Е.И. Грачева, А.Р. Сафин // Промышленная энергетика. 2011. №11. С.16–25.
7. Шпиганович А.А. Научно-технические основы анализа функционирования систем электроснабжения / А.А. Шпиганович. Липецк: ЛГТУ, 2012. 99 с.
8. Шпиганович, А.А. Современные состояния вопроса безотказности систем электроснабжения / А.А. Шпиганович. Липецк: ЛГТУ, 2012. 79 с.
9. Erickson, R.W. Some Topologies of High Quality Rectifiers [Text] / 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 [Text] / D. Graovac, V. Katic, A. Rufer // 9th international conference on power electronics and motion control. – 2000. - №4. – P. 32–38.
11. Садыков Р.Р. Формирование моделей оценки эксплуатационной надежности систем внутризаводского электроснабжения / Е.И. Грачева, Р.Р. Садыков // Вести высших учебных заведений Черноземья. Электроэнергетика. 2017. № 1(47). С.1–10.
12. Садыков Р. Р. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей / Е.И. Грачева, А.Р. Сафин, Р.Р. Садыков // Надежность и безопасность энергетики. 2017. № 1(36). С. 48–52.

Автор публикации:

Садыков Руслан Рустемович – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: ru059@mail.ru.

References

1. Spiranovic, A. A., probabilistic Analysis of the influence of electrical parameters on the efficiency of power supply systems / A. A. Spiranovic // News of universities of the region. – 2013.-№2.-S. 25-32.

2. Spiranovic A. N. Efficiency assessment of reliability of systems / A. N. Spiranovic, A. A. Spiranovic // News of universities of the region. – 2013.-№1.-P. 25-33.
3. Aspects of calculations of parameters of electrical installations in terms of similarity / A. N. Spiranovic // Scientific transport problems of Siberia and the Far East. -2008.-№2.-P. 232-235.
4. Gracheva E. I. Processing of statistical information with the purpose of revealing of laws of change of parameters of equipment of shop networks [Text] / E. G. Grachev, O. V. Naumov, R. R. Sadykov // News of higher educational institutions of the region. – 2016. -№ 2. – S. 34-43.
5. Gracheva E. I. analysis of the structure of the Guild system of power supply of the enterprises of machine-building industry / I. E. Gracheva, N.. Kopytova / energy/ Problems. -2011. - №5-6.-P. 73-78.
6. Gracheva E. I. the Implementation of the method of forecasting of parameters of reliability of low-voltage switchgear / I. E. Gracheva, A. R. Safin // Promyshlennaya Energetika. -2011.-№11.-P. 16-25.
7. Spiranovic, A. A. Scientific and technical basis of the analysis of functioning of power supply systems [Text] / A. A. Spiranovic. – Lipetsk: LGTU, 2012. – 99 p.
8. Spiranovic, A. A., Modern state of the problem of reliability of power systems [Text] / A. A. Spiranovic. – Lipetsk: LGTU, 2012. – 79 p.
9. Erickson, R. V. some Topologies of high quality rectifiers [text] / R. W. Erickson // the first international conference on energy, power and motion control. – 1997. – P. 1-6.
10. Graovac, D. Universal power quality system – an extension of the universal quality, power conditioning [text] / D. Graovac, V. Katic, A. Rufer // international conference on power electronics and motion control. – 2000. - №4. – P. 32-38.
11. Sadykov, R. R. formation of the evaluation model of operational reliability of systems in-plant electricity / I. E. Gracheva, R. R. Sadykov // News of higher educational institutions of the region. Electricity. – 2017. – № 1(47). – S. 1-10
12. Sadykov, R. R., Application of analytical methods of calculation of reliability of elements of power supply systems based on probabilistic models / I. E. Gracheva, A. R. Safin, R. R. Sadykov // Reliability and security of energy. – 2017. – № 1(36). – S. 48-52.

Authors of the publication

Sadykov Ruslan Rustemovich – postgraduate student, Department "power Supply of industrial enterprises" (EPP) Kazan state power engineering University (kspeu). E-mail: ru059@mail.ru.

Поступила в редакцию

11 апреля 2017 г.